



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ – ΤΟΜΕΑΣ ΙΙ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

Ανάλυση βιωσιμότητας μέσω πολυκριτηριακής ανάλυσης εναλλακτικών δυνατοτήτων και τεχνολογιών διαχείρισης ιλύος στην Ελλάδα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αλέξανδρος Τσόμπος

Επιβλέπων καθηγητής:

Άγγελος Τσακανίκας, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούνιος 2021

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	iv
ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	v
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ	vii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
1. Εισαγωγή	3
1.1 Αντικείμενο	3
2. Νομοθετικό πλαίσιο	4
2.1 Ευρωπαϊκή Στρατηγική Διαχείρισης Αποβλήτων	6
2.1.1 Οδηγία Πλαίσιο 2008/98/ΕΚ	7
2.1.2 Απόφαση 94/3/ΕΚ- Θέσπιση καταλόγου αποβλήτων	9
2.1.3 Οδηγία 1999/31/ΕΚ- Υγειονομική Ταφή	9
2.1.4 Οδηγία 2018/850/ΕΕ	9
2.1.5 Οδηγία 86/278/ΕΚ	10
2.1.6 Οδηγία 2000/76/ΕΚ	11
2.2 Ισχύον Θεσμικό Πλαίσιο και Τάσεις στην Ελλάδα	11
2.2.1 Νόμος 4042/2012	11
2.2.2 Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ)	12
2.3 Νομοθετικό πλαίσιο διαχείρισης υλός	13
2.3.1 Εθνική Νομοθεσία	13
3. Μέθοδοι Επεξεργασίας και διάθεσης υλός	18
3.1 Γενικά	18
4. Υφιστάμενη Κατάσταση Διαχείρισης υλός	20
4.1 Μέθοδοι διάθεσης παραγόμενης υλός στην Ευρωπαϊκή Ένωση	20
4.2 Μέθοδοι διάθεσης παραγόμενης υλός στην Ελλάδα	24
5. Εναλλακτικές μέθοδοι διαχείρισης υλός	29
4.1. Μονάδα διαχείρισης υλός για ηπειρωτικές περιοχές	29
5.1.1 Παρουσίαση εναλλακτικών σεναρίων	30
5.2 Μονάδα διαχείρισης υλός σε νησιωτικές περιοχές	48
5.2.1 Παρουσίαση εναλλακτικών σεναρίων	49
6. Εφαρμογή πολυκριτηριακής ανάλυσης	58

6.1	Μονάδα Διαχείρισης Ιλύος για Ηπειρωτικές Περιοχές	59
6.1.1	Ταξινόμηση και Ανάλυση Κριτηρίων Επεξεργασίας - Διάθεσης ιλύος	59
6.1.2	Αποτελέσματα πολυκριτηριακής ανάλυσης επεξεργασίας- διάθεσης ιλύος	71
6.2	Μονάδα διαχείρισης ιλύος σε Νησιωτικές Περιοχές	75
6.2.1	Αξιολόγηση και Ανάλυση κριτηρίων επεξεργασίας – διάθεσης ιλύος σε νησιωτικές περιοχές	76
6.2.2	Αποτελέσματα πολυκριτηριακής ανάλυσης Μονάδας για τις Νησιωτικές Περιοχές	85
7.	Συμπεράσματα	89
8.	Βιβλιογραφία	92
9.	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΙΛΥΟΣ	96
9.1	Μέθοδοι επεξεργασίας της ιλύος	96
9.1.1	Αλκαλική σταθεροποίηση - Ασβεστοποίηση	96
9.1.2	Αναερόβια χώνευση	99
9.1.3	Αερόβια χώνευση	104
9.1.4	Κομποστοποίηση	108
9.1.5	Θερμική ξήρανση	114
9.1.6	Ηλιακή ξήρανση	117
9.1.7	Αποτέφρωση	119
9.2	Κύριοι τρόποι Διάθεσης της Ιλύος	124
9.2.1	Υγειονομική ταφή	124
9.2.2	Εφαρμογή στο έδαφος	124
9.2.3	Βιομηχανική χρήση	128
9.2.4	Χρήση στη παραγωγή	128
9.3	Συμπεράσματα	129
10.	Παράρτημα 2: Δεδομένα διαχείρισης ιλύος σε χώρες της Ε.Ε. και στην Ελλάδα	130
11.	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	134
11.1	Πολυκριτηριακή ανάλυση	134
11.2	Γενική μεθοδολογία	134
11.3	Μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης	136
11.4	Επιλογή βέλτιστης μεθόδου για εφαρμογή	137
11.5	Συνοπτική περιγραφή της μεθόδου PROMETHEE	137

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Ευρωπαϊκή και εθνική νομοθεσία σχετικά με τη διαχείριση της ιλύος.	5
Πίνακας 2. Μέγιστες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, σύμφωνα με την ευρωπαϊκή και εθνική νομοθεσία.	14
Πίνακας 3. Συνοπτική παρουσίαση πρώτου σεναρίου.	31
Πίνακας 4. Συνοπτική παρουσίαση δεύτερου σεναρίου.	37
Πίνακας 5. Συνοπτική παρουσίαση του τρίτου σεναρίου	41
Πίνακας 6. Συνοπτική παρουσίαση του τέταρτου σεναρίου.	45
Πίνακας 7. Συνοπτική παρουσίαση του πρώτου σεναρίου	50
Πίνακας 8. Συνοπτική παρουσίαση του δεύτερου σεναρίου.	53
Πίνακας 9. Συνοπτική παρουσίαση του τρίτου σεναρίου.	55
Πίνακας 10. Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος.	60
Πίνακας 11. Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση τις αέριες εκπομπές κατά την εφαρμογή της κάθε μεθόδου.	61
Πίνακας 12. Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση τη δυνατότητα συν-επεξεργασίας με άλλα προϊόντα.	61
Πίνακας 13. Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση την ευελιξία των συστημάτων σε μελλοντικές μεταβολές ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών εισερχόμενης ιλύος	62
Πίνακας 14. Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση το βαθμό τεχνολογικής ωριμότητας και προγενέστερης εμπειρίας.	63
Πίνακας 15. Βαθμολόγηση σεναρίων ως προς την απαίτηση εξειδικευμένου προσωπικού.	64
Πίνακας 16. Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση το κόστος επένδυσης	66
Πίνακας 17. Κλίμακα βαθμολόγησης απόδοσης σεναρίων ως προς το κόστος λειτουργίας και συντήρησης.	66
Πίνακας 18. Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση το κόστος λειτουργίας και συντήρησης.	67
Πίνακας 19. Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση τη διαθεσιμότητα τελικών αποδεκτών.	68
Πίνακας 20. Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση την απαίτηση εκτάσεων.	69
Πίνακας 21. Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση την ευελιξία εναρμονισμού σε μελλοντικές νομοθετικές μεταρρυθμίσεις.	70
Πίνακας 22. Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση τις κοινωνικές αντιδράσεις και την αισθητική όχληση.	71
Πίνακας 23. Βαθμολογία σεναρίων σύμφωνα με τα κριτήρια που έχουν ορισθεί.	72
Πίνακας 24. Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος.	77
Πίνακας 25. Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση τις αέριες εκπομπές κατά την εφαρμογή της κάθε μεθόδου.	77
Πίνακας 26. Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση την ευελιξία των συστημάτων σε μελλοντικές μεταβολές ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών εισερχόμενης ιλύος.	78
Πίνακας 27. Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση το βαθμό τεχνολογικής ωριμότητας και προγενέστερης εμπειρίας.	79
Πίνακας 28. Βαθμολόγηση σεναρίων ως προς την απαίτηση εξειδικευμένου προσωπικού.	80

Πίνακας 29. Κλίμακα βαθμολόγησης απόδοσης σεναρίων ως προς το κόστος επένδυσης.	80
Πίνακας 30. Βαθμολόγηση σεναρίων ως προς το κόστος επένδυσης.	81
Πίνακας 31. Κλίμακα βαθμολόγησης απόδοσης σεναρίων ως προς το κόστος λειτουργίας και συντήρησης.	81
Πίνακας 32. Βαθμολόγηση σεναρίων ως προς το κόστος λειτουργίας και συντήρησης.	81
Πίνακας 33. Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση τη διαθεσιμότητα τελικών αποδεκτών.	82
Πίνακας 34. Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση την απαίτηση εκτάσεων.	83
Πίνακας 35. Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση την ευελιξία εναρμονισμού σε μελλοντικές νομοθετικές μεταρρυθμίσεις.	84
Πίνακας 36. Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση τις κοινωνικές αντιδράσεις και την αισθητική όχληση.	85
Πίνακας 37. Βαθμολογία σεναρίων σύμφωνα με τα κριτήρια που έχουν ορισθεί.	86
Πίνακας 38. Συνοπτική παρουσίαση εναλλακτικών σεναρίων μονάδας διαχείρισης υλός από Μονάδες της ηπειρωτικής χώρας.	89
Πίνακας 39. Συνοπτική παρουσίαση εναλλακτικών σεναρίων διαχείρισης υλός από Μονάδες σε νησιωτικές περιοχές.	91
Πίνακας 40. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου της ασβεστοποίησης.	97
Πίνακας 41. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου της αναερόβιας χώνευσης.	101
Πίνακας 42. Σύνθεση του βιοαερίου.	103
Πίνακας 43. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου αερόβιας χώνευσης	105
Πίνακας 44. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου ATAD σε σχέση με τη συμβατική μέθοδο αερόβιας χώνευσης.	107
Πίνακας 45. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου της κομποστοποίησης.	110
Πίνακας 46. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της θερμικής ξήρανσης.	116
Πίνακας 47. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ηλιακής ξήρανσης.	118
Πίνακας 48. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αποτέφρωσης.	120
Πίνακας 49. Τρόποι διάθεσης της παραγόμενης υλός (σε 10^3 t) σε ευρωπαϊκές χώρες για το έτος 2016. [Πηγή: Eurostat]	130
Πίνακας 50. Τρόποι διάθεσης της παραγόμενης υλός στην Ελλάδα για το διάστημα 2012-2016 [Πηγή δεδομένων: Eurostat].	132

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1. Στρατηγική διαχείρισης αποβλήτων, σύμφωνα με τα οριζόμενα στην Οδηγία 2008/98/ΕΚ.	8
Διάγραμμα 2. Μέθοδοι διάθεσης της παραγόμενης υλός σε ευρωπαϊκές χώρες για το έτος 2016 [Πηγή δεδομένων: Eurostat].	22
Διάγραμμα 3. Μέθοδοι διάθεσης της παραγόμενης υλός σε ευρωπαϊκές χώρες για το διάστημα 2014-2018 [Πηγή: Eurostat].	23
Διάγραμμα 4. Διάθεση υλός στην Ελλάδα για το έτος 2009. [Πηγή: Eurostat]	25
Διάγραμμα 5. Διάθεση υλός στην Ελλάδα για το έτος 2016. [Πηγή: Eurostat]	25
Διάγραμμα 6. Διάθεση της παραγόμενης υλός στην Ελλάδα για το διάστημα 2012-2016. [Πηγή: Eurostat]	26

Διάγραμμα 7. Διάγραμμα ροής σεναρίου 1 αναερόβιας συγχώνευση – κομποστοποίησης.	34
Διάγραμμα 8. Διάγραμμα ροής σεναρίου 2 θερμικής ξήρανσης.	39
Διάγραμμα 9. Διάγραμμα ροής σεναρίου 3 ηλιακής ξήρανσης.	43
Διάγραμμα 10. Διάγραμμα ροής σεναρίου 4 ξήρανσης - πυρόλυσης.	47

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

E.E.	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΕΕΛ	Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων
E.K	Ευρωπαϊκή Κοινότητα
EKA	Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων
E.O.K.	Ευρωπαϊκή Οικονομική Κοινότητα
HMA	Ηλεκτρονικό Μητρώο Αποβλήτων
MKA	Μονάδα Καθαρισμού Αποβλήτων
X.Y.T.	Χώρος Υγειονομικής Ταφής
X.Y.T.A/Y.	Χώρος Υγειονομικής Ταφής μη επικινδύνων αποβλήτων / υπολειμμάτων
X.Y.T.E.A.	Χώρος Υγειονομικής Ταφής Επικινδύνων Αποβλήτων
X.Y.T. Αδρανών	Χώροι Υγειονομικής Ταφής αδρανών αποβλήτων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια, πραγματοποιείται παγκόσμια προσπάθεια για την προστασία του περιβάλλοντος και τη διασφάλιση της δημόσιας υγείας, συνεπώς, η διαχείριση των υγρών και στερεών αποβλήτων αποτελεί μια από τις βασικότερες προκλήσεις, που απαιτεί άμεση, αποτελεσματική και αειφορική αντιμετώπιση. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, για την επίτευξη του στόχου αυτού, θεσπίζονται όλο και αυστηρότερες νομοθετικές διατάξεις, που στοχεύουν στην προώθηση της κυκλικής οικονομίας και στην ουσιαστική μείωση των αποβλήτων (Οδηγία ΕΕ 2018/850/ΕΕ, περί μείωσης της υγειονομικής ταφής των αποβλήτων σε ποσοστό 10 %), καλώντας όλες τις ευρωπαϊκές χώρες να αναπτύξουν και να εφαρμόσουν «πράσινες» τεχνολογίες διαχείρισης των αποβλήτων.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η ανάδειξη της βέλτιστης μεθόδου διαχείρισης της ιλύος που προκύπτει από τις Μονάδες Καθαρισμού υγρών Αποβλήτων (ΜΚΑ) τόσο σε ηπειρωτικές όσο και σε νησιωτικές περιοχές, μέσω της καταγραφής της ισχύουσας κοινοτικής και εθνικής νομοθεσίας και της αναλυτικής περιγραφής όλων των διαθέσιμων μεθόδων και της αξιολόγησής τους, για τον καθορισμό ενός ολοκληρωμένου σχεδίου διαχείρισης της ιλύος. Υπό το πρίσμα αυτό, η μελέτη αποτελείται από τρεις κύριες θεματικές ενότητες.

Αρχικά, πραγματοποιείται η ανάλυση του θεσμικού πλαισίου που διέπει τη διαχείριση των αποβλήτων, εν γένει, καθώς και της διαχείρισης ιλύος, με στόχο την καταγραφή των δυνατοτήτων διαχείρισης της ιλύος των ΜΚΑ, σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία. Ειδικότερα, παρατίθενται και λαμβάνονται υπόψιν οι Οδηγίες που έχει θεσπίσει η Ε.Ε. και αφορούν στην επεξεργασία και διάθεση της ιλύος, οι οποίες καλύπτουν ορισμένα μόνο ζητήματα, όπως η δυνατότητα διάθεσής της στη γεωργία. Ωστόσο, με γνώμονα τη μετάβαση σε μια κυκλική οικονομία, παρατίθεται και συμπεριλαμβάνεται προς ανάλυση και η Οδηγία 2018/850/ΕΕ, η οποία θεσπίζει αυστηρούς περιορισμούς στην υγειονομική ταφή των αποβλήτων και κατ' επέκταση της ιλύος, με στόχο τη μείωση της υγειονομικής ταφής τους σε ποσοστό 10 %, μέχρι το 2035.

Εν συνεχεία, μέσα από την καταγραφή των διαθέσιμων μεθόδων επεξεργασίας και αξιοποίησης της ιλύος, επιβεβαιώνεται ότι η κατάληξη στη βέλτιστη επιλογή, για τη συνολική διαχείριση της ιλύος αποτελεί ένα πολύπλοκο ζήτημα, που επηρεάζεται από πολλούς και διαφορετικούς παράγοντες. Επιπρόσθετα, πραγματοποιείται εκτενής ανασκόπηση των μεθόδων επεξεργασίας και τελικής διάθεσης της ιλύος, που εφαρμόζονται στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, καθώς και μεμονωμένα στην Ελλάδα, με γνώμονα την ανάδειξη και αξιολόγηση των δυνατοτήτων εφαρμογής των βέλτιστων περιβαλλοντικών πρακτικών. Οι κυριότερες τάσεις που παρουσιάστηκαν σε ευρωπαϊκό επίπεδο έδειξαν ότι, τα επόμενα χρόνια, αναμένεται να κυριαρχήσουν, ως μέθοδοι επεξεργασίας της ιλύος, η αποτέφρωση και η ανακύκλωση (κομποστοποίηση κ.α.), ενώ σε εθνικό επίπεδο, αναμένεται να αναπτυχθούν, ιδιαίτερα, η αναερόβια χώνευση για την παραγωγή βιοαερίου και η αξιοποίηση αυτού ως καύσιμου στη βιομηχανία και στους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς

«Ανάλυση βιωσιμότητας μέσω πολυκριτηριακής ανάλυσης εναλλακτικών δυνατοτήτων και τεχνολογιών διαχείρισης ιλύος στην Ελλάδα» | Διπλωματική εργασία- Τσόμπος Αλέξανδρος

παραγωγής ενέργειας, καθώς και η διάθεση της ιλύος για γεωργική χρήση και για αποκατάσταση εδαφών.

Τέλος, λαμβάνοντας υπόψη τα ανωτέρω και με γνώμονα τις απαιτήσεις της Οδηγίας 2018/850, που αφορά στην ελαχιστοποίηση των αποβλήτων που καταλήγουν σε ΧΥΤΑ, παρουσιάζονται τα προτεινόμενα σενάρια διαχείρισης της ιλύος. Ειδικότερα, πραγματοποιούνται δυο πολυκριτηριακές αναλύσεις.

Η πρώτη ανάλυση εξετάζει την κατασκευή μονάδας διαχείρισης ιλύος, η οποία θα επεξεργάζεται την ιλύ που παράγεται από ΜΚΑ που βρίσκονται στην ηπειρωτική χώρα. Στο πλαίσιο αυτό, τα σενάρια που αξιολογήθηκαν είναι τα ακόλουθα:

- Σενάριο 1: Αναερόβια συγχώνευση - κομποστοποίηση
- Σενάριο 2: Θερμική ξήρανση
- Σενάριο 3: Ηλιακή ξήρανση
- Σενάριο 4: Ξήρανση - πυρόλυση

Η εφαρμογή της πολυκριτηριακής ανάλυσης, μέσα από την αξιολόγηση των ανωτέρω σεναρίων με περιβαλλοντικά, τεχνικά, οικονομικά, χωροταξικά και νομοθετικά κριτήρια, ανέδειξε το σενάριο της αναερόβιας συγχώνευσης- κομποστοποίησης, ως το βέλτιστο σενάριο, αναφορικά με τη διαχείριση της ιλύος που παράγεται από τις εν λόγω ΜΚΑ. Η εφαρμογή της τεχνολογίας αυτής έχει ως στόχο την παραγωγή βιοαερίου και compost, τα οποία θα μπορέσουν να αξιοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας και για χρήση στη γεωργία, αντίστοιχα.

Η δεύτερη πολυκριτηριακή ανάλυση, αφορά στη διαχείριση της ιλύος που παράγεται από τις ΜΚΑ που χωροθετούνται σε νησιωτικές περιοχές, οι οποίες λόγω των διαφορετικών χαρακτηριστικών, αλλά και του υψηλού κόστους μεταφοράς των ποσοτήτων της παραγόμενης ιλύος στην ηπειρωτική χώρα που καθιστά μια τέτοια λύση ως μη βιώσιμη, εξετάζονται ως ξεχωριστή περίπτωση. Ειδικότερα, για τις εν λόγω μονάδες οι εναλλακτικές τεχνολογίες που αξιολογήθηκαν είναι οι ακόλουθες:

- Σενάριο 1: Θερμική ξήρανση
- Σενάριο 2: Κομποστοποίηση
- Σενάριο 3: Ηλιακή ξήρανση

Από την εφαρμογή της πολυκριτηριακής ανάλυσης, προέκυψε ότι βέλτιστη τεχνολογία διαχείρισης της ιλύος από τις εν λόγω ΜΚΑ αποτελεί η κομποστοποίηση, καθώς το κόστος κατασκευής και λειτουργίας της μονάδας είναι χαμηλό. Τέλος, μέσα από την κατασκευή της μονάδας κομποστοποίησης προωθούνται οι δράσεις κυκλικής οικονομίας και αειφορικής διαχείρισης της ιλύος, μέσα από τη χρησιμοποίηση του παραγόμενου compost στη γεωργία.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο

Σύμφωνα με τα οριζόμενα στην εθνική και ευρωπαϊκή νομοθεσία, είναι απαραίτητη η ολοκληρωμένη διαχείριση, τόσο των υγρών όσο και των στερεών αποβλήτων, που προκύπτουν από οποιαδήποτε παραγωγική διαδικασία, η οποία θα περιλαμβάνει τη συλλογή και μεταφόρτωση των αποβλήτων, δράσεις μείωσης της παραγωγής τους, την επαναχρησιμοποίησή τους, την επεξεργασία τους, την ανάκτηση ενέργειας και τη διάθεσή τους, με σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος, καθώς και της δημόσιας υγείας.

Στο πλαίσιο αυτό η παρούσα διπλωματική εργασία, αφορά στην ανάλυση των εναλλακτικών δυνατοτήτων και καλών πρακτικών, αναφορικά με τη διαχείριση της ιλύος, η οποία προκύπτει κατά τη διαδικασία επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων στις ΜΚΑ που βρίσκονται τόσο σε ηπειρωτικές όσο και σε νησιωτικές περιοχές, μέσα από την καταγραφή του ισχύοντος κοινοτικού και εθνικού νομοθετικού πλαισίου, την αποτύπωση όλου του φάσματος των διαθέσιμων μεθόδων επεξεργασίας ιλύος, που εφαρμόζονται σε ευρωπαϊκή και διεθνή κλίμακα, τις επικρατούσες μεθόδους σε ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο καθώς και τις τάσεις εξέλιξής τους, την αξιολόγησή τους και τελικά την επιλογή της βέλτιστης μεθόδου διαχείρισης για τις υπό μελέτη Μονάδες. Συνοπτικά, στο παρόν παραδοτέο, περιλαμβάνονται τα ακόλουθα:

- Καταγραφή του ευρωπαϊκού και εθνικού νομοθετικού πλαισίου, που διέπει τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων, και ιδιαίτερα της ιλύος, η οποία αποτελεί εν δυνάμει απόβλητο και που προκύπτει από τις μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.
- Καταγραφή των μεθόδων διαχείρισης της ιλύος σε ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο καθώς και τις τάσεις εξέλιξης αυτών.
- Παρουσίαση των προτεινόμενων σεναρίων που αφορούν, τόσο στις εναλλακτικές μεθόδους διαχείρισης της ιλύος που παράγεται από τις Μονάδες, που βρίσκονται στην ηπειρωτική χώρα, όσο και στη διαχείριση της παραγόμενης ιλύος από τις Μονάδες που βρίσκονται σε νησιωτικές περιοχές.
- Εφαρμογή πολυκριτηριακών αναλύσεων για την αξιολόγηση των προτεινόμενων σεναρίων, με σκοπό την ανάδειξη των βέλτιστων, κατά περίπτωση, τεχνολογιών.
- Παρουσίαση της μεθοδολογίας εφαρμογής της εργασίας, μέσα από την καταγραφή του φάσματος των διαθέσιμων μεθόδων επεξεργασίας και διάθεσης της ιλύος, που συντέλεσαν στη διαμόρφωση των εναλλακτικών σεναρίων, καθώς και της μεθοδολογίας εφαρμογής της πολυκριτηριακής ανάλυσης.

Σκοπός της παρούσας εργασίας αποτελεί η ανάδειξη της βέλτιστης μεθόδου διαχείρισης της ιλύος, που προκύπτει από τις εξεταζόμενες ΜΚΑ, μέσω της αναλυτικής περιγραφής όλων των διαθέσιμων μεθόδων και της αξιολόγησής τους, στοχεύοντας στον καθορισμό ενός ολοκληρωμένου σχεδίου διαχείρισης της ιλύος, σύμφωνα με τα οριζόμενα στην ευρωπαϊκή και εθνική νομοθεσία.

2. ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Στην παρούσα ενότητα, αναλύεται το κοινοτικό πλαίσιο που διέπει τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων, σε αντιπαραβολή με το υφιστάμενο πλαίσιο διαχείρισης στην Ελλάδα. Ειδικότερα, καταγράφεται το νομοθετικό πλαίσιο αναφορικά με τη διαχείριση της ιλύος, ώστε να αποτυπωθούν και εναρμονιστούν οι δυνατότητες διαχείρισης της ιλύος, όπως αυτές προκύπτουν κατά τη λειτουργία Μονάδων Καθαρισμού υγρών Αποβλήτων.

Επισημαίνεται ότι, ως ιλύς ορίζεται το στερεό υπόλειμμα που παράγεται κατά την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων και σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό κατάλογο αποβλήτων κατατάσσεται ως στερεό απόβλητο με τον κωδικό 19 08 05 (EEL 47/16-2-2001, Οδηγία 2000/532/ΕΚ. Η περιβαλλοντική διαχείριση της ιλύος θα πρέπει να πληροί όλες τις βασικές αρχές της οδηγίας – πλαισίου για τα απόβλητα που εφαρμόζεται από τις 12 Δεκεμβρίου 2010 σύμφωνα με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ και αποσκοπεί στην προστασία του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας, ενώ εισάγει και την έννοια του «ο ρυπαίνων πληρώνει» και της «διευρυμένης ευθύνης του παραγωγού» .

Ο ευρωπαϊκός κατάλογος αποβλήτων ενσωματώθηκε στην ελληνική νομοθεσία με την ΚΥΑ 50910/2003, όπου η ιλύς χαρακτηρίζεται ως μη επικίνδυνο στερεό απόβλητο που θα πρέπει να υποβληθεί σε επεξεργασία σύμφωνα με μια εθνική στρατηγική προσέγγιση με στόχο την ελαχιστοποίηση των χώρων υγειονομικής ταφής. Επιπρόσθετα, με το συγκεκριμένο πλαίσιο εισάγεται και η «ευθύνη των παραγωγών», σύμφωνα με την οποία ο παραγωγός αποβλήτων, είναι υπεύθυνος για την αποτελεσματική και περιβαλλοντικά ορθή απόρριψη (Π.Δ. 148/2009).

Ο νέος ΕΚΑ βρίσκεται σε ισχύ με την Απόφαση 2014/955/ΕΕ της Επιτροπής και αποτελεί σήμερα ονοματολογία αναφοράς, παρέχοντας κοινή για όλη την Κοινότητα ορολογία, με σκοπό την αποτελεσματικότερη διαχείριση των αποβλήτων. Τα απόβλητα του Ε.Κ.Α. που θεωρούνται επικίνδυνα σημειώνονται με αστερίσκο, όπως ορίζει η Απόφαση 2000/532/ΕΚ.

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια τάση αυστηροποίησης της νομοθεσίας σε κοινοτικό και εθνικό επίπεδο, σχετικά με τη διαχείριση των αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένης και της ιλύος, μέσα από τη θέσπιση συγκριμένων κανόνων και περιορισμών, που στοχεύουν στην εξασφάλιση της προστασίας του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας. Στόχος της ενότητας είναι να διερευνηθεί και να τεκμηριωθεί η βασική στρατηγική προσέγγισης που θα ακολουθηθεί για τη διαχείριση της παραγόμενης ιλύος κατά τη λειτουργία των Μονάδων Καθαρισμού υγρών Αποβλήτων, η οποία θα είναι σύμφωνη με τις κατευθύνσεις της ευρωπαϊκής και εθνικής νομοθεσίας, αποτελώντας τη βάση για τη διαμόρφωση ενός ολιστικού πλαισίου διαχείρισής της. Σημειώνεται ότι, η παρούσα εργασία λαμβάνει, στο βαθμό του εφικτού, όλες τις νέες τάσεις και εξελίξεις, ώστε τα αποτελέσματά της να είναι έγκυρα και αξιόπιστα, στο πλαίσιο ενός μακροπρόθεσμου σχεδιασμού. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται, συνοπτικά, τα κυριότερα νομοθετήματα που διέπουν τη διαχείριση της ιλύος και τα οποία αναλύονται στις επόμενες παραγράφους.

Πίνακας 1. Ευρωπαϊκή και εθνική νομοθεσία σχετικά με τη διαχείριση της ιλύος.

ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ	
Οδηγία	Συνοπτική Περιγραφή
2008/98/ΕΚ	Θέσπιση μέτρων για την προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας, εμποδίζοντας ή μειώνοντας τις αρνητικές επιπτώσεις της παραγωγής και της διαχείρισης αποβλήτων, περιορίζοντας τον συνολικό αντίκτυπο της χρήσης των πόρων και βελτιώνοντας την αποδοτικότητά της.
94/3/ΕΚ	Θέσπιση καταλόγου αποβλήτων.
1999/31/ΕΚ	Θέσπιση κανόνων και περιορισμών για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων, στοχεύοντας στην πρόληψη ή μείωση των αρνητικών επιπτώσεων της υγειονομικής ταφής των αποβλήτων στο περιβάλλον, και ειδικότερα, στις επιπτώσεις στα επιφανειακά ύδατα, στα υπόγεια ύδατα, στο έδαφος, στην ατμόσφαιρα ή στην υγεία του ανθρώπου.
2018/850/ΕΕ	Θέσπιση νέων κανόνων και περιορισμών με σκοπό την προώθηση της κυκλικής οικονομίας και τη μείωση της υγειονομικής ταφής των αποβλήτων. Αποτελεί τροποποίηση της 1999/31/ΕΚ.
86/278/ΕΚ	Θέσπιση οριακών τιμών συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στο έδαφος και στην ιλύ, καθώς και οριακές τιμές για τις ποσότητες βαρέων μετάλλων που μπορούν να εισάγονται στο έδαφος, σε ετήσια βάση
2000/76/ΕΚ	Καθορισμός όρων και προϋποθέσεων για την εφαρμογή της αποτέφρωσης αποβλήτων (συμπεριλαμβανομένης και ιλύος)
ΕΘΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ	
Απόφαση	Περιγραφή
Κ.Υ.Α. 80568/4225/1991	Μέθοδοι όροι και περιορισμοί για τη χρησιμοποίηση στη γεωργία της ιλύος που προέρχεται από επεξεργασία οικιακών και αστικών λυμάτων.
Ν. 1650/86	Για την προστασία του περιβάλλοντος.
Κ.Υ.Α. 22912/1117/2005	Μέτρα και όροι για την πρόληψη και τον περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος από την αποτέφρωση αποβλήτων.
Κ.Υ.Α. 114218/97	Κατάρτιση πλαισίου Προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων.

Κ.Υ.Α. 29407/3508/2002	Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων.
Κ.Υ.Α. 50910/2727/2003	Μέτρα και όροι για τη διαχείριση Στερεών Αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης.

Από την καταγραφή του νομοθετικού πλαισίου, καθίσταται σαφές ότι η περιβαλλοντικά ορθή διαχείριση της ιλύος και γενικότερα, των αποβλήτων αποτελεί βασικό στόχο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, με τη θέσπιση ολοένα και αυστηρότερων κανόνων και περιορισμών, προάγοντας με αυτό τον τρόπο την προστασία του περιβάλλοντος και τη δημόσιας υγείας. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι, σύμφωνα με το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο απαγορεύεται ρητώς η απόρριψη της ιλύος στη θάλασσα και γενικότερα, σε επιφανειακά και υπόγεια ύδατα, ενώ με κύριο άξονα τη μετάβαση σε μια κυκλική οικονομία, η μείωση της διάθεσης της ιλύος σε χώρους υγειονομικής ταφής, αποτελεί προτεραιότητα για την Ευρωπαϊκή Ένωση, προωθώντας πρακτικές που στοχεύουν στη μετατροπή της ιλύος και γενικότερα, των στερεών αποβλήτων από απόβλητο σε αξιοποιήσιμη πρώτη ύλη, μετά από κατάλληλη επεξεργασία (π.χ. για παραγωγή ενέργειας ή για λίπασμα στη γεωργία). Επιπρόσθετα, η διάθεση της ιλύος για γεωργική χρήση ή για αποτέφρωση είναι δυο εναλλακτικές μέθοδοι διάθεσης, που δύναται να εφαρμοστούν, εφόσον πληρούνται συγκεκριμένες προϋποθέσεις.

Στην Ελλάδα, στο πλαίσιο εναρμόνισης με την ευρωπαϊκή νομοθεσία, γίνεται μια προσπάθεια μείωσης της διάθεσης της ιλύος σε χώρους υγειονομικής ταφής και προώθησης πρακτικών ανακύκλωσής της, με τη θέσπιση νομοθετημάτων που ορίζουν κανόνες και περιορισμούς προς αυτήν την κατεύθυνση. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία οι κύριοι τρόποι διάθεσης της ιλύος περιλαμβάνουν τη γεωργική χρήση, τη χρήση της ως καύσιμης ύλης στη βιομηχανία και σε θερμοηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας, τη χρήση της σε μονάδες παραγωγής βιοαερίου και τη χρήση της για αποκατάσταση τοπίου, πάντα μετά από κατάλληλη επεξεργασία, ώστε να πληροί τις απαιτούμενες προϋποθέσεις, σύμφωνα με τη νομοθεσία.

Ακολούθως, πραγματοποιείται αναλυτική καταγραφή της κείμενης νομοθεσίας, σε ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο, που αφορά στη διαχείριση των αποβλήτων και συγκεκριμένα της ιλύος. Σκοπός της ανάλυσης είναι ο καθορισμός συγκεκριμένων κατευθύνσεων για τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου σχεδίου διαχείρισης της ιλύος, που προκύπτει από τις ΜΚΑ.

2.1 Ευρωπαϊκή Στρατηγική Διαχείρισης Αποβλήτων

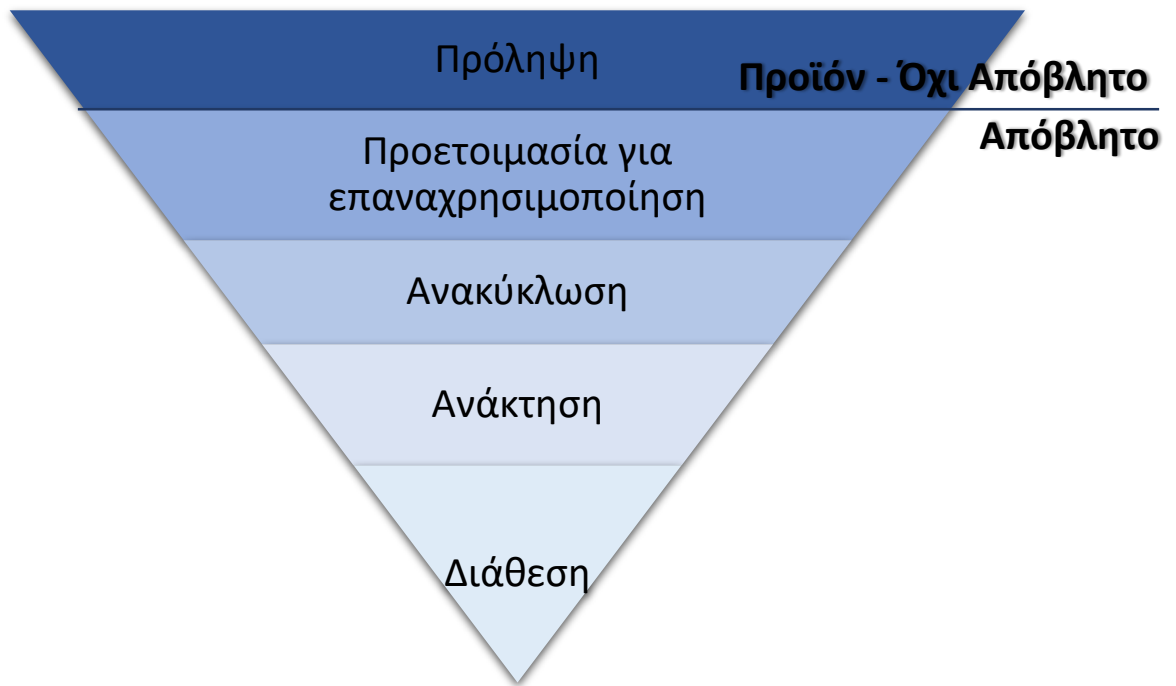
Η πολιτική που θα εφαρμόσει η Ευρωπαϊκή Ένωση μέχρι το 2030 θα βασιστεί στην πρόταση που υποβλήθηκε τον Οκτώβριο του 2020, αναφορικά με το 8ο πρόγραμμα περιβαλλοντικής δράσης, το οποίο συνιστά ευθύνη, τόσο των οργάνων της ΕΕ, όσο και των εθνικών κυβερνήσεων, με στόχο την αντιμετώπιση των προκλήσεων στους τομείς του περιβάλλοντος, του κλίματος και της βιωσιμότητας, όπως είναι η απώλεια της βιοποικιλότητας, η αλλαγή κλίματος, η αποδοτική χρήση πόρων και η ρύπανση. Το πρόγραμμα βασίζεται σε ένα

μακροπρόθεσμο όραμα, που φτάνει μέχρι το 2050. Με γνώμονα την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία, τίθενται έξι στόχοι προτεραιότητας μέχρι το 2030, οι οποίοι αφορούν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, στην ενίσχυση της προσαρμοστικής ικανότητας και της ανθεκτικότητας στις κλιματικές αλλαγές, στην αποσύνδεση της οικονομικής ανάπτυξης από τη χρήση πόρων και την υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Στόχος τους είναι η μετάβαση σε μια κυκλική οικονομία, με μηδενική ρύπανση του αέρα, του νερού και του εδάφους, η προστασία της υγείας, η διατήρηση της βιοποικιλότητας, καθώς και η μείωση των περιβαλλοντικών και κλιματικών πιέσεων. Με βάση αυτό το πρόγραμμα έχουν θεσμοθετηθεί Οδηγίες, σύμφωνα με τις οποίες καθορίζεται λεπτομερώς η πολιτική που θα ακολουθήσουν, τόσο τα όργανα της ΕΕ όσο και τα κράτη μέλη, για την προστασία του περιβάλλοντος.

2.1.1 Οδηγία Πλαίσιο 2008/98/ΕΚ

Μέσω της Οδηγίας 2008/98/ΕΚ θεσπίστηκαν μέτρα για την προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας, εμποδίζοντας ή μειώνοντας τις αρνητικές επιπτώσεις της παραγωγής και της διαχείρισης αποβλήτων, περιορίζοντας τον συνολικό αντίκτυπο της χρήσης των πόρων και βελτιώνοντας την αποδοτικότητά της. Με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ έγινε αντικατάσταση της Οδηγίας 2006/12/ΕΚ (και κατάργηση των Οδηγιών για τη διαχείριση των επικίνδυνων αποβλήτων και των λιπαντικών 91/689/ΕΚ και 75/439/ΕΚ, αντίστοιχα). Η αναθεώρηση της Οδηγίας πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο υλοποίησης της στρατηγικής για την πρόληψη της παραγωγής των αποβλήτων και την ανακύκλωση, με στόχο να αποσαφηνίσει έννοιες, όπως απόβλητο, διάθεση, αξιοποίηση, να ενισχύσει και να προωθήσει την πρόληψη της παραγωγής των απορριμμάτων, να εισάγει την έννοια της ανάλυσης κύκλου ζωής στη λήψη αποφάσεων για τη διαχείρισή τους και να προωθήσει την ανάκτηση υλικών και ενέργειας. Στο πλαίσιο αυτό, υιοθετήθηκε μια στρατηγική, όπως αυτή απεικονίζεται συνοπτικά στο Διάγραμμα 1, η οποία αφορά στην πρόληψη και διαχείριση των αποβλήτων και έχει ως κυριότερους στόχους, κατά σειρά προτεραιότητας:

- την πρόληψη, όπου συμπεριλαμβάνεται η ελαχιστοποίηση της χρήσης υλικών για τον σχεδιασμό και την κατασκευή προϊόντων, η μεγαλύτερη διάρκεια χρήσης τους, καθώς και η χρήση λιγότερο επικίνδυνων υλικών.
- την προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση, όπου περιλαμβάνονται οι απαιτούμενες διαδικασίες για τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των χρησιμοποιούμενων υλικών, όπως είναι ο έλεγχος, το καθάρισμα, η επιδιόρθωση κ.ά.
- την ανακύκλωση, δηλαδή τη δημιουργία νέου αντικειμένου ή υλικού ύστερα από την επεξεργασία των απορριμμάτων.
- άλλου είδους ανάκτηση, (π.χ. ανάκτηση ενέργειας), περιλαμβάνονται μέθοδοι, όπως η καύση των απορριμμάτων με ανάκτηση ενέργειας, η αεριοποίηση και η πυρόλυση κ.ά. και
- τη διάθεση, η οποία αποτελεί το τελευταίο επίπεδο και περιλαμβάνει τη διάθεση των απορριμμάτων σε χώρους υγειονομικής ταφής ή την καύση τους χωρίς ανάκτηση ενέργειας.



Διάγραμμα 1. Στρατηγική διαχείρισης αποβλήτων, σύμφωνα με τα οριζόμενα στην Οδηγία 2008/98/ΕΚ.

Επιπλέον, στην Οδηγία αυτή, εισάγεται η έννοια του «ο ρυπαίνων πληρώνει» και της «διευρυμένης ευθύνης του παραγωγού». Επίσης, μέσω της Οδηγίας καθορίζεται πότε η αποτέφρωση των απορριμμάτων θεωρείται ανάκτηση και όχι διάθεση, σε συμφωνία και με τα έγγραφα αναφοράς των βέλτιστων διαθέσιμων τεχνικών για την αποτέφρωση των αποβλήτων (IPPC Directive), ενώ παράλληλα, θέτει δύο στόχους μέχρι το 2020, πρώτον την προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση, έως και 50% των αστικών απορριμμάτων ή παρόμοιων με αυτά και την προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωσης και ανάκτησης έως και 70% απορριμμάτων από οικοδομικές εργασίες και κατεδαφίσεις. Επιπρόσθετα, προβλέπεται η θέσπιση στόχων πρόληψης της παραγωγής των απορριμμάτων το 2014, καθώς και η χωριστή συλλογή υλικών όπως το χαρτί, μέταλλα, πλαστικό, γυαλί από το 2015 και έπειτα, προτρέπεται, για τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα: α) η ξεχωριστή συλλογή τους με στόχο την κομποστοποίηση ή την αναερόβια επεξεργασία τους, β) η επεξεργασία του οργανικού κλάσματος με γνώμονα την προστασία του περιβάλλοντος και γ) η χρήση περιβαλλοντικά ασφαλών προϊόντων από την επεξεργασία των οργανικών αποβλήτων.

Σύμφωνα με την οδηγία, τα κράτη μέλη διασφαλίζουν ότι η ανάπτυξη της νομοθεσίας και της πολιτικής για τα απόβλητα είναι μια απολύτως διαφανής διαδικασία, τηρώντας τους υφιστάμενους εθνικούς κανόνες, αναφορικά με τη διαβούλευση με τους πολίτες και τους ενδιαφερόμενους παράγοντες και τη συμμετοχή τους στη διαδικασία και λαμβάνοντας υπόψη, τις γενικές αρχές περί προστασίας του περιβάλλοντος της προφύλαξης και της αειφορίας, του τεχνικώς εφικτού και της οικονομικής βιωσιμότητας, της προστασίας των πόρων, καθώς και το συνολικό αντίκτυπο στο περιβάλλον, στην ανθρώπινη υγεία, στην οικονομία και στην κοινωνία.

2.1.2 Απόφαση 94/3/ΕΚ- Θέσπιση καταλόγου αποβλήτων

Στο πλαίσιο δημιουργίας μιας κοινής στρατηγικής για τη διαχείριση των αποβλήτων, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υιοθέτησε τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων (Ε.Κ.Α.) με την Απόφαση 94/3/ΕΚ. Ο Ε.Κ.Α. είναι ένας εναρμονισμένος, μη εξαντλητικός κατάλογος αποβλήτων, ο οποίος ανά τακτά διαστήματα αναθεωρείται και, εφόσον είναι απαραίτητο, επικαιροποιείται σύμφωνα με τη διαδικασία της Επιτροπής. Ο νέος ΕΚΑ βρίσκεται σε ισχύ με την Απόφαση 2014/955/ΕΕ της Επιτροπής.

Ο Ε.Κ.Α. αποτελεί σήμερα ονοματολογία αναφοράς, παρέχοντας κοινή για όλη την Κοινότητα ορολογία, με σκοπό την αποτελεσματικότερη διαχείριση των αποβλήτων, λαμβάνοντας υπόψη το είδος της βιομηχανίας, τη διεργασία από την οποία προκύπτουν, καθώς και τον τύπο τους. Τα απόβλητα του Ε.Κ.Α. που θεωρούνται επικίνδυνα σημειώνονται με αστερίσκο, όπως ορίζει η Απόφαση 2000/532/ΕΚ. Θα πρέπει τέλος να τονιστεί, ότι ένα υλικό που περιλαμβάνεται στον Ε.Κ.Α. δεν είναι απόβλητο υπό οποιεσδήποτε συνθήκες. Ο όρος είναι δόκιμος μόνο όταν ικανοποιείται ο ορισμός του, με βάση το άρθρο 3 της Οδηγίας 2008/98/ΕΚ.

2.1.3 Οδηγία 1999/31/ΕΚ- Υγειονομική Ταφή

Η Οδηγία 1999/31/ΕΚ περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων, στοχεύει στην πρόληψη ή στη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων της υγειονομικής ταφής των αποβλήτων στο περιβάλλον, και ειδικότερα, στις επιπτώσεις στα επιφανειακά ύδατα, στα υπόγεια ύδατα, στο έδαφος, στην ατμόσφαιρα ή στην υγεία του ανθρώπου. Η Οδηγία ταξινομεί τους χώρους ταφής σε τρεις κατηγορίες:

- Χώροι Υγειονομικής Ταφής Επικινδύνων Αποβλήτων (Χ.Υ.Τ.Ε.Α.)
- Χώροι Υγειονομικής Ταφής μη επικινδύνων αποβλήτων / υπολειμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α/Υ.)
- Χώροι Υγειονομικής Ταφής αδρανών αποβλήτων (Χ.Υ.Τ. Αδρανών)

Επιπροσθέτως, αποσκοπώντας στη διασφάλιση της ελεγχόμενης διάθεσης των αποβλήτων, απαγορεύει τη διάθεση των ελαστικών, των νοσοκομειακών και άλλων τύπων αποβλήτων και καθορίζει τη διαδικασία για τη χορήγηση αδειών εκμετάλλευσης χώρων ταφής. Τέλος, θεσπίζονται συγκεκριμένοι ποσοτικοί στόχοι για τη μείωση της ποσότητας των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων και επιβάλλεται η διαμόρφωση εθνικής στρατηγικής από τα κράτη μέλη, για την προσέγγιση των παραπάνω στόχων.

2.1.4 Οδηγία 2018/850/ΕΕ

Προκειμένου να στηρίξει τη μετάβαση της ΕΕ σε μια κυκλική οικονομία, η Οδηγία 2018/850/ΕΕ τροποποιεί την οδηγία 1999/31/ΕΚ. Ειδικότερα, μέσω της Οδηγίας 2018/850/ΕΕ:

- θεσπίζονται περιορισμοί στην υγειονομική ταφή, από το 2030, για όλα τα απόβλητα που είναι κατάλληλα για ανακύκλωση ή ανάκτηση άλλων υλικών ή ενέργειας,
- επιδιώκεται μείωση της ποσότητας των αποβλήτων που καταλήγουν σε χώρους υγειονομικής ταφής στο 10% έως το 2035,

- Θεσπίζονται κανόνες σχετικά με την αποτίμηση της επίτευξης των στόχων για τα αστικά απόβλητα και απαιτεί, από τις χώρες της ΕΕ, να καθιερώσουν ένα αποτελεσματικό σύστημα ποιοτικού ελέγχου και ανιχνευσιμότητας των αστικών αποβλήτων που διατίθενται με υγειονομική ταφή,
- απαιτείται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, σε συνεργασία με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος, να συντάσσει, 3 έτη πριν από κάθε προθεσμία, εκθέσεις έγκαιρης προειδοποίησης για τον εντοπισμό ανεπαρκειών στην επίτευξη των στόχων και για προτεινόμενες δράσεις που πρέπει να αναληφθούν, και
- παρέχεται η δυνατότητα στις χώρες της ΕΕ να χρησιμοποιούν οικονομικά μέσα και άλλα μέτρα για να ενισχύουν την εφαρμογή της ιεράρχησης των αποβλήτων που θέσπισε η οδηγία 2008/98/ΕΚ, οδηγία-πλαίσιο για τα απόβλητα.

*Η ΕΕ μέσα από την Οδηγία 2018/850/ΕΕ στοχεύει στην προαγωγή της μετάβασης σε μια περισσότερο κυκλική οικονομία, μέσα από τη θέσπιση περιορισμών στην υγειονομική ταφή, **από το 2030**, για όλα τα απόβλητα που είναι κατάλληλα για ανακύκλωση ή ανάκτηση άλλων υλικών ή ενέργειας και θα επιδιώκεται μείωση της ποσότητας των αποβλήτων που καταλήγουν σε χώρους υγειονομικής ταφής στο **10% έως το 2035**.*

Παρά το γεγονός ότι, η νέα Οδηγία απαιτεί η εναρμόνισή της με το εθνικό δίκαιο της εκάστοτε χώρας να πραγματοποιηθεί μέχρι 5 Ιουλίου 2020, η εν λόγω Οδηγία δεν έχει ενσωματωθεί, ακόμα, στο ελληνικό δίκαιο. Λαμβάνοντας υπόψη τις τρέχουσες κοινωνικοπολιτικές συνθήκες, οι οποίες φαίνεται ότι δεν αφήνουν περιθώρια ευελιξίας στην Ελλάδα, ο σχεδιασμός, στην παρούσα εργασία, γίνεται βάσει του «δυσμενέστερου» σεναρίου, όπως αυτό διαμορφώνεται από τους προαναφερθέντες φιλόδοξους, αλλά υποχρεωτικούς στόχους.

2.1.5 Οδηγία 86/278/ΕΚ

Η Οδηγία 86/278/ΕΚ προβλέπει οριακές τιμές συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στο έδαφος και στην ιλύ, καθώς και οριακές τιμές για τις ποσότητες βαρέων μετάλλων που μπορούν να εισάγονται στο έδαφος, σε ετήσια βάση. Τα κράτη μέλη οφείλουν σε περίπτωση υπέρβασης των ορίων να λαμβάνουν κατάλληλα μέτρα, ώστε να μη σημειώνεται υπέρβαση των εν λόγω οριακών τιμών, εξαιτίας της χρησιμοποίησης ιλύος. Προτού χρησιμοποιηθεί στη γεωργία, η ιλύς πρέπει να υποβάλλεται σε επεξεργασία. Τα κράτη μέλη έχουν τη δυνατότητα να εγκρίνουν τη χρησιμοποίηση μη επεξεργασμένης ιλύος, εάν η ιλύς αυτή εγχέεται ή παραχώνεται στο έδαφος. Σύμφωνα με την Οδηγία, απαγορεύεται η χρήση ιλύος:

- Σε χορτολιβαδικές εκτάσεις που χρησιμοποιούνται ως βοσκότοποι ή σε καλλιέργειες ζωοτροφών προτού παρέλθει ορισμένη προθεσμία που καθορίζουν τα κράτη μέλη και που δεν μπορεί να είναι μικρότερη από 3 εβδομάδες.
- Σε καλλιέργειες οπωροκηπευτικών κατά την περίοδο της βλάστησης (εξαιρούνται οι καλλιέργειες οπωροφόρων δέντρων).
- Σε εδάφη προοριζόμενα για καλλιέργειες οπωροκηπευτικών που βρίσκονται σε άμεση επαφή με το έδαφος και που συνήθως καταναλώνονται ωμά, επί 10 μήνες πριν αρχίσει η συγκομιδή και κατά τη συγκομιδή.

Ωστόσο, η Οδηγία 86/278/ΕΚ, βρίσκεται σε στάδιο αναθεώρησης. Ειδικότερα, σύμφωνα με το 3ο Σχέδιο Αναθεώρησης προτείνονται αυστηρότερες οριακές τιμές, όσον αφορά στα βαρέα μέταλλα και στο μικροβιολογικό φορτίο της ιλύος και οριακές τιμές σχετικά με τους οργανικούς ρύπους.

2.1.6 Οδηγία 2000/76/ΕΚ

Με την Οδηγία 2000/76/ΕΚ, η Ευρωπαϊκή Ένωση αποδέχεται την εφαρμογή της αποτέφρωσης αποβλήτων, εφόσον αυτή εντάσσεται σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης, με σκοπό τη διατήρηση των πόρων και τη βιώσιμη ανάπτυξη, ορίζοντας συγκεκριμένους όρους και συνθήκες λειτουργίας των μονάδων αποτέφρωσης/ συναποτέφρωσης απορριμμάτων. Πιο συγκεκριμένα, καθορίζονται τα ακόλουθα:

- η διαδικασία χορήγησης και το περιεχόμενο της άδειας λειτουργίας των μονάδων,
- η διαδικασία παραλαβής των απορριμμάτων,
- οι παράμετροι λειτουργίας και ο απαιτούμενος εξοπλισμός,
- τα όρια εκπομπών αερίων ρύπων,
- η διαχείριση των υγρών αποβλήτων και των στερεών αποβλήτων της καύσης
- ο έλεγχος και η παρακολούθηση της μονάδας,
- οι απαιτήσεις για μετρήσεις (εκπομπών, θερμοκρασιών, κ.ο.κ.) καθώς και η διάθεση πληροφοριών για τη λειτουργία της μονάδας και τέλος,
- η επιβολή μέτρων από την αρμόδια αρχή σε περίπτωση απόκλισης από τους καθορισμένους όρους λειτουργίας

2.2 Ισχύον Θεσμικό Πλαίσιο και Τάσεις στην Ελλάδα

2.2.1 Νόμος 4042/2012

Με τον Ν. 4042/2012 ενσωματώθηκε στο εθνικό δίκαιο η Οδηγία πλαίσιο 2008/98/ΕΚ για τα απόβλητα, με τον οποίο αναμορφώνεται και εκσυγχρονίζεται το θεσμικό πλαίσιο που διέπει τη διαχείριση των αποβλήτων στην Ελλάδα, ενώ παράλληλα, καθορίζονται ποινικές κυρώσεις, σε περίπτωση ρύπανσης ή ενδεχόμενης ρύπανσης του περιβάλλοντος, με σκοπό τη διασφάλιση της ποινικής προστασίας του. Ειδικότερα, περιλαμβάνει διατάξεις αναφορικά με την ιεράρχηση των δράσεων και των εργασιών για τη διαχείριση των αποβλήτων, αναφέροντας ρητά ότι στη νομοθεσία και την πολιτική για την πρόληψη και τη διαχείριση των αποβλήτων, ισχύει κατά προτεραιότητα η ακόλουθη ιεράρχηση: α) πρόληψη, β) προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση, γ) ανακύκλωση, δ) άλλου είδους ανάκτηση, όπως

ανάκτηση ενέργειας και τελικώς ε) διάθεση. Μεταξύ άλλων, τα μέτρα εφαρμογής περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- i. το Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης όλων των αποβλήτων της επικράτειας (ΕΣΔΑ), στο οποίο θα εμπεριέχονται και τα ειδικά εθνικά σχέδια διαχείρισης για συγκεκριμένα ρεύματα αποβλήτων,
- ii. τα περιφερειακά σχέδια διαχείρισης αποβλήτων (ΠΕΣΔΑ) για κάθε περιφέρεια της χώρας και
- iii. την αδειοδότηση νέων και υφιστάμενων επιχειρήσεων ή οργανισμών που εκτελούν εργασίες επεξεργασίας αποβλήτων, οι οποίοι θα πρέπει να έχουν λάβει περιβαλλοντική αδειοδότηση (ΑΕΠΟ) και άδεια λειτουργίας. Για δραστηριότητες συλλογής και μεταφοράς αποβλήτων δεν προβλέπεται πλέον ΑΕΠΟ και άδεια λειτουργίας, αλλά ενιαία άδεια συλλογής-μεταφοράς.

2.2.2 Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ)

Το Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ) ακολουθεί τις κατευθυντήριες γραμμές των διατάξεων 22 και 35 του Νόμου 4042/2012 (Α' 24), όπως τροποποιήθηκε με τον ν. 4685/2020 και ισχύουν. Ακόμα, περιλαμβάνει όλες τις προβλέψεις του άρθρου 28 της Οδηγίας Πλαισίου 2008/98/ΕΚ για τα απόβλητα, επικίνδυνα και μη, καλύπτοντας, ταυτόχρονα, όλες τις νέες υποχρεώσεις και όλα τα στοιχεία που εισήχθησαν στο άρθρο αυτό, μέσω της Οδηγίας 2018/851 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 30^{ης} Μαΐου 2018, καθώς και της κατευθυντήριας Οδηγίας της Ε.Ε. «The role of Waste-to-Energy in the circular economy».

Το ΕΣΔΑ αποτελεί ένα στρατηγικό και πολιτικό σχεδιασμό που καθορίζει τη στρατηγική, τις πολιτικές και τους στόχους για τη διαχείριση των αποβλήτων, σε εθνικό επίπεδο. Πρόσφατα, δημοσιεύτηκε το νέο ΕΣΔΑ, που θα ακολουθήσει η Ελλάδα μέχρι το 2030, μέσω δημοσίευσης στο Φύλλο Εφημερίδας της Κυβέρνησης (ΦΕΚ), τεύχος Β' της 29^{ης} Σεπτεμβρίου 2020, με στόχο:

- Την προστασία, διατήρηση και ενίσχυση του φυσικού κεφαλαίου της Ε.Ε.,
- Τη μετατροπή της Ε.Ε. σε μία πράσινη και ανταγωνιστική οικονομία χαμηλών επιπέδων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και αποδοτικής χρήσης των πόρων και
- Την προστασία των πολιτών της Ε.Ε. από περιβαλλοντικές πιέσεις και κινδύνους για την υγεία και την ευημερία.

Απώτερος σκοπός της εθνικής πολιτικής είναι η ολοκληρωμένη και ορθολογική διαχείριση των αποβλήτων, που έγκειται στη συμπληρωματικότητα των επιλογών διαχείρισης, με γνώμονα την αειφορική χρήση των πόρων, προκειμένου να μειώνονται οι παραγόμενες ποσότητες αποβλήτων και όπου δημιουργούνται απόβλητα, να υφίστανται διαχείριση με τρόπο, ώστε να μειώνονται οι επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία και παράλληλα, να συνεισφέρουν θετικά στην οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη.

2.3 Νομοθετικό πλαίσιο διαχείρισης ιλύος

Η ανάλυση της υφιστάμενης νομοθεσίας σχετικά με τη διαχείριση, απόρριψη και ανακύκλωση ιλύος που γίνεται σε αυτή την ενότητα, δείχνει ότι οι προδιαγραφές και τα όρια εστιάζουν, κυρίως, στη χρήση ιλύος στη γεωργία, τόσο σε εθνικό όσο και σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, ενώ άλλες χρήσεις ή τρόποι διάθεσης της ιλύος, εμπίπτουν σε πιο γενικές διατάξεις που σχετίζονται με τη διαχείριση αποβλήτων. Τα ελληνικά νομοθετήματα που σχετίζονται με την ιλύ είναι:

- Κ.Υ.Α. 80568/4225/1991: Μέθοδοι όροι και περιορισμοί για τη χρησιμοποίηση στη γεωργία της ιλύος που προέρχεται από επεξεργασία οικιακών και αστικών λυμάτων (ΦΕΚ 641/Β/1991).
- Ν. 1650/86: Για την προστασία του περιβάλλοντος (ΦΕΚ 160/Α/1986).
- Κ.Υ.Α. 22912/1117/2005: Μέτρα και όροι για την πρόληψη και τον περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος από την αποτέφρωση αποβλήτων (ΦΕΚ 759/Β/1993).
- Κ.Υ.Α. 114218/97: Κατάρτιση πλαισίου Προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων (ΦΕΚ 1016/Β/1997).
- Κ.Υ.Α. 29407/3508/2002: Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων (ΦΕΚ 1572/Β/2002).
- Κ.Υ.Α. 50910/2727/2003: Μέτρα και όροι για την διαχείριση Στερεών Αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης (ΦΕΚ 1909/Β/2003).

2.3.1 Εθνική Νομοθεσία

Η Οδηγία 86/278/ΕΚ ενσωματώθηκε στο εθνικό θεσμικό πλαίσιο με την ΚΥΑ 80568/4225/1991 χωρίς τροποποιήσεις, παρά μόνο με την προσθήκη οριακών τιμών για το χρώμιο (Cr): 500mg/kg ξηράς ουσίας για το Cr (III) και 10 mg/kg ξηράς ουσίας για το Cr (VI). Στον πίνακα 3 που ακολουθεί, παρατίθενται οι βασικές προϋποθέσεις, σχετικά με τη διάθεση της ιλύος, όπως ορίζονται στην ευρωπαϊκή οδηγία και την αντίστοιχη ΚΥΑ με την οποία ενσωματώθηκε στην εθνική νομοθεσία της χώρας.

«Ανάλυση βιωσιμότητας μέσω πολυκριτηριακής ανάλυσης εναλλακτικών δυνατοτήτων και τεχνολογιών διαχείρισης ιλύος στην Ελλάδα» | Διπλωματική εργασία- Τσόμπος Αλέξανδρος

Πίνακας 2. Μέγιστες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, σύμφωνα με την ευρωπαϊκή και εθνική νομοθεσία.

ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΟΔΗΓΙΑ 86/278/ΕΕ			ΚΥΑ 80568/4225/91		
	Γεωργική διάθεση (mg/kg DS)	Διάθεση στο έδαφος (mg/kg DS εδάφους)	Διάθεση σε καλλιεργημένα εδάφη (kg/ha/έτος)	Στην ιλύ (mg/kg DS)	Στο έδαφος (mg/kg DS εδάφους)	Διάθεση σε καλλιεργημένα εδάφη (kg/ha/έτος)
Cd	20 - 40	1 - 3	0,15	20 - 40	1 - 3	0,15
Cr	-	-	-	Cr ³⁺ :500, Cr ⁶⁺ :10	-	-
Cu	1000 – 1750	50 - 140	12	1000 – 1750	50 - 140	12
Hg	16 – 25	1 – 1.5	0,1	16 – 25	1 – 1.5	0,1
Ni	300 - 40	30 - 75	3	300 - 40	30 - 75	3
Pb	750 - 1200	50 - 300	15	750 - 1200	50 - 300	15
Zn	2500 - 4000	150 - 300	30	2500 - 4000	150 - 300	30

Επισημαίνεται ότι, σύμφωνα με την ανωτέρω νομοθεσία δεν τίθενται ιδιαίτεροι περιορισμοί για την χρησιμοποίηση της ιλύος στη γεωργία ως προς το μικροβιακό φορτίο. Οι περιορισμοί σχετικά με το μικροβιακό φορτίο της ιλύος τίθενται στην αναθεώρηση της Οδηγίας 86/278/ΕΚ. Η Οδηγία 91/271/ΕΕC ενσωματώθηκε στο εθνικό μας δίκαιο με την ΚΥΑ 5673/400/1997.

Στην ΚΥΑ 114218/1997 ορίζονται Τεχνικές Προδιαγραφές διαχείρισης της ιλύος από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Ειδικότερα, καθορίζονται οι ακόλουθες μέθοδοι επεξεργασίας της ιλύος:

- Πάχυνση ιλύος,
- Βιολογική χώνευση,
- Βελτίωση,
- Αφυδάτωση και ξήρανση,
- Καύση και
- Συν-κομποστοποίηση.

Αναφορικά με τη διάθεση της ιλύος από εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων, καθορίζεται μόνο η διάθεσή της στη γεωργία, στην ΚΥΑ 80568/4225/1991. Η Οδηγία 99/31/ΕC ενσωματώθηκε στο εθνικό μας δίκαιο με την ΚΥΑ 29407/3508/16-12-2002. Παράλληλα, η ΚΥΑ 50910/2727/2003 εντάσσει στην Ελληνική Νομοθεσία τον Ευρωπαϊκό Κώδικα Απόβλητων, σύμφωνα με τον οποίο, τα απόβλητα από τον καθαρισμό των λυμάτων και η ιλύς από σηπτικές δεξαμενές, εντάσσονται στα Δημοτικά απόβλητα και γίνονται δεκτά σε Χώρους Υγειονομικής Ταφής (Χ.Υ.Τ.Α.). Επιπρόσθετα, περιλαμβάνει τον καθορισμό του Εθνικού Σχεδιασμού Διαχείρισης μη επικίνδυνων αποβλήτων, στα οποία συμπεριλαμβάνεται και η ιλύς που παράγεται από την επεξεργασία των λυμάτων. Κύριοι στόχοι είναι να επιτευχθεί υψηλό ποσοστό αξιοποίησης της ιλύος και να μειωθεί το ποσοστό τελικής διάθεσης.

Στις διατάξεις της ΚΥΑ 22912/1117/2005, για την αποτέφρωση των αποβλήτων και στην οποία ορίζονται μέτρα και όροι πρόληψης και περιορισμού της ρύπανσης του περιβάλλοντος από την αποτέφρωση, εμπίπτει και η χρησιμοποίηση ως καύσιμο της ιλύος, με στόχο την εναρμόνιση της εθνικής νομοθεσίας με τις διατάξεις της Οδηγίας 2000/76/ΕΚ. Η εν λόγω ΚΥΑ, τροποποιήθηκε το 2013 με την ΚΥΑ 36060/1155/Ε.103/2013, όπου καθορίζεται πλαίσιο κανόνων, μέτρων και μεθόδων για ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης από βιομηχανικές δραστηριότητες σε συμμόρφωση με την Οδηγία 2010/75/ΕU. Τέλος, στην ΚΥΑ 51373/4684/2015 έχουμε επικύρωση του Εθνικού Σχεδίου Διαχείρισης Αποβλήτων και του Εθνικού Στρατηγικού Σχεδίου Πρόληψης και τέθηκαν για την ιλύ οι εξής στόχοι:

- Ελαχιστοποίηση διάθεσης ιλύος σε Χώρους Υγειονομικής Ταφής.
- Ανάκτηση ιλύος, 95% κατά βάρος επί της παραγόμενης ποσότητας.
- Διάθεση ιλύος, 5% κατά βάρος επί της παραγόμενης ποσότητας (έως το 2020).
- Ανάπτυξη δικτύου υποδομών για την ανάκτηση ιλύος που παράγεται από την επεξεργασία των αστικών λυμάτων.

- Ενημέρωση, αναφορικά με τις δυνατότητες ορθής διαχείρισης της ιλύος, των παραγωγών ιλύος.

Συμπερασματικά, οι τρόποι μέσω των οποίων μπορεί να αξιοποιηθεί, σε γενικές γραμμές, η ιλύς από Ε.Ε.Λ. σύμφωνα με την Ελληνική Νομοθεσία είναι:

- Με χρήση της ιλύος στη γεωργία, είτε απευθείας, είτε ύστερα από κομποστοποίηση, τηρουμένων πάντα των περιορισμών και προδιαγραφών που έχουν τεθεί, σύμφωνα με την αντίστοιχη νομοθεσία.
- Με χρήση της ιλύος ύστερα από ξήρανση, ως καύσιμου ύλης, στη βιομηχανία και στους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας.
- Με χρήση της ιλύος ύστερα από αφυδάτωση, στις μονάδες παραγωγής βιοαερίου.
- Με χρήση της ιλύος στην αποκατάσταση τοπίου, ύστερα από υγειονομοποίηση, σταθεροποίηση και ξήρανση.

Τέλος, σημειώνεται ότι εκτός της βασικής νομοθεσίας που ισχύει, σχετικά με τη διαχείριση των αποβλήτων, μεταξύ των οποίων και της βιολογικής ιλύος και αναφέρεται ανωτέρω, θα πρέπει να συμπεριληφθεί και όλο το θεσμικό πλαίσιο που αφορά στην περιβαλλοντική αδειοδότηση και βασίζεται, κυρίως, στο Ν. 1650/86, όπως τροποποιήθηκε από το Ν. 3010/02 (ΦΕΚ 91/Α/25-4-02) «Εναρμόνιση του Ν.1650/1986 με τις Οδηγίες 97/11/ΕΕ και 96/61/ΕΕ, κλπ» και τον Νόμο 4685 (ΦΕΚ 92/Α/7.5.2020) «Εκσυγχρονισμός περιβαλλοντικής νομοθεσίας, ενσωμάτωση στην ελληνική νομοθεσία των Οδηγιών 2018/844 και 2019/692 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και λοιπές διατάξεις», την ΚΥΑ ΗΠ 15393/2332/02 (ΦΕΚ 1022Β/5-8-02) «Κατάταξη δημόσιων και ιδιωτικών έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες, κλπ.» και την ΚΥΑ ΗΠ 11014/703/Φ104/03 (ΦΕΚ332/Β/20-3-03) «Διαδικασία Προκαταρκτικής Περιβαλλοντικής Εκτίμησης και Αξιολόγησης (Π.Π.Ε.Α.) και Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (Ε.Π.Ο.), κλπ).

3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΙΛΥΟΣ

Η ιλύς αποτελεί το σημαντικότερο παραπροϊόν που προκύπτει κατά την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, στις δεξαμενές πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας καθίζησης, τόσο λόγω του σημαντικού όγκου της, όσο και της δυσχέρειας διαχείρισής της (επεξεργασία και διάθεση), καθώς περιέχει πλήθος πολύτιμων συστατικών, όπως θρεπτικά και υψηλή θερμική αξία, αλλά και ρυπαντικά στοιχεία, όπως είναι οι παθογόνοι μικροοργανισμοί και τα βαρέα μέταλλα. Το γεγονός αυτό, όπως είναι φυσικό, είναι πιο έντονο στις μεγάλες μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, όπου λόγω του συνεχώς αυξανόμενου παραγόμενου όγκου της ιλύος, αλλά και της παρουσίας σε αυτή βαρέων μετάλλων και οργανικών ρυπαντικών ουσιών, δημιουργείται σημαντικό πρόβλημα σχετικά με τον τρόπο επεξεργασίας και την τελική της διάθεση.

Από τα παραπάνω, διαπιστώνεται ότι η διάθεση της ιλύος δύναται να προκαλέσει δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον, καθιστώντας αναγκαία την εφαρμογή μιας ολοκληρωμένης στρατηγικής διαχείρισής της, η οποία θα έχει ως στόχο τη βελτίωση της ποιότητάς της, μέσω της ελάττωσης του όγκου της, καθώς και της εξουδετέρωσης των επικίνδυνων συστατικών που περιέχει, με στόχο την ασφαλή, περιβαλλοντικά, διάθεσή της.

Στο πλαίσιο του παρόντος κεφαλαίου, πραγματοποιείται ανάλυση των εναλλακτικών δυνατοτήτων και καλών πρακτικών διαχείρισης ιλύος, μέσα από την αποτύπωση όλου του φάσματος των διαθέσιμων μεθόδων επεξεργασίας ιλύος, που εφαρμόζονται σε ευρωπαϊκή και διεθνή κλίμακα.

3.1 Γενικά

Η ιλύς που παράγεται κατά τα διάφορα στάδια επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, στις μονάδες επεξεργασίας τους, υποβάλλεται σε πρόσθετη επεξεργασία με κύριους στόχους:

- τη μείωση της περιεχόμενης υγρασίας,
- τη μείωση της οργανικής της ύλης και
- τη μείωση της συγκέντρωσης των παθογόνων μικροοργανισμών (υγειονομοποίηση).

Όλα τα παραπάνω, συμβάλλουν στην καλύτερη και οικονομικότερη διαχείριση της ιλύος και στην περιβαλλοντικά ορθή διάθεσή της. Ενδεικτικά, τα κύρια στάδια επεξεργασίας της ιλύος έχουν ως εξής:

- Άντληση
- Πρωτοβάθμιες επεξεργασίες
- Πάχυνση
- Σταθεροποίηση
- Αφυδάτωση

Αναλυτική περιγραφή των μεθόδων επεξεργασίας της ιλύος, μετά το στάδιο της πάχυνσης και αφυδάτωσης, που θεωρείται ως βάση (τις περισσότερες φορές) για την περαιτέρω επεξεργασία της, αποτυπώνεται στο Παράρτημα 1: Αναλυτική Περιγραφή διαθέσιμων

«Ανάλυση βιωσιμότητας μέσω πολυκριτηριακής ανάλυσης εναλλακτικών δυνατοτήτων και τεχνολογιών διαχείρισης ιύος στην Ελλάδα» | Διπλωματική εργασία- Τσόμπος Αλέξανδρος

μεθόδων επεξεργασίας και διάθεσης της ιύος. Στο πλαίσιο καταγραφής, αποτυπώνονται επίσης, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της κάθε μεθόδου, τα τελικά προϊόντα που προκύπτουν από αυτές, καθώς και οι τάσεις βελτίωσης αυτών και, τέλος, οι δυνητικές χρήσεις των τελικών προϊόντων.

4. ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΙΛΥΟΣ

Στο παρόν κεφάλαιο, πραγματοποιείται καταγραφή των κύριων μεθόδων που εφαρμόζονται, για την επεξεργασία και τη διάθεση της υλός, τόσο σε ευρωπαϊκό όσο και σε εθνικό επίπεδο. Βασικός στόχος αποτελεί η καταγραφή των τάσεων που υφίστανται στη διαχείριση της υλός, με γνώμονα την ανάδειξη και αξιολόγηση των δυνατοτήτων εφαρμογής των βέλτιστων περιβαλλοντικών πρακτικών.

4.1 Μέθοδοι διάθεσης παραγόμενης υλός στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ραγδαία αύξηση της παραγόμενης υλός, τόσο σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όσο και στις ΗΠΑ, αλλά και σε άλλες χώρες. Ανάμεσα με τις χώρες τις Ευρώπης, στις οποίες έχει παρατηρηθεί υψηλό ποσοστό παραγόμενης υλός, ξεχωρίζουν η Γερμανία, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Ισπανία, η Γαλλία και η Ιταλία με ποσοστό, που φθάνει ακόμα και το 73% της συνολικής παραγωγής των χωρών της Ευρώπης.

Στο φόντο αυτής της πραγματικότητας, έκδηλη είναι η προσπάθεια της ΕΕ να αναδειχθεί ο τομέας της διαχείρισης αποβλήτων, ως κύρια προτεραιότητα, για όλες τις χώρες μέλη, με σαφή εκβολή στην προεπεξεργασία, την επαναχρησιμοποίηση, αλλά και την ανακύκλωσή της υλός.

Αξίζει να αναφερθεί ότι, σε συνέχεια όσων έχουν ήδη παρατεθεί σε προηγούμενη ενότητα, σε αρκετές ευρωπαϊκές χώρες, όπως η Γερμανία, η Αυστρία, αλλά και η Ολλανδία, στο πλαίσιο εναρμονισμού με τις οδηγίες, απαγορεύεται ρητά η ταφή της λάσπης ή η χρήση της στη δασοκομία, σε δάση αλλά και σε χώρους πρασίνου, ενώ σε άλλες χώρες, κυρίως της Σκανδιναβίας, έχουν καθοριστεί χαμηλότερες οριακές τιμές για τις συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στο έδαφος, σε σχέση με την οδηγία της Ε.Ε, ωστόσο αρκετές χώρες της Ευρώπης, στις οποίες περιλαμβάνεται και η Ελλάδα, έχουν θέσει τις οριακές τιμές που έχει οριοθετήσει η Ευρωπαϊκή οδηγία.

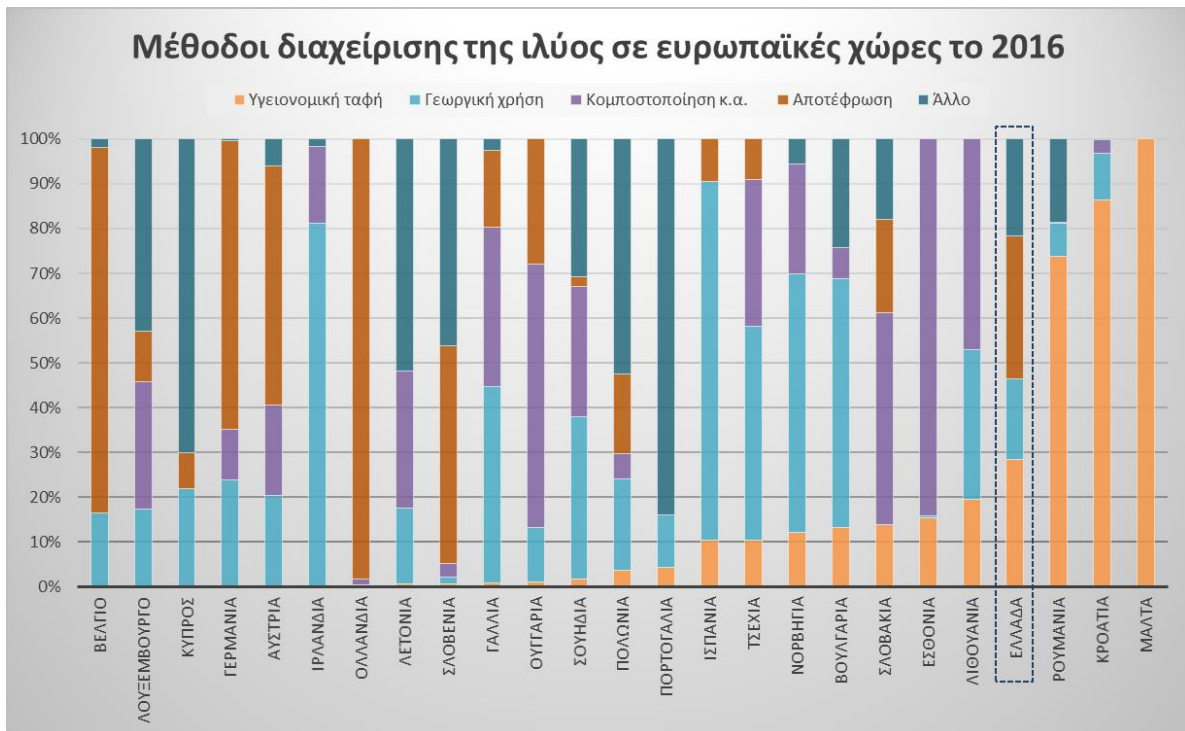
Σύμφωνα με Εκθέσεις της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι επεξεργασίας υλός, στις χώρες της Ευρώπης, είναι η αερόβια και η αναερόβια χώνευση, ενώ σε αρκετές χώρες εφαρμόζεται και η μέθοδος της θερμικής ξήρανσης. Άλλες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται, σε περιορισμένο, όμως, αριθμό χωρών, είναι η ψυχρή ζύμωση, η ηλιακή ξήρανση και η παστερίωση. Πιο συγκριμένα, στην Ισπανία, στην Ιταλία, στο Ηνωμένο Βασίλειο, στη Φιλανδία και στην Πολωνία, ως κύρια μέθοδος επεξεργασίας της υλός παρουσιάζεται η αναερόβια χώνευση, ενώ στην Τσεχία και στην Πολωνία, η σταθεροποίηση της υλός επιτυγχάνεται, κυρίως, μέσω της αερόβιας χώνευσης.

Γενικά, η επικρατούσα τάση είναι η αναερόβια χώνευση να αποτελεί επιλεγόμενη μέθοδο στις μεγάλες μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και η αερόβια στις μικρότερες. Εντούτοις, σε ορισμένες χώρες, όπως η Ολλανδία φαίνεται να εφαρμόζεται παρατεταμένος αερισμός, σε όλα τα μεγέθη των μονάδων, ενώ αντίθετα, η Μεγάλη Βρετανία βασίζεται στην αναερόβια χώνευση της υλός, σε όλα τα μεγέθη των μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

Από τα παραπάνω, καθίσταται σαφές ότι οι χώρες της Ευρώπης εφαρμόζουν διάφορες μεθόδους επεξεργασίας, ενώ επιλέγουν και διαφορετικούς τρόπους διάθεσης της ιλύος. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί, παρατηρείται ότι η υγειονομική ταφή έχει μια σημαντική μείωση από το 1992 έως και το 2005 από το 33% στο 15%, ενώ η συγκεκριμένη μέθοδος διάθεσης δεν φαίνεται να ξεπερνά το 9% το 2018. Αντίθετα, κατά το διάστημα 1992-2005 η ιλύς που αποτεφρώνεται, παρουσιάζει σημαντική αύξηση, σχεδόν διπλασιάζεται από το 11% σε 21%, ενώ δέκα χρόνια μετά, από το 2015 έως το 2018, παρουσιάζει μείωση του ποσοστού της έναντι άλλων πρακτικών διάθεσης, που περιλαμβάνουν μεθόδους, όπως είναι η κομποστοποίηση, η πυρόλυση και η αποθήκευση. Η πιο διαδεδομένη μέθοδος διάθεσης της ιλύος, στην Ευρώπη είναι για γεωργική χρήση, με το ποσοστό της να παρουσιάζεται ιδιαίτερα υψηλό, ακόμα και μετά το 2016 που παρουσιάζει μια σχετική μείωση, έναντι άλλων μεθόδων.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, προκύπτει ότι οι κύριοι τρόποι διάθεσης της παραγόμενης ιλύος στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι η γεωργική χρήση, η υγειονομική ταφή - διάθεση σε ΧΥΤΑ, η κομποστοποίηση και η αποτέφρωση, ενώ τα τελευταία χρόνια παρουσιάζουν αυξητικές τάσεις «άλλες» μέθοδοι, που πιθανά περιλαμβάνουν τη μέθοδο της πυρόλυσης, της προσωρινής αποθήκευσης κ.α., όπως αποτυπώνονται στα δεδομένα της Eurostat που παρουσιάζονται στον πίνακα 49, του Παραρτήματος 2. Ωστόσο, σημειώνεται ότι ακόμα και σύμφωνα με πιο πρόσφατα δεδομένα, παρατηρείται διαφορά στον τρόπο διαχείρισης των βιοστερεών ανάμεσα στις χώρες που έχουν ενταχθεί νωρίτερα στην Ευρωπαϊκή Ένωση (EE-15) σε σχέση με τα νεότερα κράτη – μέλη αυτής.

Ο κύριος τρόπος διάθεσης στην EE-15 είναι η επαναχρησιμοποίηση στις καλλιέργειες και ακολουθεί η κομποστοποίηση και η αποτέφρωση, ενώ για τις «νέες» χώρες δεν υπάρχει σαφής εικόνα, καθώς για μεγάλα ποσά παραγόμενης ιλύος δεν δηλώνεται συγκεκριμένος τρόπος διάθεσης, με τη διάθεση σε υγειονομικούς χώρους ταφής να συγκεντρώνει το μεγαλύτερο ποσοστό εφαρμογής. Τέλος, επισημαίνεται ότι παρά τις διαφορές που υπάρχουν στον τρόπο διαχείρισης των βιοστερεών μεταξύ των χωρών, όλες οι χώρες φαίνεται να έχουν συμμορφωθεί, πλέον, πλήρως με την οδηγία σχετικά με την απαγόρευση της διάθεσης της ιλύος στη θάλασσα, που ισχύει από το 1998 και δεν είχε εφαρμοστεί από όλες τις χώρες μέχρι και το 2005. Στο διάγραμμα 2 που ακολουθεί, αποτυπώνονται οι τρόποι διαχείρισης της παραγόμενης ιλύος σε ευρωπαϊκές χώρες για το έτος 2016, σύμφωνα με τα δεδομένα της Eurostat.



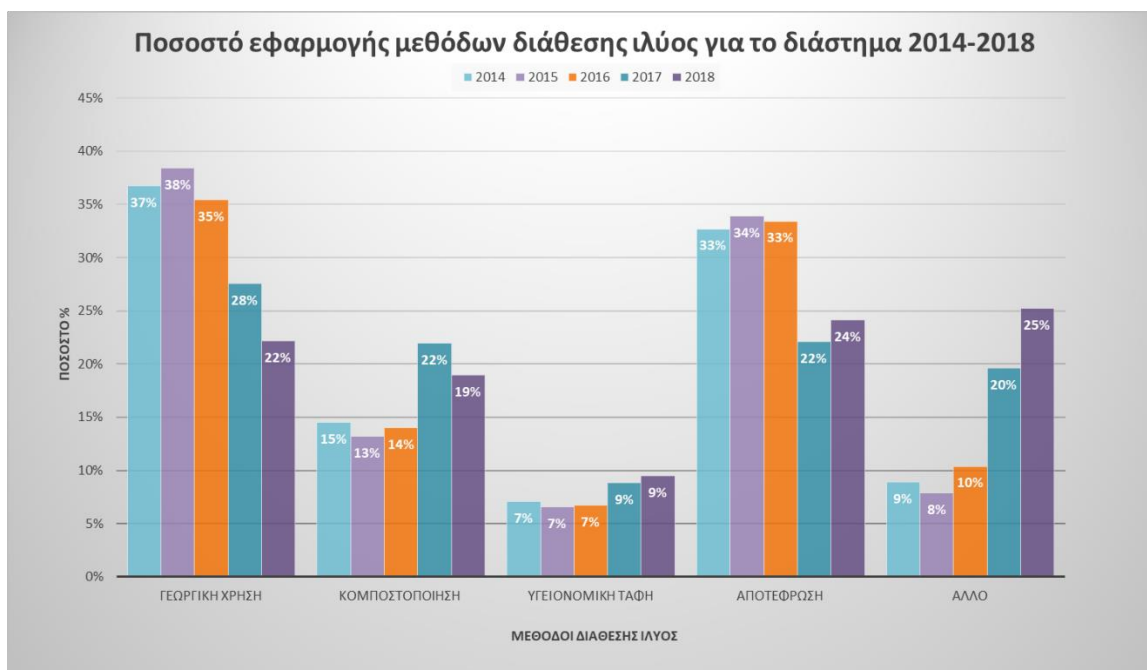
Διάγραμμα 2. Μέθοδοι διάθεσης της παραγόμενης υλός σε ευρωπαϊκές χώρες για το έτος 2016 [Πηγή δεδομένων: Eurostat].

Σύμφωνα με το διάγραμμα 2, παρατηρείται ότι οι περισσότερες χώρες έχουν μειώσει σημαντικά τη διάθεση της υλός σε Χώρους Υγειονομικής Ταφής, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του ισχύοντος ευρωπαϊκού νομοθετικού πλαισίου. Ωστόσο, εξαίρεση αποτελούν η Μάλτα, η Κροατία και η Ρουμανία, για τις οποίες η διάθεση της υλός σε ΧΥΤΑ αποτελεί την κύρια μέθοδο διαχείρισης της υλός. Αντιθέτως, η Ελλάδα δείχνει να έχει μειώσει σημαντικά το ποσοστό διάθεσης της υλός με την συγκεκριμένη μέθοδο, αναπτύσσοντας άλλες πρακτικές, που στοχεύουν στην αξιοποίηση της υλός μέσω της επαναχρησιμοποίησής της. Επιπρόσθετα, η διάθεση της υλός για γεωργική χρήση κατέχει το μεγαλύτερο ποσοστό έναντι των υπολοίπων μεθόδων διάθεσης για το σύνολο των χωρών με την Ισπανία, την Ιρλανδία και τη Σουηδία να αποτελούν πρωτοπόρες χώρες, με τις Γαλλία, Τσεχία και Βουλγαρία να ακολουθούν.

Ωστόσο, σημαντικά ποσοστά παρουσιάζει και η μέθοδος της κομποστοποίησης, με την Εσθονία να εφαρμόζει τη συγκεκριμένη μέθοδο σχεδόν κατά αποκλειστικότητα. Στην Ουγγαρία, τη Σλοβακία και τη Λιθουανία, η κομποστοποίηση υπερτερεί σημαντικά έναντι των άλλων μεθόδων. Η μέθοδος της αποτέφρωσης πέραν του Βελγίου, της Γερμανίας, της Αυστρίας, της Σλοβενίας και κυρίως της Ολλανδίας, δεν έχει μεγάλο εύρος εφαρμογής, σημειώνοντας αρκετά μικρότερο ποσοστό έναντι των άλλων μεθόδων. Τέλος, αναφέρεται ότι, σε χώρες όπως η Κύπρος, η Λετονία, το Λουξεμβούργο, η Πολωνία και η Πορτογαλία, ο κύριος τρόπος διαχείρισης της υλός δεν διευκρινίζεται σαφώς, καθώς οι χώρες έχουν δηλώσει «άλλο» τρόπο διάθεσης, ο οποίος δύναται να περιλαμβάνει την προσωρινή αποθήκευση, την πυρόλυση κ.α., καθιστώντας δύσκολη την εξαγωγή συμπερασμάτων, όσον

αφορά τη διαχείριση της λύος και κατά πόσο οι εφαρμοζόμενες μέθοδοι είναι περιβαλλοντικά ορθές ή όχι.

Στη συνέχεια, στο διάγραμμα 3 αποτυπώνονται τα ποσοστά των μεθόδων διαχείρισης της παραγόμενης λύος σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, για το χρονικό διάστημα 2014 – 2018, αποτυπώνοντας τη μεταξύ τους ποσόστωση. Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι δεν περιλαμβάνονται όλες οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης λόγω έλλειψης, για μεγάλο χρονικό διάστημα, διαθέσιμων δεδομένων.



Διάγραμμα 3. Μέθοδοι διάθεσης της παραγόμενης λύος σε ευρωπαϊκές χώρες για το διάστημα 2014-2018 [Πηγή: Eurostat].

Σύμφωνα με τα διαθέσιμα δεδομένα, που παρέχονται από την Eurostat σε ευρωπαϊκό επίπεδο, για το διάστημα 2014-2018, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Η διάθεση της λύος σε ΧΥΤΑ, τα τελευταία χρόνια, παρουσιάζει μικρό ποσοστό εφαρμογής, σε σχέση με τους υπόλοιπους τρόπους διάθεσής της, ενώ το ποσό της παραγόμενης λύος που διατίθεται με αυτό τον τρόπο, σε σχέση με τις προηγούμενες δεκαετίες, έχει μειωθεί σημαντικά.
- Η μέθοδος της αποτέφρωσης παρουσιάζει αυξητικές τάσεις, μέχρι και το έτος 2016, ενώ τα επόμενα χρόνια το ποσοστό της συγκεκριμένης μεθόδου παρουσιάζει σχετική μείωση. Ως πιθανή αιτία μείωσης του ποσοστού της συγκεκριμένης μεθόδου, θεωρείται ο καθορισμός ιδιαίτερα αυστηρών κανόνων, σχετικά με τα ποσά και την ποιότητα των εκπεμπόμενων αερίων που προκύπτουν κατά τη διαδικασία της καύσης της λύος.
- Η μέθοδος της κομποστοποίησης παρουσιάζει σταδιακά αυξημένα ποσοστά σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια, στα πλαίσια εναρμονισμού των ευρωπαϊκών χωρών με την κοινοτική νομοθεσία, που αφορά στην προώθηση της κυκλικής οικονομίας.

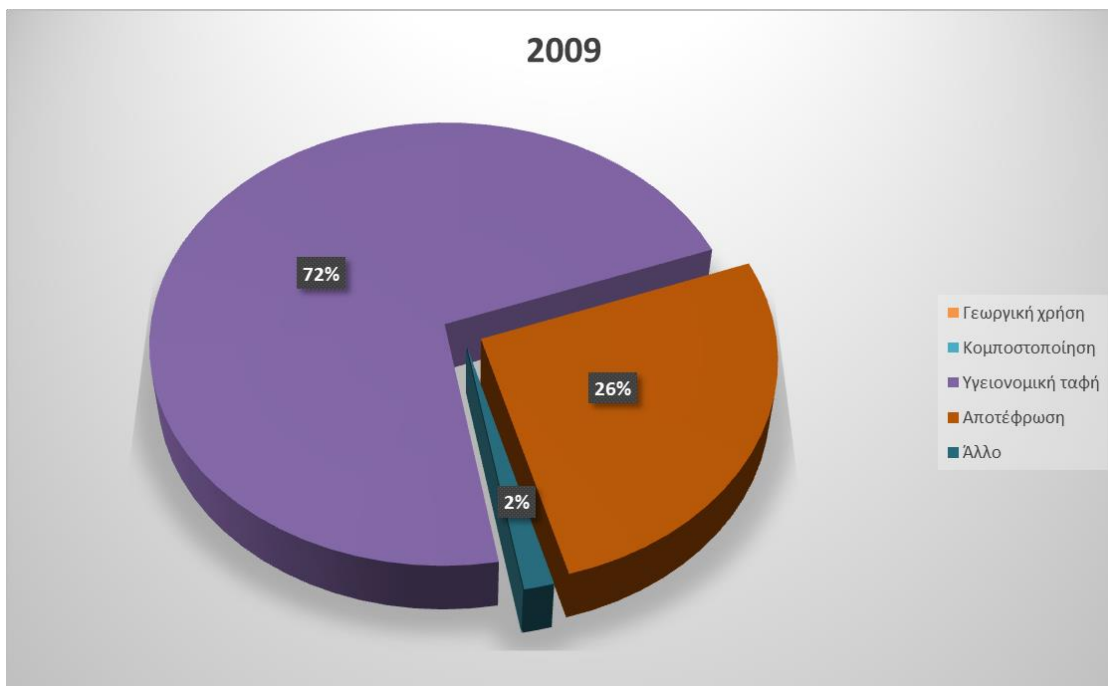
- Η διάθεση της ιλύος για γεωργική χρήση, συνεχίζει να αποτελεί τον πιο διαδεδομένο τρόπο διάθεσης στις ευρωπαϊκές χώρες, μέχρι και το 2015, όπου το ποσοστό της να φτάνει το 35%, ενώ στη συνέχεια, διαγράφει φθίνουσα πορεία, έναντι των μεθόδων της κομποστοποίησης και της αποτέφρωσης.
- Τέλος, ένα μεγάλο ποσοστό της συνολικής ιλύος διαχειρίζεται με «άλλο τρόπο», ο οποίος δεν διευκρινίζεται σαφώς. Σε αυτή την κατηγορία δύναται να περιλαμβάνεται η πυρόλυση, η προσωρινή αποθήκευση κ.α.. Ιδιαίτερα το έτος 2018 το ποσοστό της συγκεκριμένης κατηγορίας παρουσιάζεται ιδιαίτερα αυξημένο αγγίζοντας το 25%.

Με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα, τις αναφορές, καθώς και το νομοθετικό πλαίσιο που έχει θεσπιστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση, τα επόμενα χρόνια αναμένεται να κυριαρχήσουν, ως μέθοδοι διάθεσης της ιλύος, η αποτέφρωση και η ανακύκλωση (κομποστοποίηση κ.α.), μέσω της εφαρμογής νέων τεχνολογιών για την περαιτέρω ανάπτυξη «φιλικών περιβαλλοντικά» πρακτικών, που θα εξασφαλίζουν την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών οχλήσεων και τη διασφάλιση της δημόσιας υγείας, αλλά και τη μείωση του κόστους της διαδικασίας διαχείρισης της ιλύος.

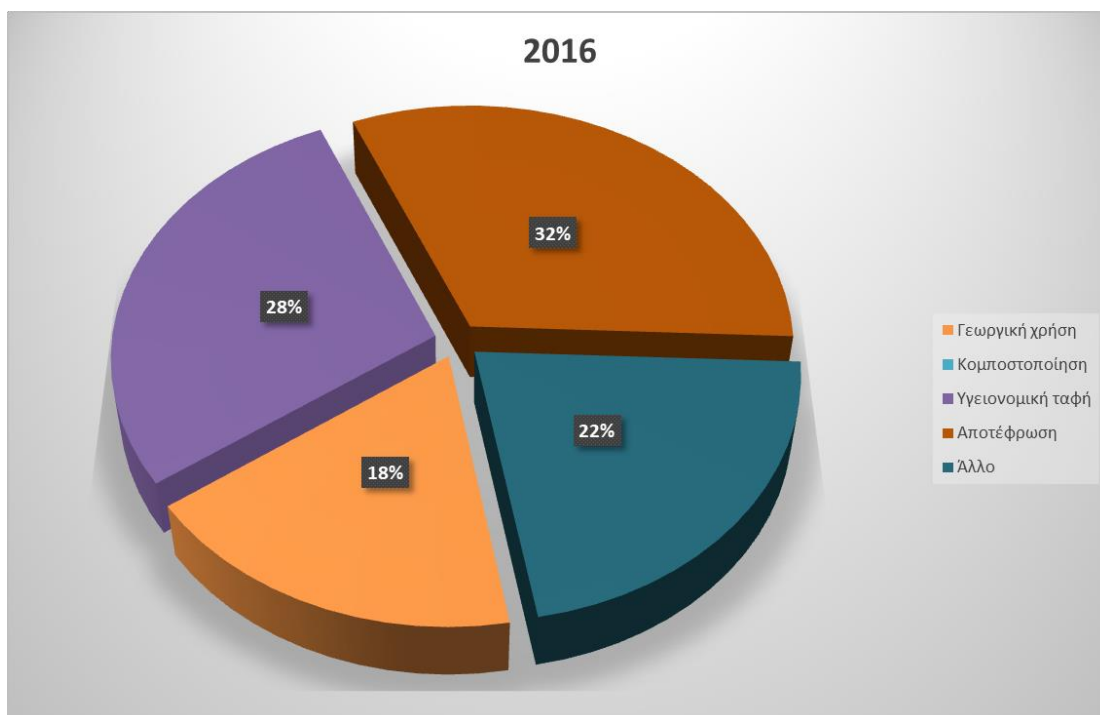
4.2 Μέθοδοι διάθεσης παραγόμενης ιλύος στην Ελλάδα

Εστιάζοντας σε εθνικό επίπεδο, τα τελευταία χρόνια, παρατηρείται σταδιακή αύξηση της παραγόμενης ιλύος, γεγονός που οφείλεται στην κατασκευή όλο και περισσότερων μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, σε μια προσπάθεια περιορισμού της υδατικής ρύπανσης και εφαρμογής της Οδηγίας 91/271/ΕΚ. Ως απόρροια της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων, παράγονται σημαντικές ποσότητες ιλύος, που για το έτος 2002 εκτιμώνται σε 76.000 t DS, ενώ το 2016 η συνολική παραχθείσα ιλύς άγγιξε τους 120.000 t DS περίπου, σύμφωνα με στοιχεία της Eurostat. Τα κυριότερα συστήματα επεξεργασίας των λυμάτων, σύμφωνα με τον εξυπηρετούμενο πληθυσμό, είναι συμβατικές μονάδες ενεργού ιλύος και συστήματα παρατεταμένου αερισμού, με την ιλύ που παράγεται να είναι σταθεροποιημένη και αφυδατωμένη στο 90% των εγκαταστάσεων.

Σε εθνικό επίπεδο, η πιο συνηθισμένη μέθοδος επεξεργασίας ιλύος είναι η αερόβια σταθεροποίηση, κυρίως μέσω των συστημάτων παρατεταμένου αερισμού, ενώ σε μεγάλες εγκαταστάσεις εφαρμόζεται, κυρίως, αναερόβια σταθεροποίηση, με παραγωγή ενέργειας, μέσω της αξιοποίησης του προκύπτοντος βιοαερίου. Επιπρόσθετα, σημειώνεται ότι, τα τελευταία χρόνια, παρατηρείται αύξηση των μηχανικών μέσων αφυδάτωσης (με τις ταινιοφιλτρόπρες και τους φυγοκεντρητές να αποτελούν τις κύριες μεθόδους), τα οποία τείνουν να αντικαταστήσουν τις υπάρχουσες, στις μικρές κυρίως εγκαταστάσεις, κλίνες ξήρανσης οι οποίες, λόγω των απαιτήσεων μεγάλων εκτάσεων γης και των δυσάρεστων οσμών, παρουσιάζουν περιορισμούς στην εφαρμογή τους. Στα διαγράμματα 4 και 5 που ακολουθούν, παρουσιάζονται οι μέθοδοι διάθεσης ιλύος που εφαρμόστηκαν στην Ελλάδα τα έτη 2009 και 2016, αντίστοιχα.



Διάγραμμα 4. Διάθεση υλός στην Ελλάδα για το έτος 2009. [Πηγή: Eurostat]



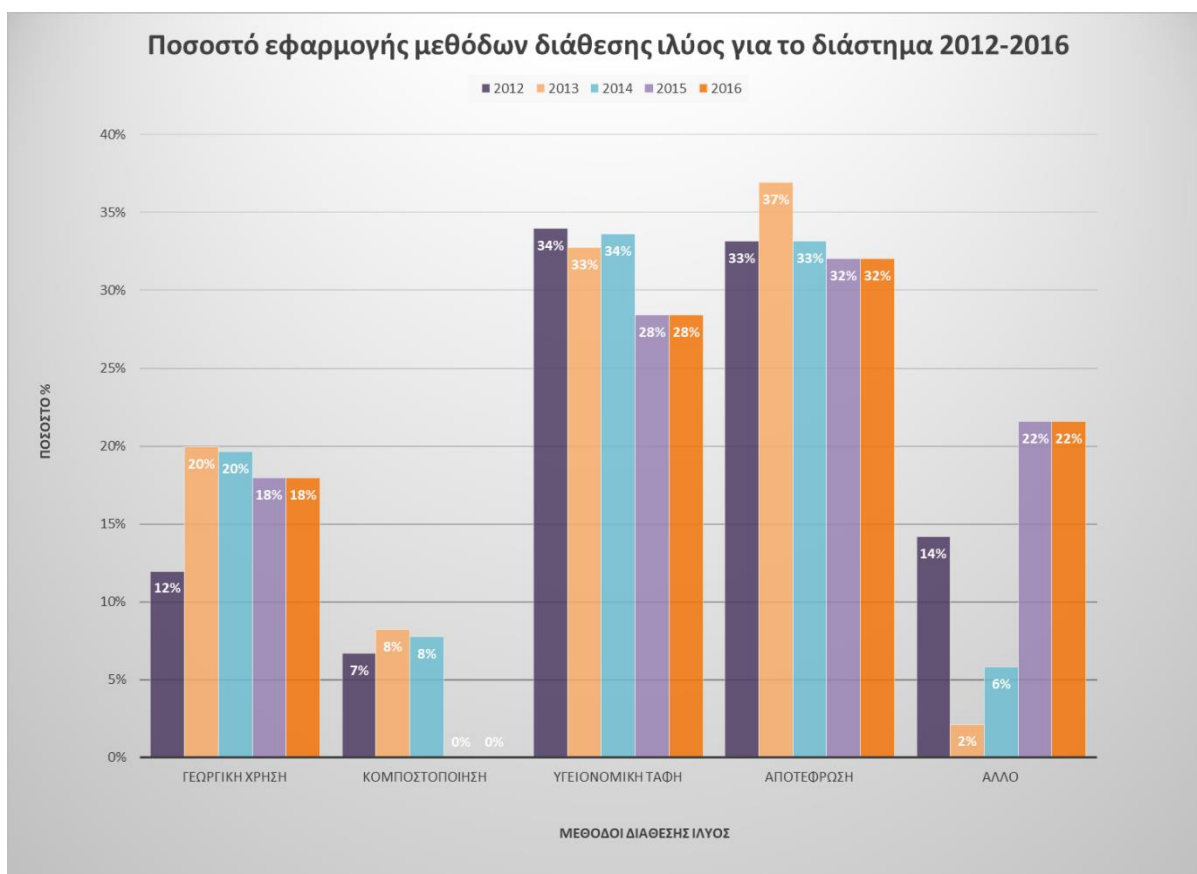
Διάγραμμα 5. Διάθεση υλός στην Ελλάδα για το έτος 2016. [Πηγή: Eurostat]

Στην Ελλάδα, μέχρι πρόσφατα, ο κύριος τρόπος τελικής διάθεσης της υλός ήταν σε χωματερές, με το ποσοστό της μεθόδου να ξεπερνάει το 70% το 2009, υπερβαίνοντας κατά πολύ τον αντίστοιχο ευρωπαϊκό μέσο όρο. Παρότι η συγκεκριμένη μέθοδος, λόγω του σχετικά χαμηλού κόστους, εθεωρείτο μια ελκυστική λύση, τελικά, αποδείχθηκε μια πολύπλοκη και δύσκολη διαδικασία λόγω των αντιδράσεων των τοπικών κοινωνιών, καθώς και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις που η υλός δεν παρουσιάζει

συγκεκριμένα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά. Ωστόσο, στο πλαίσιο εναρμόνισης της χώρας με την Οδηγία 1999/31/Ε.Ε. “περί υγειονομικής ταφής απορριμμάτων” και της διασφάλισης της περιβαλλοντικής προστασίας, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται σημαντική μείωση στην ποσότητα της λύος που διατίθεται σε χώρους υγειονομικής ταφής, με το ποσοστό της μεθόδου να φτάνει μόλις το 22% το 2016, με ταυτόχρονη αύξηση του ποσοστού εναλλακτικών μεθόδων επαναχρησιμοποίησης ή/και διάθεσης της λύος, όπως αποτυπώνεται με σαφήνεια στα διαγράμματα 4 και 5.

Σύμφωνα με τα τελευταία διαθέσιμα δεδομένα για το 2016, αναφορικά με τους τρόπους διάθεσης λύος στην Ελλάδα, η συνολική ποσότητα λύος, εκτιμάται σε 119.777 τόνους, με την μεγαλύτερη ποσότητα αυτής (32%) να διατίθεται για αποτέφρωση και ακολουθεί η μέθοδος της υγειονομικής ταφής, με το ποσοστό της να αγγίζει το 28% και η εφαρμογή «άλλων» μεθόδων με ποσοστό 22%, ενώ μικρή εφαρμογή έχει η διάθεση της λύος για γεωργική χρήση, με το ποσοστό της μεθόδου να φτάνει μόλις το 18%.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι τρόποι διάθεσης της παραγόμενης λύος, σε εθνικό επίπεδο, για το χρονικό διάστημα 2012-2016, σύμφωνα με τα δεδομένα του πίνακα 20 του Παραρτήματος 2.



Διάγραμμα 6. Διάθεση της παραγόμενης λύος στην Ελλάδα για το διάστημα 2012-2016. [Πηγή: Eurostat]

Γενικά, η διάθεση της λύος για γεωργική χρήση δεν είχε μεγάλη εφαρμογή στην Ελλάδα, σε αντίθεση με άλλες ευρωπαϊκές χώρες, όπου αποτελεί ίσως τον πιο διαδεδομένο τρόπο διάθεσης, με αρκετά υψηλό ποσοστό εφαρμογής, γεγονός που οφείλεται, κυρίως, στην

επιφυλακτικότητα των αγροτών της χώρας σε σχέση με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά και την απόδοση του τελικού προϊόντος. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τα διαθέσιμα δεδομένα που παρέχονται από την Eurostat για το διάστημα 2012-2016, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Η διάθεση της ιλύος σε ΧΥΤΑ, τα τελευταία χρόνια παρουσιάζει πτωτική πορεία έναντι άλλων μεθόδων, όπως η γεωργική χρήση και η αποτέφρωση, σε συμμόρφωση της χώρας προς την κοινοτική οδηγία 1999/31/Ε.Ε..
- Η μέθοδος της αποτέφρωσης παρουσιάζει αντιστρόφως ανάλογη πορεία σε σχέση με την υγειονομική ταφή, διαγράφοντας ραγδαία αύξηση σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια, με το ποσοστό της να ξεπερνάει το 35% το 2013 και κατά τα έτη 2015-2016 να φτάνει το 32%.
- Η μέθοδος της κομποστοποίησης φαίνεται να έχει περιορισμένη εφαρμογή στην Ελλάδα, καθώς εμφανίζεται μόνο κατά την περίοδο 2012-2014, ενώ για τα επόμενα χρόνια δεν υπάρχουν καταγεγραμμένα στοιχεία, με το ποσοστό της μεθόδου να αγγίζει μόλις το 8%.
- Η διάθεση της ιλύος για γεωργική χρήση, παρουσιάζει αυξητικές τάσεις, διατηρείται, ωστόσο, σε χαμηλά επίπεδα, φτάνοντας μόλις το 18% το 2016, όπως επισημαίνεται και στην έκθεση της αρμόδιας ευρωπαϊκής Επιτροπής για την εφαρμογή της Οδηγίας 86/278. Σύμφωνα με την εν λόγω έκθεση, η Ελλάδα είναι ανάμεσα στις χώρες που διοχετεύουν ελάχιστη ή μηδενική ποσότητα ιλύος καθαρισμού στα γεωργικά τους εδάφη.
- Τέλος, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μεγάλη διακύμανση του ποσού της ιλύος που διατίθεται με «άλλο τρόπο», με το ποσοστό της μεθόδου να φτάνει μέχρι και το 22% το έτος 2014, τα έτη 2013 και 2014 να μειώνεται στο 2% και 6% αντίστοιχα, ενώ τα έτη 2015 και 2016 ανέρχεται σε 22%.

Με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα, τις αναφορές, καθώς και το εθνικό και ευρωπαϊκό νομοθετικό πλαίσιο που έχει θεσπιστεί, τα επόμενα χρόνια στην Ελλάδα αναμένεται να αναπτυχθούν ιδιαίτερα οι μέθοδοι επαναχρησιμοποίησης και περιβαλλοντικά ορθής διάθεσης της ιλύος και πιο συγκεκριμένα, αναμένεται να αυξηθεί το ποσό της ιλύος που διατίθεται για την παραγωγή βιοαερίου και την αξιοποίηση αυτού ως καύσιμου στη βιομηχανία και στους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας, αλλά και η διάθεση της ιλύος για γεωργική χρήση και για αποκατάσταση εδαφών, αφού πρώτα έχει υποστεί την κατάλληλη επεξεργασία, ώστε να πληροί τις απαιτούμενες προδιαγραφές. Στο πλαίσιο κατανόησης της υφιστάμενης κατάστασης σχετικά με τη διαχείριση της παραγόμενης ιλύος στην Ελλάδα, αλλά και των διακυμάνσεων στους τρόπους διάθεσης της ιλύος, όπως αυτές αποτυπώθηκαν ανωτέρω, κρίνεται σκόπιμη η αναφορά στις δυο μεγαλύτερες εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων της χώρας που είναι το ΚΕΛ Ψυττάλειας, στην Αττική και η ΕΕΛ Σίνδου, στη Θεσσαλονίκη. Όπως είναι φυσικό, οι εξελίξεις στον τρόπο επεξεργασίας, αλλά και στον τρόπο διάθεσης της ιλύος στις συγκεκριμένες μονάδες,

επηρεάζουν σημαντικά τη συνολική εικόνα της χώρας, τόσο ως προς την παραγωγή ιλύος, όσο και ως προς τους τρόπους διάθεσής της.

Στοχεύοντας στην εξασφάλιση και στην εφαρμογή της περιβαλλοντικά ορθής παραλαβής, μεταφοράς και αξιοποίησης της ιλύος του ΚΕΛ Ψυττάλειας, σύμφωνα με τα οριζόμενα στην ισχύουσα νομοθεσία, κατασκευάστηκε μονάδα επεξεργασίας της παραγόμενης πρωτοβάθμιας ιλύος και της βιολογικής ιλύος, η οποία περιλαμβάνει την πάχυνση και στη συνέχεια, τη χώνευση (αναερόβια, μεσοφιλική, υψηλού ρυθμού), την αφυδάτωση και τελικά τη θερμική ξήρανση της ιλύος. Το παραγόμενο προϊόν της μονάδας ξήρανσης, αποτελεί ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και αξιοποιείται ως καύσιμο σε εργοστάσια παραγωγής τσιμέντου ή θερμοηλεκτρικά εργοστάσια. Το βιοαέριο που παράγεται κατά τη διεργασία της αναερόβιας χώνευσης της μεικτής ιλύος, αποτελώντας, επίσης, ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, χρησιμοποιείται ως καύσιμο σε δύο μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας (ΣΗΘΕ), καλύπτοντας μεγάλο μέρος των θερμικών αναγκών του ΚΕΛΨ (για την χώνευση και την ξήρανση της ιλύος) και των ηλεκτρικών αναγκών των εγκαταστάσεων του ΚΕΛΨ, ενώ η πλεονάζουσα ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας πωλείται στον ΔΕΣΜΗΕ (Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας). Τέλος, σημειώνεται ότι, το τελικό προϊόν δύναται να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό, καθώς είναι υγειονομοποιημένο, ικανοποιώντας τις απαιτήσεις της Οδηγίας 86/278/ΕΕ, αναφορικά με την περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα, για εφαρμογή στο έδαφος και περιέχει τα απαραίτητα συστατικά, όπως άζωτο, φώσφορο, κάλιο και οργανικά.

Όσον αφορά τη διαχείριση της ιλύος στην ΕΕΛ Θεσσαλονίκης, τα στάδια επεξεργασίας της ιλύος συνίστανται σε πάχυνση, αναερόβια χώνευση, αφυδάτωση και ασβεστοποίηση. Με τη λειτουργία της μονάδας ξήρανσης, μέσω της οποίας επιτυγχάνεται δραστική μείωση του όγκου και του βάρους, καθώς και βελτίωση των χαρακτηριστικών του τελικού προϊόντος, καθίσταται εφικτή η οικονομικότερη και ασφαλέστερη διαχείριση της ιλύος, δίνοντας παράλληλα, τη δυνατότητα εναλλακτικών τρόπων εφαρμογής του τελικού προϊόντος, ως καύσιμο σε τσιμεντοβιομηχανίες, σε θερμοηλεκτρικά εργοστάσια, σε βιομηχανίες οικοδομικών υλικών, σε εγκαταστάσεις κομποστοποίησης, για αποκαταστάσεις εδαφών, ως εδαφοβελτιωτικό σε καλλιέργειες μη βρώσιμων προϊόντων, ως πρόσμικτο λιπασμάτων για εφαρμογή σε καλλιέργειες κ.λπ.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, γίνεται κατανοητό ότι, τόσο στην Ελλάδα όσο και σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες, γίνεται μια προσπάθεια ανάπτυξης νέων εφαρμογών διαχείρισης της ιλύος, με τη μείωση της διατιθέμενης ιλύος σε χώρους υγειονομικής ταφής και την ορθή περιβαλλοντικά επεξεργασία της, με σκοπό τη μετατροπή της σε αξιοποιήσιμη πρώτη ύλη και τον εναρμονισμό των χωρών με την κείμενη νομοθεσία. Οι κύριες μέθοδοι που αναμένεται να αναπτυχθούν ιδιαίτερα, τόσο στην Ελλάδα όσο και σε άλλες χώρες της Ευρώπης, είναι η αποτέφρωση και η ανακύκλωση (κομποστοποίηση κ.ά.).

5. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΙΛΥΟΣ

Στο κεφάλαιο αυτό, πραγματοποιείται καταγραφή των εναλλακτικών μεθόδων διαχείρισης της ιλύος, η οποία παράγεται από τις ΜΚΑ. Όπως είναι φυσικό η κάθε Μονάδα έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά ανάλογα με τη δυναμικότητά της καθώς και το είδος των αποβλήτων που επεξεργάζεται, γεγονός που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον σχεδιασμό διαχείρισης της παραγόμενης ιλύος.

Στο σημείο αυτό, κρίνεται σκόπιμο να σημειωθεί ότι, στο πλαίσιο της παρούσας γίνεται διαχωρισμός των Μονάδων, σε αυτές που χωροθετούνται στην ηπειρωτική και σε αυτές που χωροθετούνται στη νησιωτική χώρα, καθώς η παραγόμενη ιλύς από μονάδες που χωροθετούνται σε νησιωτικές περιοχές δεν δύναται να μεταφερθεί στην ηπειρωτική Ελλάδα και δεν αποτελεί μια βιώσιμη λύση, λόγω του υψηλού κόστους που έχει η μεταφορά της με πλωτά μέσα. Η διερεύνηση της βέλτιστης μεθόδου διαχείρισης ιλύος, αναφορικά με την κατασκευή μιας μονάδας διαχείρισής της, η οποία θα εξυπηρετεί τις Μονάδες Καθαρισμού υγρών Αποβλήτων που βρίσκονται στην ηπειρωτική χώρα, καθώς και αναφορικά με την κατασκευή μονάδας διαχείρισής της σε νησιωτικές περιοχές, θα πραγματοποιηθεί εφαρμόζοντας τη μέθοδο της πολυκριτηριακής ανάλυσης. Ακολούθως παρουσιάζονται αναλυτικά τα μελετώμενα σενάρια για την εκάστοτε μονάδα.

4.1. Μονάδα διαχείρισης ιλύος για ηπειρωτικές περιοχές

Στην παρούσα ενότητα, παρουσιάζονται τα εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης της ιλύος από τις ΜΚΑ των ηπειρωτικών περιοχών, με στόχο την κατασκευή μιας μονάδας διαχείρισης ιλύος. Ειδικότερα, τα εναλλακτικά σενάρια που παρουσιάζονται είναι τα ακόλουθα:

- Σενάριο 1: Αναερόβια συγχώνευση-κομποστοποίηση,
- Σενάριο 2: Θερμική ξήρανση,
- Σενάριο 3: Ηλιακή ξήρανση και
- Σενάριο 4: Ξήρανση – πυρόλυση.

Οι ανωτέρω μέθοδοι επεξεργασίας της ιλύος επιλέχθηκαν, έναντι των υπολοίπων μεθόδων που παρουσιάζονται στη διεθνή βιβλιογραφία, καθώς ικανοποιούν απαραίτητες προϋποθέσεις εφαρμογής τους, όπως είναι η ευκολία εφαρμογής, η ύπαρξη ανάλογης εμπειρίας πιλοτικών και, κυρίως, πλήρους κλίμακας εφαρμογών στην Ευρώπη και στον Ελλαδικό χώρο και η συμβατότητα που παρουσιάζουν με το ισχύον νομοθετικό εθνικό και Ευρωπαϊκό πλαίσιο αναφορικά με την ορθολογική διαχείριση της ιλύος. Η αναερόβια χώνευση/συγχώνευση, η κομποστοποίηση, η θερμική και ηλιακή ξήρανση έχουν εφαρμοστεί σε πολυάριθμες περιπτώσεις και έχει εμπειριστατωμένα αποδειχθεί ότι αποτελούν εν δυνάμει μεθόδους διαχείρισης της ιλύος. Ωστόσο, η μέθοδος της πυρόλυσης της ιλύος, παρόλο που δεν έχει εφαρμοστεί εκτεταμένα, μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή στερεού προϊόντος, το οποίο περιορίζει σημαντικά τη διαρροή των βαρέων μετάλλων, που περιέχονται σε αυτό, στο εδαφικό υπόστρωμα και στα υπόγεια ύδατα. Λαμβάνοντας υπόψη την παραπάνω ιδιαιτερότητα, κρίθηκε ότι η μέθοδος της πυρόλυσης θα πρέπει να εξετασθεί ως μέθοδος διαχείρισης της ιλύος στο πλαίσιο διαμόρφωσης των εναλλακτικών σεναρίων.

5.1.1 Παρουσίαση εναλλακτικών σεναρίων

Ο καθορισμός των σεναρίων πραγματοποιήθηκε με κύριο γνώμονα την εναρμόνιση με την Οδηγία (ΕΕ) 2018/850 που θεσπίζει την ελαχιστοποίηση των αποβλήτων που καταλήγουν σε ΧΥΤΑ σε ποσοστό 10 % έως το 2035, με αποτέλεσμα η προσέγγιση που ακολουθείται για τη διαχείριση της ιλύος να βασίζεται, κυρίως, στην εφαρμογή μεθόδων κυκλικής οικονομίας και στην προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Στο πλαίσιο αυτό, υιοθετείται ένα ολιστικό σχέδιο επεξεργασίας, διαχείρισης και αξιοποίησης των παραγόμενων ποσοτήτων ιλύος των ΜΚΑ. Η προς επεξεργασία ιλύς, θα συλλέγεται, αφού πρώτα παχυνθεί και αφυδατωθεί, εντός των ΜΚΑ, ώστε να μειωθεί σημαντικά ο όγκος της (επιθυμητή είναι η συγκέντρωση των στερεών 20%) και να μπορεί να μεταφερθεί με μεγαλύτερη ευκολία στην κεντρική μονάδα διαχείρισής της. Η εκλογή και αξιολόγηση των σεναρίων, συμβαδίζει με την κείμενη νομοθεσία, περί διαχείρισης και αξιοποίησης της ιλύος, δίνοντας ιδιαίτερη βαρύτητα στη σταθεροποίηση και υγειονομοποίηση της. Τέλος, σε όλα τα προτεινόμενα εναλλακτικά σενάρια, υπάρχει μέριμνα ως προς τη διαχείριση υφιστάμενων ποσοτήτων ιλύος, που είναι αποθηκευμένες ή θα αποθηκευτούν στο διάστημα μέχρι την κατασκευή του έργου. Αυτό, θα επιτευχθεί με τη σταδιακή τροφοδοσία των αποθηκευμένων ποσοτήτων, αναμεμιγμένες με τις ποσότητες που θα παράγονται την εκάστοτε χρονική στιγμή.

5.1.1.1 Σενάριο 1: Αναερόβια συγχώνευση – κομποστοποίηση

Στόχος σεναρίου: Παραγωγή βιοαερίου, χρήση του υγειονοποιημένου προϊόντος ως compost για εφαρμογές στη γεωργία.

Συνοπτικά, στο σενάριο αυτό, προτείνεται η ανάμιξη της αφυδατωμένης από τις ΜΚΑ ιλύος με διάφορα βιομηχανικά απόβλητα, κτηνοτροφικής και αγροτοβιομηχανικής προελεύσεως τροφοδοτώντας τον χωνευτή σε κατάλληλη συγκέντρωση, με στόχο την παραγωγή βιοαερίου για τη μετέπειτα παραγωγή ενέργειας 1 MW. Έπειτα, το χωνεμένο προϊόν μεταφέρεται σε κομποστοποιητή, για την παραγωγή compost, το οποίο δύναται να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό σε γεωργικές εκτάσεις. Το προτεινόμενο σενάριο παρουσιάζεται, συνοπτικά, στον πίνακα που ακολουθεί, ενώ στη συνέχεια περιγράφεται αναλυτικά η μέθοδος της αναερόβιας συγχώνευσης – κομποστοποίησης, που προτείνεται στο σενάριο αυτό.

Πίνακας 3. Συνοπτική παρουσίαση πρώτου σεναρίου.

Σενάριο 1: Αναερόβια συγχώνευση – κομποστοποίηση

5.250.000€

ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΟ ΚΟΣΤΟΣ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

320.000€

ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΟ ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

~10 στρέμματα

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ

Στόχος Σεναρίου: Παραγωγή βιοαερίου, χρήση του υγειονοποποιημένου προϊόντος ως compost για εφαρμογές στη γεωργία.

Παραγόμενο προϊόν:

- Βιοαέριο κατάλληλο για παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας
- Compost κατάλληλο για γεωργική χρήση

Πλεονεκτήματα :

- Δυνατότητα επεξεργασίας διαφορετικών αποβλήτων.
- Σημαντικός περιορισμός αέριων εκπομπών μέσω παραγωγής ενέργειας (ηλεκτρική & θερμική).
- Δυνατότητα αυτοϊκανοποίησης των ενεργειακών απαιτήσεων και πώλησης του βιοαερίου σε φορείς παραγωγής και διαχείρισης ενέργειας.

Μειονεκτήματα:

- Υψηλό κόστος κατασκευής
- Ευαισθησία σε περιβαλλοντικούς παράγοντες, αποτελώντας δυνητικό πρόβλημα για τις βιοχημικές διεργασίες.
- Απαιτήση εφεδρικού συστήματος θέρμανσης αναερόβιου χωνευτή.
- Εξασφάλιση απαιτούμενων ποσοτήτων πρώτων υλών.

Αναλυτικότερα, σε πρωταρχικό στάδιο, προτείνεται η ανάμειξη και ομογενοποίηση της υλός με βιομηχανικά απόβλητα. Στόχος είναι η διαμόρφωση ενός ομογενούς μείγματος κατάλληλης συγκέντρωσης και σύστασης, ώστε να τροφοδοτηθεί σε αναερόβιο χωνευτή υψηλής φόρτισης. Η επιθυμητή συγκέντρωση υπολογίζεται, σύμφωνα με τα βιβλιογραφικά όρια συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η εύρυθμη λειτουργία του χωνευτή. Επίσης, η συγκέντρωση στερεών στο μείγμα με το οποίο προβλέπεται να τροφοδοτείται ο αναερόβιος χωνευτής, δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 15%, ώστε να είναι δυνατή η μεταφορά του μείγματος στον αναερόβιο χωνευτή, μέσω τυπικού αντλητικού συστήματος, ενώ διατηρώντας το μείγμα σε υγρή μορφή γίνεται καλύτερη ανάδευση του μείγματος εντός του αναερόβιου χωνευτή. Η συγκέντρωση του μείγματος πρέπει να είναι 8 έως 15 % σε στερεά.

Στη συνέχεια, το μείγμα ιλύος και βιομηχανικών αποβλήτων τροφοδοτείται στον αναερόβιο χωνευτή. Ο αναερόβιος χωνευτής, που προτείνεται να χρησιμοποιηθεί στην περίπτωση αυτή, είναι υψηλής φόρτισης πλήρους ανάμιξης, στον οποίο οι βιοχημικές πραγματοποιούνται σε σταθερή θερμοκρασία στους 35 °C. Ο χρόνος παραμονής (υγρής και στερεής φάσης) είναι κοινός και κυμαίνεται μεταξύ 15 και 30 ημερών, με βέλτιστο χρόνο παραμονής, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, τις 20 ημέρες.

Η ανάδευση του μείγματος, εντός του αναερόβιου χωνευτή, γίνεται με μηχανικά μέσα, ώστε να μη δημιουργούνται νεκρές ζώνες. Από τον αναερόβιο χωνευτή αναμένεται να γίνει διάσπαση έως και 50% των οργανικών στερεών του μείγματος (VS). Επομένως, η συγκέντρωση των ολικών, στην έξοδο του χωνευτή, είναι μειωμένη. Το βιοαέριο που παράγεται από τη διάσπαση των οργανικών στερεών, σύμφωνα με παρατηρήσεις που έχουν διατυπωθεί στη διεθνή βιβλιογραφία, είναι 0,2-1 m³ βιοαέριο /kg VS (οργανικών στερεών που διασπώνται). Το παραχθέν βιοαέριο προτείνεται να αξιοποιηθεί, μέσω μονάδας συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, ώστε να επιτευχθεί η θέρμανση του βιοαντιδραστήρα και επακόλουθα, του μείγματος. Η περίσσεια ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας δύναται, επίσης, να πωληθεί σε φορείς παραγωγής και διαχείρισης ενέργειας. Τέλος, το χωνεμένο προϊόν μπορεί να αξιοποιηθεί περαιτέρω.

Στη συνέχεια, προτείνεται η υγειονομοποίηση του χωνεμένου προϊόντος, το οποίο δύναται να λιπασματοποιηθεί - κομποστοποιηθεί (Composting). Με αυτή τη μέθοδο, τα οργανικά συστατικά αποδομούνται, υπό αερόβιες συνθήκες, με τη βοήθεια βακτηρίων, μυκήτων, σε ένα σταθερό προϊόν. Η διαδικασία της κομποστοποίησης δύναται να επιτευχθεί σε 5 φάσεις. Στην πρώτη φάση, τα βακτήρια διασπούν τα απλά συστατικά, όπως είναι τα διαλυτά σάκχαρα και τα οργανικά οξέα. Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα είναι εξώθερμες, με αποτέλεσμα την έκλυση θερμότητας και την αύξηση της θερμοκρασίας. Στη δεύτερη φάση, γίνεται περαιτέρω διάσπαση απλών μορίων από μεσόφιλους οργανισμούς και αυξάνεται η θερμοκρασία στη μεσόφιλη περιοχή (35-45°C). Στην τρίτη φάση, η θερμοκρασία φτάνει σε υψηλότερα επίπεδα, (50-60°C), όπου οι περισσότεροι παθογόνοι μικροοργανισμοί καταστρέφονται και η σταθεροποίηση της οργανικής ύλης είναι πιο αποδοτική (θερμόφιλη φάση). Στην τέταρτη φάση, επικρατούν εκ νέου μεσόφιλες συνθήκες, που ευνοούν την εμφάνιση μυκήτων και ακτινομυκήτων, οι οποίοι προσβάλλουν τα πλέον δύσκολα αποδομώμενα οργανικά μόρια, όπως είναι αυτά της λιγνίνης και της κυτταρίνης. Τέλος, στην πέμπτη φάση, που αποτελεί το στάδιο της ωρίμανσης, πραγματοποιούνται διεργασίες μικροβιακής φύσεως μικρής κλίμακας και χωρίς εμφανή φυσικά αποτελέσματα, όπως αύξηση της θερμοκρασίας. Η αποδόμηση των οργανικών μορίων ολοκληρώνεται με την παραγωγή ενός πλούσιου σε οργανικά θερμικού υλικού χωρίς τοξική δράση. Για την πραγματοποίηση της κομποστοποίησης, απαιτείται ανάδευση του μείγματος, περίπου μία φορά ανά εβδομάδα, με χρήση μηχανοκίνητου εξοπλισμού. Επίσης, σε περιοχές με υψηλή βροχόπτωση απαιτείται η κατασκευή στεγάστρου.

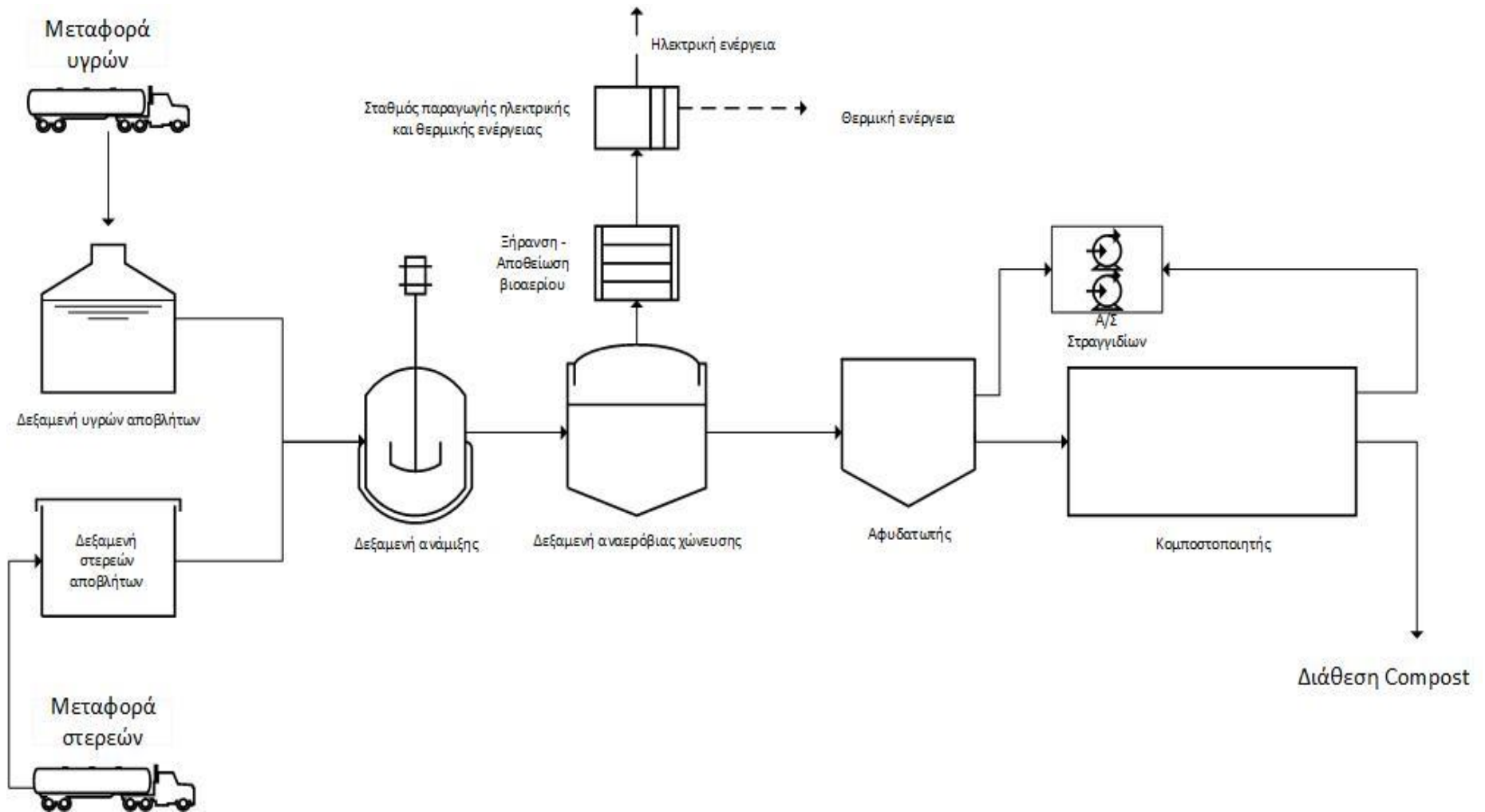
Επισημαίνεται, ότι η λιπασματοποίηση του χωνεμένου προϊόντος, συνήθως, προϋποθέτει την προσθήκη κάποιου πρόσθετου υλικού (bulking agent), με στόχο τη μείωση της υγρασίας,

την αύξηση του πορώδους, τη βελτίωση του λόγου άνθρακα προς άζωτο (C/N) και την αύξηση της σταθερότητας του μείγματος. Σύμφωνα με εφαρμογές, που έχουν παρουσιαστεί στη διεθνή βιβλιογραφία, ως πρόσθετο υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθούν πριονίδι, τρίμματα ξύλου, άχυρο ή κλαδιά δένδρων. Η ποσότητα πρόσθετου υλικού υπολογίζεται, ώστε το μείγμα να έχει 50-60% τελική περιεκτικότητα υγρασίας. Η εφαρμογή της μεθόδου αυτής πραγματοποιείται σε ανοικτές εγκαταστάσεις με τη μέθοδο των σειραδίων. Τα στάδια που θα ακολουθηθούν θα είναι: 1) ανάμιξη του υπό επεξεργασία προϊόντος με πρόσθετο υλικό, 2) κατασκευή των σωρών στους οποίους γίνεται η λιπασματοποίηση, 3) εσχάρωση του τελικού προϊόντος για το διαχωρισμό του πρόσθετου υλικού, ωρίμανση διάρκειας 2 μηνών και 4) τελική αποθήκευση.

Για την παραγωγή ενέργειας 1 MW_{el} , απαιτούνται κατά προσέγγιση 60.000 t υγρών και στερεών αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένου της ιλύος, σε ετήσια βάση. Ο επακριβής προσδιορισμός της απαιτούμενης ποσότητας, απαιτεί τόσο τον καθορισμό της συγκέντρωσης των VS (οργανικών στερεών) του εκάστοτε αποβλήτου που θα χρησιμοποιηθεί, όσο και της ποσότητας του βιοαερίου που παράγεται από τη διάσπαση των VS. Επομένως, όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση των VS και η απόδοση κατά τη διάσπασή τους, τόσο μικρότερη ποσότητα απαιτείται. Έχει παρατηρηθεί ότι εγκαταστάσεις παραγωγής βιοαερίου της τάξης του 1 MW_{el} , ανάλογα με τη συγκέντρωση των VS, και της παραγωγής βιοαερίου από τη διάσπαση των VS, του εκάστοτε αποβλήτου του μείγματος που τροφοδοτείται στον αναερόβιο χωνευτή, επεξεργάζονται περίπου 40.000 έως 70.000 t υγρών και στερεών αποβλήτων σε ετήσια βάση.

Το κόστος κατασκευής του παραπάνω περιγραφόμενου σεναρίου, υπολογίζεται στα **5.250.000,00€**, ενώ το κόστος λειτουργίας και συντήρησης της μονάδας, εκτιμάται στις **320.000,00€**, ετησίως. Η απαιτούμενη έκταση για την εγκατάσταση, λαμβάνοντας υπόψη εφαρμογές της αναερόβιας χώνευσης και κομποστοποίησης στην Ελλάδα, αλλά και στον υπόλοιπο κόσμο, εκτιμάται, περίπου, στα **10 στρέμματα**. Το σενάριο 1 απεικονίζεται στο διάγραμμα ροής που ακολουθεί.

«Ανάλυση βιωσιμότητας μέσω πολυκριτηριακής ανάλυσης εναλλακτικών δυνατοτήτων και τεχνολογιών διαχείρισης ιλύος στην Ελλάδα» | Διπλωματική εργασία- Τσόμπος Αλέξανδρος



Διάγραμμα 7. Διάγραμμα ροής σεναρίου 1 αναερόβιας συγχώνευση – κομποστοποίησης.

Συμπερασματικά, όσον αφορά στη δυνατότητα εφαρμογής του σεναρίου αυτού, αναφέρεται ότι στα πλεονεκτήματα του σεναρίου συγκαταλέγεται, αρχικά, η δυνατότητα επεξεργασίας διαφορετικών αποβλήτων, εξαιρουμένης της λύος, η οποία συνδράμει θετικά ως προς την ορθολογική διαχείριση των παραγόμενων αποβλήτων, και σταδιακά, εφαρμόζεται η θεωρία της κυκλικής οικονομίας. Επιπρόσθετα, μέσω της αναερόβιας χώνευσης περιορίζονται σημαντικά οι αέριες εκπομπές στο περιβάλλον, καθώς τα παραγόμενα αέρια δεν διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα. Σε ότι αφορά το λειτουργικό μέρος της αναερόβιας χώνευσης, αναφέρεται ότι η συγχώνευση διαφόρων πηγών αποβλήτων, οδηγεί στη μεγιστοποίηση της παραγόμενης ενέργειας, με τη μορφή βιοαερίου, καθώς επίσης, η συγκέντρωση του μεθανίου CH_4 , μεγιστοποιείται έναντι του διοξειδίου του άνθρακα CO_2 . Επισημαίνεται ότι, εγκαταστάσεις ανά τον κόσμο έχουν καταφέρει να επιτύχουν την αυτό-ικανοποίηση των ενεργειακών τους απαιτήσεων, καθώς και την πώληση του βιοαερίου σε φορείς παραγωγής και διαχείρισης ενέργειας.

Παράλληλα, το χωνεμένο προϊόν, έχει σημαντικά περιθώρια επεξεργασίας, με στόχο τη βελτίωσή του μέσω της κομποστοποίησης. Χαρακτηριστικά, όπως, ο ικανοποιητικός βαθμός υγειονομοποίησης, η απαλλαγή από οσμές σε μεγάλο βαθμό, η μειωμένη ποσότητα νερού με ποσοστό οργανικού κλάσματος, που ανέρχεται έως και 60%, και τέλος, η ικανοποιητική υφή του προϊόντος, επιτρέπουν τον εύκολα επιχειρηματικό χειρισμό του προϊόντος. Επιπλέον, η μέθοδος της κομποστοποίησης σε ανοικτές εγκαταστάσεις και συγκεκριμένα, σε σειράδια, περιέχει μικρό κόστος κατασκευής και λειτουργίας. Τέλος, υπογραμμίζεται ότι τόσο η αναερόβια χώνευση, όσο και η κομποστοποίηση είναι μέθοδοι που έχουν εφαρμοστεί ευρέως στην Ευρώπη, αλλά και στη Βόρειο Αμερική, με αποτέλεσμα να έχουν αναπτυχθεί σημαντικές τεχνικές βελτιστοποίησης της λειτουργίας αυτής. Συνεπώς, η εμπειρία θα οδηγήσει στην αποδοτική λειτουργία της μεθόδου που προτείνεται στο σενάριο αυτό.

Αντίθετα, στα μειονεκτήματα της μεθόδου περιλαμβάνεται η ευαισθησία, των αναερόβιων βακτηρίων που λαμβάνουν μέρος στις βιολογικές διεργασίες κατά την αναερόβια χώνευση, στη διακύμανση των περιβαλλοντικών τους συνθηκών. Συγκεκριμένα, κατά την αναερόβια χώνευση, η δημιουργία ενός όξινου ή βασικού περιβάλλοντος, μπορεί να οδηγήσει στην αναχαίτιση της μεθανογέννεσης. Επίσης, απαραίτητη προϋπόθεση για την εύρυθμη λειτουργία του αναερόβιου χωνευτή είναι η διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας. Ειδικότερα, η μεταβολή της θερμοκρασίας κατά $1\text{ }^{\circ}C$ μπορεί να οδηγήσει σε αναχαίτιση της μεθανογέννεσης. Ακόμη, η παρουσία υψηλής συγκέντρωσης βαρέων και ελαφριών μετάλλων στο προς χώνευση υλικό, διαμορφώνει ένα περιβάλλον, μη φιλικό ως προς τη λειτουργία των αναερόβιων μικροοργανισμών και οδηγεί στην αναχαίτιση των βιοχημικών διεργασιών. Γίνεται αντιληπτό ότι, τόσο ο σωστός σχεδιασμός του αναερόβιου χωνευτή, όσο και ο συνεχής έλεγχος του προς χώνευση υλικού, είναι απαραίτητες προϋποθέσεις, ώστε να εξασφαλιστεί η εύρυθμη λειτουργία του συστήματος.

Επιπρόσθετα, για την εξασφάλιση της συνεχούς λειτουργίας του αναερόβιου χωνευτή, θα πρέπει να κατασκευαστεί εφεδρικό σύστημα θέρμανσης, το οποίο θα θερμαίνει τον χωνευτή στην επιθυμητή θερμοκρασία, χρησιμοποιώντας ως καύσιμο κάποια άλλη πηγή ενέργειας

(π.χ. πετρέλαιο). Όπως έχει ήδη αναφερθεί, για την παραγωγή του compost, θα πρέπει να γίνει τροφοδοσία με άλλα υλικά (πριονίδι, άχυρο κ.λπ.). Στην περίπτωση αυτή, θα πρέπει να γίνει μέριμνα ως προς την προμήθεια και αποθήκευσή τους. Συνεπώς, δημιουργείται η ανάγκη διαμόρφωσης χώρων προσωρινής αποθήκευσης των πρόσθετων υλικών. Επιπρόσθετα, η ζήτηση του compost δεν παραμένει σταθερή κατά την πάροδο του έτους, με αποτέλεσμα να δημιουργείται η ανάγκη διαμόρφωσης κατάλληλων χώρων για την προσωρινή αποθήκευσή του. Τέλος, μείζονος σημασίας κριτήριο αποτελεί η εξασφάλιση της δυνατότητας διοχέτευσης του compost στην αγροτική αγορά. Είναι γεγονός ότι μπορεί να υπάρξει επιφυλακτικότητα, ως προς την ποιότητα του παραγόμενου compost, ωστόσο, κάτι τέτοιο δεν αποτελεί πραγματικό πρόβλημα, καθώς οι καινοτόμες μέθοδοι που εφαρμόζονται κατά την παραγωγή του, εξασφαλίζουν την υψηλή ποιότητα του τελικού προϊόντος. Επομένως, η εύλογη αμφιβολία του αγοραστικού κοινού, μπορεί να μετριαστεί, μέσω διαφόρων τρόπων προώθησης του προϊόντος, που στοχεύουν στη γνωστοποίηση της τελικής ποιότητας του παραγόμενου προϊόντος.

5.1.1.2 Σενάριο 2: Θερμική ξήρανση

Στόχος σεναρίου: Παραγωγή θερμικά επεξεργασμένης ιλύος.

Στο σενάριο αυτό, προτείνεται η περαιτέρω απομάκρυνση της υγρασίας της αφυδατωμένης από τις ΜΚΑ ιλύος, με στόχο το τελικό προϊόν να έχει συγκέντρωση στερεών μεγαλύτερη από 90%. Το προϊόν που παράγεται, λόγω της μικρής υγρασίας και της υψηλής συγκέντρωσης οργανικού άνθρακα, είναι κατάλληλο για χρήση, ως καυστική ύλη σε τσιμεντοβιομηχανίες, αντικαθιστώντας ένα μέρος των ορυκτών καυσίμων. Εναλλακτικά, η θερμικά ξηραμένη ιλύς μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές στη γεωργία και στην αποκατάσταση ρυπασμένων χώρων. Το προτεινόμενο σενάριο παρουσιάζεται συνοπτικά στον πίνακα που ακολουθεί, ενώ στη συνέχεια, περιγράφεται αναλυτικά η μέθοδος της θερμικής ξήρανσης που προτείνεται στο σενάριο 2.

Πίνακας 4. Συνοπτική παρουσίαση δεύτερου σεναρίου.

Σενάριο 2: Θερμική ξήρανση

1.800.000€

ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΟ ΚΟΣΤΟΣ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

396.000€

ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΟ ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

~ 4 στρέμματα

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ

Στόχος Σεναρίου: Παραγωγή θερμικά ξηραμένης υλός.

Το παραγόμενο προϊόν είναι ξηραμένη υλός κατάλληλη για χρήση στην τσιμεντοβιομηχανία, στην γεωργία – ρυπασμένους χώρους

Πλεονεκτήματα :

- *Ιδιαίτερα υψηλός βαθμός αναχαίτισης παθογόνων μικροοργανισμών (υγειονοποίηση)*
- *Υψηλός βαθμός απομάκρυνσης υγρασίας, με το προϊόν να έχει συγκέντρωση στερεών 90%*
- *Δεν απαιτούνται μεγάλες εκτάσεις*

Μειονεκτήματα:

- *Περίπλοκη διαδικασία που απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή και χειρισμό από εξειδικευμένο προσωπικό.*
- *Περιορισμένη αποδοχή του προϊόντος*

Παρόλο που η υλός είναι προτιμότερο να μην έχει σταθεροποιηθεί, ώστε να μεγιστοποιείται η θερμική αξία της, κάτι τέτοιο έρχεται σε αντίθεση με την επιθυμητή υγρασία (10%). Συγκεκριμένα, σε περίπτωση όπου η υλός υποστεί μόνο αφυδάτωση, δηλαδή η συγκέντρωση της υγρασίας είναι περίπου 80%, ο όγκος της είναι πολύ μεγάλος, δυσχεραίνοντας τις διαδικασίες μεταφοράς, ενώ παράλληλα, η θερμική ενέργεια που χρειάζεται είναι σαφώς πολύ μεγαλύτερη. Για τη μείωση της υγρασίας, χρησιμοποιείται η μέθοδος της θερμικής ξήρανσης. Συγκεκριμένα, προτείνεται η εγκατάσταση συστήματος ξηραντή τύπου περιστρεφόμενου τυμπάνου. Πρόκειται για ένα σύστημα άμεσης ξήρανσης, στο οποίο απαιτούνται σημαντικά μεγέθη θερμού αέρα. Ο ξηραντής, αποτελείται από ένα χαλύβδινο κυλινδρικό κέλυφος (τύμπανο), με τον άξονά του σε μικρή κλίση, ως προς την οριζόντια διεύθυνση, ώστε να διευκολύνεται η κίνηση των στερεών. Η φρέσκια υλός αναμιγνύεται με την υλός, που ανακυκλοφορείται στο σύστημα, πριν μεταφερθεί εντός του τυμπάνου. Η υγρασία του μείγματος πρέπει να διατηρείται κάτω από 50%, καθώς σε περίπτωση όπου η υγρασία είναι υψηλότερη, προκαλείται αύξηση του ιξώδους, με αποτέλεσμα να είναι δύσκολος ο χειρισμός του μίγματος.

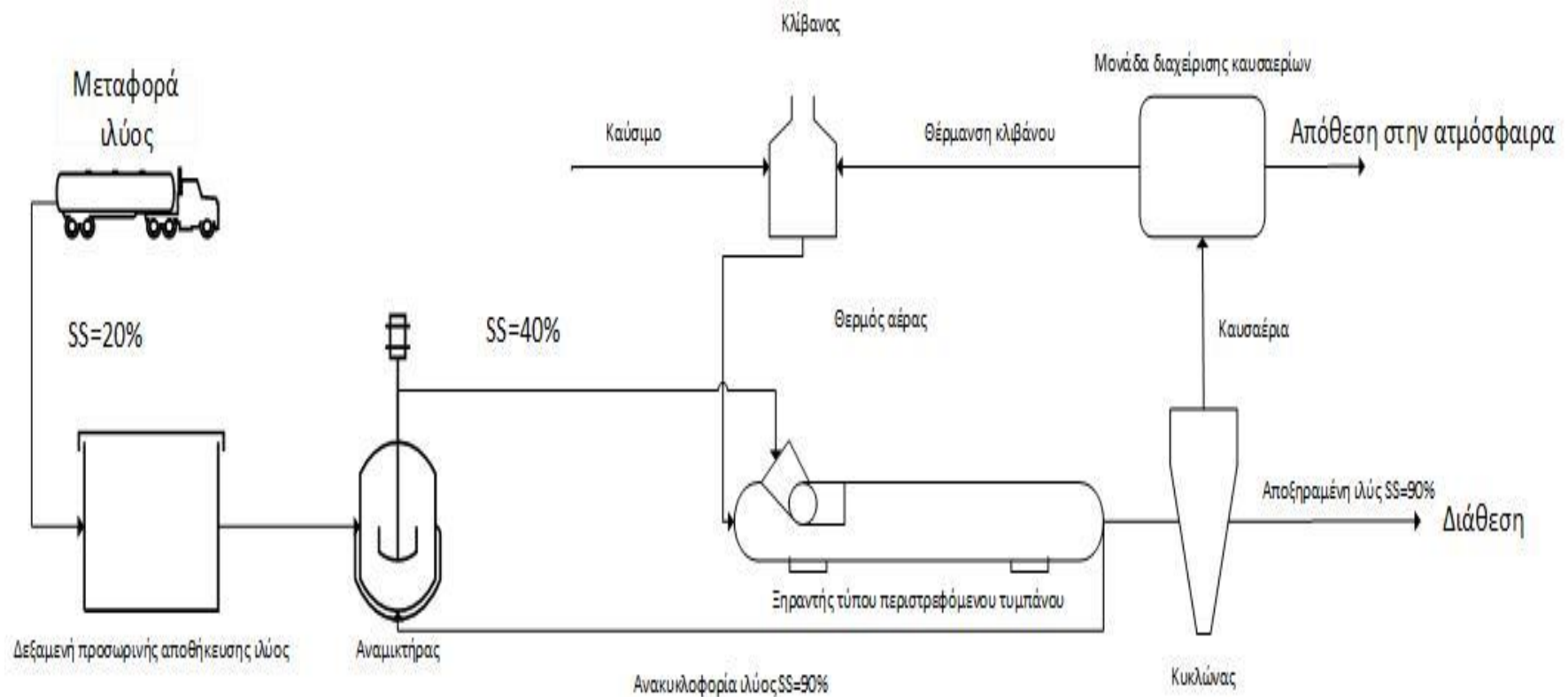
Το μείγμα διοχετεύεται στο περιστρεφόμενο τύμπανο μαζί με τον θερμό αέρα. Ο αέρας και η υλός μεταφέρονται, ταυτόχρονα, στο άλλο άκρο του ξηραντή με ταχύτητα μεταξύ 1,2 και 3,7 m/s. Κατά τη μεταφορά αυτή, η θερμοκρασία της υλός αυξάνεται κατά 100 °C, με συνέπεια να εξατμίζεται το νερό και να επιτυγχάνεται καταστροφή των παθογόνων

οργανισμών. Επιπρόσθετα, επισημαίνεται ότι εντός του τυμπάνου διαμορφώνεται κατάλληλη διαδρομή, μαιανδρικού τύπου, ώστε να επιτυγχάνεται εμβολοειδής ροή. Ο χρόνος παραμονής του μίγματος εντός του ξηραντή είναι 20 λεπτά.

Για τη θέρμανση της μάζας του αέρα σε θερμοκρασίες μεταξύ 260 – 480 °C, προτείνεται η χρήση ενός κλιβάνου, ενώ για το διαχωρισμό της ιλύος προτείνεται η χρήση συστήματος κυκλώνα. Τα απαέρια, που παράγονται, ελέγχονται από κατάλληλο σύστημα ελέγχου ρύπανσης. Η ξηραμένη ιλύς έχει ποσοστό σε υγρασία περίπου 90% και παράγεται σε μορφή σκόνης. Η σκόνη, με αρχική θερμοκρασία 100 °C, ψύχεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και στη συνέχεια, κοκκοποιείται, μέσω κατάλληλου ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού κοκκοποίησης. Οι κόκκοι, οι οποίοι είναι ιδιαίτερα μικροί, τροφοδοτούνται στην ανακυκλοφορία. Η κοκκοποιημένη ιλύς αποθηκεύεται σε κατάλληλες δεξαμενές, οι οποίες εμποδίζουν την είσοδο οξυγόνου, διότι η κοκκοποιημένη ιλύς είναι ιδιαίτερα εύφλεκτη σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 35 έως 40 °C, οι οποίες είναι συνήθεις στην Ελλάδα.

Τα συστήματα που επεξεργάζονται θερμικά την ιλύ χαρακτηρίζονται από υψηλό κόστος αγοράς και λειτουργίας – συντήρησης, καθώς σύμφωνα με την EPA (Environmental Protection Agency), ένα ολοκληρωμένο σύστημα θερμικής επεξεργασίας άμεσης επαφής, χαρακτηρίζεται από κόστος κατασκευής, περίπου, 300.000,00 €/t(στερεών ιλύος προς επεξεργασία/d). Στο κόστος συμπεριλαμβάνονται και τα έργα πολιτικού μηχανικού, που απαιτούνται. Στην προκειμένη περίπτωση, για τη θερμική ξήρανση **2.200 t στερεών** σε ετήσια βάση, απαιτούνται περίπου **1.800.000,00 €** για την κατασκευή μιας ολοκληρωμένης μονάδας θερμικής ξήρανσης. Όσον αφορά στο κόστος λειτουργίας, για τη δεδομένη ποσότητα ιλύος με συγκέντρωση 20% στερεών, ανέρχεται σε **396.000,00 €** σε ετήσια βάση, λαμβάνοντας υπόψη ότι το κόστος λειτουργίας ανέρχεται στα 180 €/t στερεών της ιλύος. Επιπλέον, σημειώνεται ότι, το κόστος του καυσίμου αποτελεί κατά προσέγγιση το 45% του συνολικού. Επίσης, δεδομένου ότι η απαίτηση σε επιφάνεια είναι σχετικά μικρή, εκτιμάται ότι ο χώρος που απαιτείται δεν ξεπερνά τα **4 στρέμματα**. Η ανωτέρω διαδικασία απεικονίζεται στο διάγραμμα ροής που ακολουθεί (διάγραμμα 2).

«Ανάλυση βιωσιμότητας μέσω πολυκριτηριακής ανάλυσης εναλλακτικών δυνατοτήτων και τεχνολογιών διαχείρισης υλός στην Ελλάδα» | Διπλωματική εργασία- Τσόμπος Αλέξανδρος



Διάγραμμα 8. Διάγραμμα ροής σεναρίου 2 θερμικής ξήρανσης.

Στα πλεονεκτήματα του σεναρίου περιλαμβάνεται, το μικρό περιβαλλοντικό αποτύπωμα, συγκριτικά με άλλες μεθόδους, όπως η κομποστοποίηση, η αλκαλική σταθεροποίηση και ηλιακή ξήρανση, ο περιορισμός των συνολικών εκπομπών CO₂ και CH₄, καθώς και η χρήση της ξηραμένης ιλύος σε βιομηχανικές εφαρμογές, η οποία υποκαθιστά τα φυσικά διαθέσιμα ορυκτά καύσιμα, συμβάλλοντας στην αντιμετώπιση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Επιπρόσθετα, επιτυγχάνεται ιδιαίτερα υψηλός βαθμός αναχαίτισης των παθογόνων μικροοργανισμών και υψηλός βαθμός απομάκρυνσης της υγρασίας, οδηγώντας σε προϊόν το οποίο έχει συγκέντρωση στερεών 90%, μειώνοντας το κόστος μεταφοράς – διανομής του προϊόντος με την παράλληλη μείωση της κυκλοφορίας των οχημάτων μεταφοράς από και προς την εγκατάσταση. Τέλος, το παραχθέν προϊόν μπορεί να απορροφηθεί από την αγορά και συγκεκριμένα, από βιομηχανίες παραγωγής τσιμέντου, ενώ εναλλακτικά εφόσον τηρούνται τα όρια συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για γεωργική χρήση ως εδαφοβελτιωτικό ή σε εφαρμογές αποκατάστασης ρυπασμένων χώρων.

Από την άλλη πλευρά, η προτεινόμενη μέθοδος παρουσιάζει και μειονεκτήματα, όπως είναι το υψηλό κόστος κατασκευής, ενώ η απόσβεση της επένδυσης μπορεί να επιτευχθεί σε μεγάλο βάθος χρόνου. Επίσης, βασική προϋπόθεση είναι η αγοραστική αξία του προϊόντος από τις βιομηχανίες, παράγοντας ο οποίος θα καθορίσει τον χρονικό ορίζοντα όπου θα αποσβεσθεί η επένδυση. Σύμφωνα με εφαρμογές στην Ευρώπη και στη Βόρειο Αμερική, τα έσοδα από την πώληση του προϊόντος δεν καλύπτουν το κόστος λειτουργίας και συντήρησης. Παράλληλα, η θερμική επεξεργασία, ως μια μέθοδος που χρειάζεται εξωτερική πηγή ενέργειας για τη θέρμανση του υπό επεξεργασία προϊόντος, οδηγεί στην αύξηση του κόστους λειτουργίας σε σχέση με άλλες μεθόδους, όπως αυτή της ηλιακής ξήρανσης. Επίσης, η ενδεχόμενη διαφυγή σκόνης στον αέρα μπορεί να επηρεάσει τους εργαζόμενους της μονάδας, καθώς και το έμψυχο δυναμικό γειτονικών επιχειρήσεων. Για τον λόγο αυτό, απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή ως προς τον τρόπο διαχείρισης της σκόνης και των απαερίων. Επιπρόσθετα, η χαμηλή συγκέντρωση σε υγρασία συντελεί στη διαμόρφωση ενός προϊόντος υψηλής αναφλεξιμότητας. Αυτό, συνεπάγεται ότι θα πρέπει να υπάρξει μέριμνα ως προς τον τρόπο αποθήκευσης του προϊόντος, διαμορφώνοντας ειδικές κλειστές δεξαμενές, στις οποίες δεν θα υπάρχει οξυγόνο. Κάτι τέτοιο, οδηγεί στην αύξηση του κόστους κατασκευής της μονάδας. Ενώ παράλληλα απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό, καθώς όπως καθίσταται σαφές πρόκειται να ένα περίπλοκο σύστημα. Τέλος, ιδιαίτερη μέριμνα θα πρέπει να δοθεί και στον τρόπο διαχείρισης των παραγόμενων οσμών, που οφείλονται στα πτητικά οργανικά. Για τη μείωση της έκλυσης οσμών, μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατάλληλος κλίβανος ή καυστήρας, όπου θα πραγματοποιείται οξείδωση των πτητικών οργανικών.

5.1.1.3 Σενάριο 3: Ηλιακή ξήρανση

Στόχος σεναρίου: Χρήση της υγειονομοποιημένης ιλύος για γεωργική αξιοποίηση – αποκατάσταση υποβαθμισμένων χώρων.

Σε αυτό το σενάριο, προτείνεται η ξήρανση της προερχόμενης από τις ΜΚΑ ιλύος, με συγκέντρωση στερεών 20%, με την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας. Επίσης, η ξηραμένη ιλύς έχει συγκέντρωση στερεών 70% και είναι σταθεροποιημένη και υγειονομοποιημένη. Η ξηραμένη ιλύς δύναται να διατεθεί για γεωργικές χρήσεις ή να χρησιμοποιηθεί για την αποκατάσταση υποβαθμισμένων χώρων. Συνοπτική παρουσίαση του προτεινόμενου

σεναρίου παρατίθεται στον πίνακα που ακολουθεί, ενώ στη συνέχεια, περιγράφεται αναλυτικά η μέθοδος της ηλιακής ξήρανσης που προτείνεται στο σενάριο 3.

Πίνακας 5. Συνοπτική παρουσίαση του τρίτου σεναρίου

Σενάριο 3: Ηλιακή ξήρανση

3.600.000€

ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΟ ΚΟΣΤΟΣ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

310.000€

ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΟ ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

~ 10 στρέμματα

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ

Στόχος Σεναρίου: Χρήση της υγειονομοποιημένης υλός για γεωργική αξιοποίηση – αποκατάσταση υποβαθμισμένων χώρων.

Το παραγόμενο προϊόν είναι Ξηραμένη υλός κατάλληλη για γεωργική χρήση.

Πλεονεκτήματα :

- Μείωση της υγρασίας, έως και 80%
- Υγειονομοποίηση της υλός σε ικανοποιητικό βαθμό
- Μέθοδος που μπορεί να εφαρμοστεί με επιτυχία σε χώρες με μεγάλη ηλιοφάνεια.

Μειονεκτήματα:

- Απαίτηση μεγάλων εκτάσεων
- Περιορισμένη αποδοχή του προϊόντος στη γεωργία.
- Δεν υπάρχει δυνατότητα καύσης της υλός σε τσιμεντοβιομηχανίες.

Πιο συγκεκριμένα, η μονάδα ηλιακής ξήρανσης που προτείνεται είναι υβριδικού τύπου, δηλαδή για την ξήρανση να χρησιμοποιείται, εκτός της ηλιακής ενέργειας, επιπρόσθετη θέρμανση (επιδαπέδια) στο θάλαμο ξήρανσης. Ο θάλαμος ξήρανσης είναι τύπου θερμοκηπίου. Οι συνήθεις διαστάσεις των θερμοκηπίων είναι πλάτους 12,5 m, μήκους 76 m και ύψους 4,5 m. Επομένως, η επιφάνεια του θερμοκηπίου είναι, ενδεικτικά, 950 m². Ο σκελετός του θερμοκηπίου δύναται να είναι από ανοξείδωτο ατσάλι. Ως κάλυμμα προτείνεται διαστρωματικό πολυανθρακικό κάλυμμα (PC – Double Skin), το οποίο έχει πολύ καλά θερμομονωτικά χαρακτηριστικά. Ο εξοπλισμός του θερμοκηπίου περιλαμβάνει το σύστημα αερισμού, το σύστημα ρύθμισης της σχετικής υγρασίας του χώρου και το σύστημα θέρμανσης.

Το σύστημα αερισμού αποτελείται από μηχανικά κινούμενα πτερύγια οροφής. Επίσης, εντός του θερμοκηπίου είναι τοποθετημένοι ανεμιστήρες, με τέτοιο τρόπο, ώστε να δημιουργείται ρεύμα αέρος πάνω από ολόκληρη την επιφάνεια της υλός, αφαιρώντας το στρώμα υγρασίας από την επιφάνειά της. Ακόμα, σε χαμηλό μέρος των τοιχίων του θερμοκηπίου υπάρχουν οπές, οι οποίες ανοίγουν και κλείνουν αυτόματα, ώστε να εισέρχεται φρέσκος αέρας. Η θέρμανση της υλός βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Εκτός αυτού, προτείνεται η

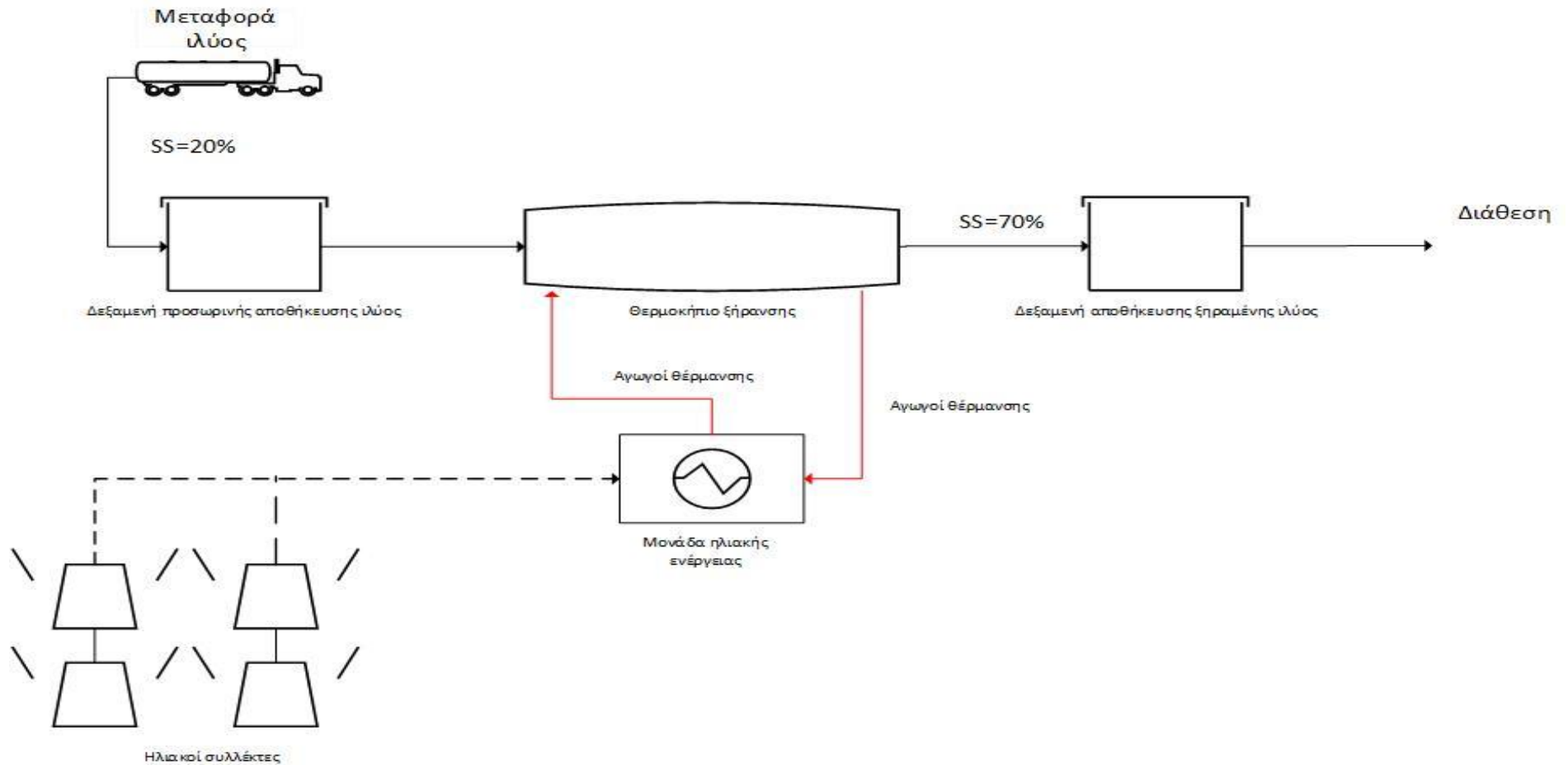
εφαρμογή μιας ακόμα μεθόδου θέρμανσης, η οποία δύναται να προέρχεται από ένα σύστημα ηλιακού συλλέκτη. Το σύστημα θέρμανσης αποτελείται από τον συλλέκτη, τη μονάδα αξιοποίησης της θερμότητας και το διανομέα θερμότητας.

Τα συστήματα αυτά έχουν χαμηλό κόστος λειτουργίας, δεδομένου ότι δεν καταναλώνουν καύσιμα ή άλλης πηγής ενέργεια, πέρα από την ηλιακή ακτινοβολία. Στον αντίποδα, το κόστος εγκατάστασης ενός τέτοιου συστήματος είναι υψηλό, ενώ δεδομένου ότι για τη συλλογή μιας σημαντικής ποσότητας ηλιακής ενέργειας, οι συλλέκτες πρέπει να καταλαμβάνουν πολύ μεγάλη έκταση. Επίσης, η απόδοση τέτοιων συστημάτων εξαρτάται από την ηλιοφάνεια. Λαμβάνοντας υπόψη, ότι στην Ελλάδα υπάρχει ηλιοφάνεια 8 από τους 12 μήνες του έτους, μια τέτοια μονάδα έχει επιθυμητά αποτελέσματα στην περίπτωση αυτή. Η ανάμιξη του στρώματος ιλύος προτείνεται να γίνει με τη χρήση οριζόντιου τυμπάνου με περιστρεφόμενα ξέστρα. Εν συνεχεία, προτείνεται η τοποθέτηση του άξονα του τυμπάνου πάνω σε σύστημα κίνησης, ώστε να πραγματοποιείται η αναμόχλευση κατά μήκος του θερμοκηπίου. Το επιθυμητό ύψος του στρώματος της ιλύος είναι μικρότερο από 30 cm.

Η ξηραμένη ιλύς συλλέγεται και συσκευάζεται σε σάκους, οι οποίοι προτείνεται να αποθηκεύονται σε κατάλληλα προφυλαγμένο χώρο εντός της εγκατάστασης. Ο χώρος πρέπει να επαρκεί, ώστε να μπορεί να αποθηκευτεί το προϊόν για διάστημα 6 μηνών. Η δυναμικότητα του κάθε θερμοκηπίου είναι 2.000 t, επομένως, η θεωρητική απαίτηση σε επιφάνεια θερμοκηπίων είναι 6 θερμοκήπια, δηλαδή 6 στρέμματα. Στην προκειμένη περίπτωση, η απαιτούμενη επιφάνεια για την επίτευξη της ηλιακής ξήρανσης υπολογίζεται στα **10 στρέμματα**, συμπεριλαμβανομένου του χώρου αποθήκευσης δυναμικότητας 6 μηνών (θεωρώντας συγκέντρωση στερεών 70% και βάθος δεξαμενών αποθήκευσης 3 m), καθώς και των χώρων των υπολοίπων απαραίτητων εγκαταστάσεων. Θεωρώντας ότι το κόστος κατασκευής κάθε θερμοκηπίου, συμπεριλαμβανομένου του απαραίτητου εξοπλισμού ανέρχεται στα 600.000,00 €, το κόστος κατασκευής ανέρχεται, περίπου, στα **3.600.000,00 €**. Το κόστος λειτουργίας μια μονάδας ηλιακής ξήρανσης, σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία ανέρχεται στα 140 €/t ξηρών στερεών της ιλύος, επομένως, το κόστος λειτουργίας και συντήρησης ανέρχεται στις, περίπου, **310.000,00 €**, σε ετήσια βάση.

Το ξηραμένο προϊόν δύναται να διοχετευτεί στην αγορά, ως εδαφοβελτιωτικό ή για αποκατάσταση υποβαθμισμένων χώρων, αφού θα περιέχει αξιοποιήσιμα θρεπτικά συστατικά, όπως είναι ο φώσφορος, το άζωτο κ.λπ. Επισημαίνεται ότι, για την αξιοποίηση της ξηραμένης ιλύος, θα πρέπει να τηρούνται τα όρια συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων, που ορίζονται στην εθνική νομοθεσία. Στο διάγραμμα 3 που ακολουθεί, παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής της προτεινόμενης μονάδας ηλιακής ξήρανσης, απεικονίζοντας τα κυριότερα στάδια όπως αυτά περιγράφονται ανωτέρω.

«Ανάλυση βιωσιμότητας μέσω πολυκριτηριακής ανάλυσης εναλλακτικών δυνατοτήτων και τεχνολογιών διαχείρισης υλός στην Ελλάδα» | Διπλωματική εργασία- Τσόμπος Αλέξανδρος



Διάγραμμα 9. Διάγραμμα ροής σεναρίου 3 ηλιακής ξήρανσης.

Στα πλεονεκτήματα του σεναρίου αυτού, περιλαμβάνεται ο ικανοποιητικός βαθμός απομάκρυνσης της υγρασίας που επιτυγχάνεται, έως και 80% σε κάποιες περιπτώσεις. Γεγονός που υποδηλώνει ότι ο προς διαχείριση όγκος μειώνεται δραστικά. Επιπλέον, η απόδοση της ηλιακής ξήρανσης είναι ανάλογη της ηλιοφάνειας της περιοχής εφαρμογής. Στον ελλαδικό χώρο, όπου υπάρχει ηλιοφάνεια 8 από τους 12 μήνες του έτους, η ηλιακή ξήρανση μπορεί να έχει υψηλό βαθμό απόδοσης. Επιπρόσθετα, λόγω της ανάπτυξης θερμοκρασίας μεγαλύτερης των 50°C, η ιλύς υγειονομοποιείται και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό. Επίσης, σημειώνεται ότι η εγκατάσταση δεν περιέχει πολύπλοκο μηχανολογικό εξοπλισμό, χωρίς βέβαια να αποτελεί μια πάρα πολύ απλή διαδικασία. Συγκεκριμένα, ο έλεγχος μπορεί να πραγματοποιηθεί από κεντρικό PLC σύστημα, το οποίο παρακολουθεί όλες τις παραμέτρους λειτουργίας των θερμοκηπίων.

Στα μειονεκτήματα του σεναρίου συγκαταλέγεται, η απαιτούμενη έκταση των μονάδων ηλιακής ξήρανσης η οποία είναι ιδιαίτερα μεγάλη, δημιουργώντας προβλήματα, αφενός στην εύρεση διαθέσιμου χώρου και αφετέρου στην αγορά του. Παράλληλα, η συγκέντρωση των στερεών δεν ξεπερνά το 80% στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, περιορίζοντας την αξιοποίησή της, με συγκεκριμένες εφαρμογές στη γεωργία και στην αποκατάσταση τραυματισμένων χώρων. Επίσης, λόγω της περιοδικής χρήσης εδαφοβελτιωτικών, δημιουργείται απαίτηση ακόμα μεγαλύτερων εκτάσεων, ώστε να διαμορφωθούν χώροι αποθήκευσης της ξηραμένης ιλύος. Τέλος, υπογραμμίζεται η ενδεχόμενη δυσκολία διοχέτευσης του προϊόντος στην αγορά, η οποία επισκιάζει τη δυνατότητα επίτευξης ενός τέτοιου εγχειρήματος, καθώς η ξηραμένη ιλύς, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό θα πρέπει να μπορεί να ανταγωνιστεί τα ποιοτικά χαρακτηριστικά άλλων εδαφοβελτιωτικών, όπως για παράδειγμα του compost. Κάτι τέτοιο φαίνεται να είναι δύσκολο, καθώς το compost έχει, στις περισσότερες περιπτώσεις, καλύτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά.

5.1.1.4 Σενάριο 4: Ξήρανση - Πυρόλυση

Στόχος σεναρίου: Χρήση του παραγόμενου αερίου για κάλυψη μέρους των ενεργειακών απαιτήσεων – αξιοποίηση των παραγόμενων προϊόντων.

Η πυρόλυση αποτελεί μια καινοτόμα μέθοδο επεξεργασίας ιλύος, η οποία δεν έχει εφαρμοστεί, ευρέως, στην Ευρώπη και στη Βόρειο Αμερική. Παρόλα αυτά, τα ενθαρρυντικά αποτελέσματα που εξάγονται από πιλοτικές μονάδες, καθιστούν την πυρόλυση ως μια εν δυνάμει επιλέξιμη μέθοδο διαχείρισης της ιλύος. Τα προϊόντα της πυρόλυσης είναι τριών ειδών και χωρίζονται σε αέρια, στερεά και υγρά. Στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθεται συνοπτική παρουσίαση του προτεινόμενου σεναρίου ενώ στη συνέχεια, περιγράφεται αναλυτικά η μέθοδος της ξήρανσης - πυρόλυσης που προτείνεται στο σενάριο.

Πίνακας 6. Συνοπτική παρουσίαση του τέταρτου σεναρίου.

Σενάριο 4: Ξήρανση - Πυρόλυση

3.000.000€

ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΟ ΚΟΣΤΟΣ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

418.000€

ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΟ ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

~ 4 στρέμματα

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ

Στόχος Σεναρίου είναι η χρήση του παραγόμενου αερίου για κάλυψη μέρους των ενεργειακών απαιτήσεων – αξιοποίηση των παραγόμενων προϊόντων.

Το παραγόμενο προϊόν είναι:

- A) στερεό υπόλειμμα που δύναται να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό
- B) αέριο που δύναται να χρησιμοποιηθεί σε μονάδες παραγωγής θερμικής ενέργειας
- Γ) υγρό υπόλειμμα που δύναται να αξιοποιηθεί για την παραγωγή βιοντίζελ

Πλεονεκτήματα :

- Σημαντική μείωση του όγκου
- Υψηλός βαθμός υγειονομοποίησης
- Δεν απαιτούνται μεγάλες εκτάσεις

Μειονεκτήματα:

- Δεν αποτελεί διαδεδομένη μέθοδο διαχείρισης ιλύος
- Η μέθοδος δεν βρίσκεται σε ικανοποιητικό στάδιο ωριμότητας

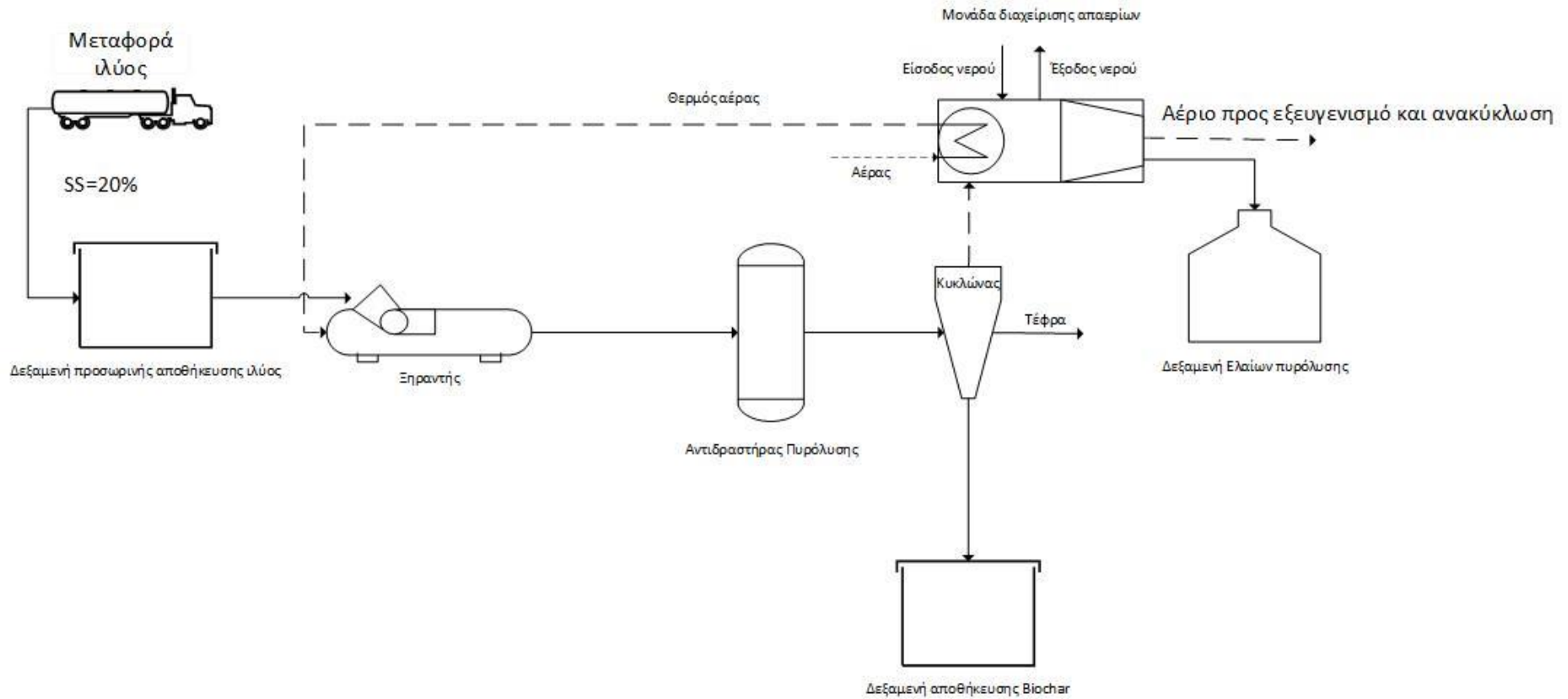
Η προτεινόμενη μονάδα πυρόλυσης αποτελείται, κυρίως, από ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό. Αρχικά, η ιλύς έχοντας συγκέντρωση σε υγρασία 20%, οδηγείται σε κατάλληλα διαμορφωμένο χώρο, όπου θερμαίνεται σε θερμοκρασία από 100 έως 200 °C, ώστε να μειωθεί το ποσοστό υγρασίας στο 10%. Στη συνέχεια, η ιλύς τροφοδοτείται εντός του πυρολυτικού κλιβάνου, τύπου κοχλίας, και θερμαίνεται στους 800 °C, απουσία οξυγόνου. Για την εξασφάλιση συνθηκών απουσίας οξυγόνου εντός του πυρολυτικού κλιβάνου, προτείνεται παράλληλη τροφοδότηση με αέριο άζωτο (N₂). Οι περισσότερες οργανικές ουσίες πυρολύονται κατά 75-95% σε πτητικές ενώσεις και κατά 10-25% σε στερεό υπόλειμμα. Λόγω της παρουσίας υγρασίας και ανόργανων ουσιών, η ποσότητα των πτητικών κυμαίνεται από 60-70% και το στερεό υπόλειμμα από 30 έως 40%.

Το παραγόμενο, κατά τη διαδικασία της πυρόλυσης, αέριο αποτελείται από H₂, CH₄, CO, CO₂. Για την απομάκρυνση της στάχτης από τα παραγόμενα αέρια, προτείνεται η τοποθέτηση σε οριζόντια διάταξη κεραμικού φίλτρου στο πάνω μέρος του κελύφους του κλιβάνου, το οποίο αγκαλιάζει την ελεύθερη επιφάνεια, συγκρατώντας τη στάχτη. Στη συνέχεια, τα αέρια μεταφέρονται, μέσω αγωγών, στο σύστημα επεξεργασίας του αερίου, όπου αφαιρούνται τα

έλαια (υγρό κλάσμα). Η θερμική του αξία μπορεί να μην είναι ιδιαίτερα υψηλή (6 MJ/kg), ωστόσο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί επικουρικά για την ξήρανση της ιλύος. Το υγρό κλάσμα είναι ελαιώδες, με υψηλή πυκνότητα, ιξώδες και περιέχει απλά καρβοξυλικά οξέα, κετόνες, αλκοόλες κ.λπ. Το κλάσμα χαρακτηρίζεται από υψηλή θερμογόνο δύναμη, όχι σημαντικά μικρότερη από τα ορυκτά καύσιμα, ενώ με περαιτέρω επεξεργασία μπορεί να αποκτήσει χαρακτηριστικά βιοντίζελ.

Το στερεό υπόλειμμα (biochar) περιέχει σχεδόν καθαρό άνθρακα C και τυχόν αδρανή υλικά που υπάρχουν στην ιλύ. Η περιεκτικότητα σε άνθρακα ξεπερνά το 50%. Τα μέταλλα που περιέχονται στο στερεό υπόλειμμα, σύμφωνα με τη διεθνή βιογραφία, βρίσκονται σε σταθερή κατάσταση, επομένως, υπάρχει χαμηλός κίνδυνος διαρροής βαρέων μετάλλων σε εφαρμογές του στερεού υπολείμματος ως εδαφοβελτιωτικό. Για την κατασκευή μιας μονάδας πυρόλυσης που ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις που έχουν οριστεί στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, θεωρείται ότι απαιτούνται, περίπου, **3.000.000,00 €**. Λόγω των περιορισμένων στοιχείων εφαρμογής μονάδων πυρόλυσης ιλύος στην Ευρώπη και στη Βόρειο Αμερική, η εκτίμηση του κόστους κατασκευής γίνεται με βάση το αντίστοιχο κόστος της μονάδας θερμικής ξήρανσης. Συγκεκριμένα, λαμβάνοντας υπόψη ότι και οι δύο προτεινόμενες μέθοδοι εφαρμόζονται με τη χρήση μηχανολογικού εξοπλισμού, που εμφανίζει σημαντικές ομοιότητες, ενώ και οι χωρικές απαιτήσεις είναι ίδιες, το κόστος κατασκευής μονάδας πυρόλυσης είναι κοντά στο αντίστοιχο της μονάδας θερμικής ξήρανσης. Ωστόσο, λόγω του πολύπλοκου εξοπλισμού (διασφάλιση συνθηκών απουσίας οξυγόνου, απαίτηση ξηραντή κ.λπ.) και της μη ευρείας εφαρμογής, θεωρείται ότι η εφαρμογή του σεναρίου ανταποκρίνεται σε υψηλότερο κόστος κατασκευής. Ομοίως, το κόστος λειτουργίας και συντήρησης θεωρείται πως ανέρχεται σε **418.000,00 €**. Η απαιτούμενη έκταση για την εφαρμογή αυτής της μεθόδου, είναι περίπου ίση με την απαίτηση της θερμικής ξήρανσης και εκτιμάται στα **4 στρέμματα**. Στη συνέχεια, παρατίθεται το διάγραμμα ροής του προτεινόμενου σεναρίου.

«Ανάλυση βιωσιμότητας μέσω πολυκριτηριακής ανάλυσης εναλλακτικών δυνατοτήτων και τεχνολογιών διαχείρισης λύος στην Ελλάδα» | Διπλωματική εργασία- Τσόμπος Αλέξανδρος



Διάγραμμα 10. Διάγραμμα ροής σεναρίου 4 ξήρανσης - πυρόλυσης.

Στα πλεονεκτήματα του περιγραφόμενου σεναρίου περιλαμβάνεται το γεγονός ότι η πυρόλυση της ιλύος αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη μέθοδο διαχείρισης, καθώς μειώνεται δραστικά ο όγκος της ιλύος, ενώ το στερεό υπόλειμμα της πυρόλυσης είναι αρκετά σταθερό και περιορίζει τη διαφυγή μετάλλων στο έδαφος, δημιουργώντας τοξικές συνθήκες, σε αντίθεση με το εδαφοβελτιωτικό που παράγεται από άλλες μεθόδους διαχείρισης της ιλύος. Επίσης, τόσο το αέριο όσο και το υγρό υπόλειμμα μπορούν να αξιοποιηθούν σε μονάδες παραγωγής θερμικής ενέργειας και παραγωγής βιοντίζελ, αντίστοιχα. Επίσης, η εφαρμογή της πυρόλυσης σε μεγάλη κλίμακα, δεν δημιουργεί απαίτηση εξασφάλισης μεγάλων εκτάσεων.

Από την άλλη πλευρά στα μειονεκτήματα της μεθόδου συγκαταλέγεται το γεγονός ότι η πυρόλυση δεν αποτελεί μια ευρέως εφαρμοσμένη μέθοδο, δυσχεραίνοντας τόσο την εκτίμηση του κόστους κατασκευής και λειτουργίας, όσο και των ποσοτήτων των παραγόμενων προϊόντων. Επίσης, η δυνατότητα εφαρμογής του συγκεκριμένου σεναρίου, προϋποθέτει αναμφίβολα την περαιτέρω διερεύνηση των επιμέρους μεθόδων της πυρόλυσης (συναρτήσει της θερμοκρασίας). Τέλος, αναφέρεται ότι τα προϊόντα που παράγονται κατά την πυρόλυση ιλύος δεν έχουν εξετασθεί σε ικανοποιητικό βαθμό, έτσι ώστε να είναι ξεκάθαρος ο τρόπος εκμετάλλευσης. Το γεγονός αυτό δημιουργεί την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα, ώστε να μπορεί να αξιολογηθεί καλύτερα η βιωσιμότητα μιας τέτοιας εφαρμογής.

5.2 Μονάδα διαχείρισης ιλύος σε νησιωτικές περιοχές

Στο παρόν κεφάλαιο, πραγματοποιείται καταγραφή των εναλλακτικών μεθόδων διαχείρισης της ιλύος, που παράγεται από Μονάδες Καθαρισμού υγρών Αποβλήτων, που βρίσκονται σε νησιωτικές περιοχές. Υπενθυμίζεται ότι, η διαχείριση της ιλύος που παράγεται από τις ΜΚΑ των νησιωτικών περιοχών, μελετάται ως ξεχωριστή περίπτωση, καθώς δεν δύναται να μεταφερθεί η παραγόμενη ιλύς, στην ηπειρωτική Ελλάδα και δεν αποτελεί μια βιώσιμη λύση, λόγω του υψηλού κόστους που έχει η μεταφορά της με πλωτά μέσα.

Στην παρούσα ενότητα, παρουσιάζονται τα εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης της ιλύος που παράγεται από τις μονάδες των νησιωτικών περιοχών, με στόχο την ορθολογική διαχείρισή της. Τα εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης ιλύος, που παρουσιάζονται εκτενέστερα στις ακόλουθες ενότητες, είναι τα εξής:

- Σενάριο 1: Θερμική ξήρανση
- Σενάριο 2: Κομποστοποίηση
- Σενάριο 3: Ηλιακή ξήρανση

Η επιλογή των παραπάνω μεθόδων επεξεργασίας της ιλύος, που παράγεται από τις Μονάδες των νησιωτικών περιοχών, έγινε με βάση την ευκολία εφαρμογής τους, την ύπαρξη ανάλογης εμπειρίας στον Ελλαδικό χώρο και τη συμβατότητα που παρουσιάζουν με το ισχύον νομοθετικό εθνικό και Ευρωπαϊκό πλαίσιο, σχετικά με την ορθολογική διαχείριση της ιλύος. Η κομποστοποίηση, η θερμική και ηλιακή ξήρανση έχουν εφαρμοστεί σε πολυάριθμες περιπτώσεις και έχει εμπειριστατωμένα

αποδειχθεί ότι αποτελούν εν δυνάμει μεθόδους διαχείρισης της ιλύος και μπορούν να ανταποκρίνονται στον υφιστάμενο ρυθμό παραγωγής ιλύος.

5.2.1 Παρουσίαση εναλλακτικών σεναρίων

Η προς επεξεργασία ιλύς, θα συλλέγεται, αφού πρώτα παχυνθεί και αφυδατωθεί, εντός των ΜΚΑ, ώστε να μειωθεί σημαντικά ο όγκος της και να μπορεί να μεταφερθεί με μεγαλύτερη ευκολία στη μονάδα επεξεργασίας. Η εκλογή και αξιολόγηση των σεναρίων, συμβαδίζει με την κείμενη νομοθεσία, περί διαχείρισης και αξιοποίησης της ιλύος, δίνοντας ιδιαίτερη βαρύτητα στη σταθεροποίηση και υγειονομοποίησή της. Τέλος, σε όλα τα προτεινόμενα εναλλακτικά σενάρια, υπάρχει μέριμνα ως προς τη διαχείριση των υφιστάμενων ποσοτήτων ιλύος, που είναι αποθηκευμένες ή θα αποθηκευτούν στο διάστημα μέχρι την κατασκευή του έργου. Αυτό, θα επιτευχθεί με τη σταδιακή τροφοδοσία των αποθηκευμένων ποσοτήτων, αναμεμιγμένες με τις ποσότητες που θα παράγονται την εκάστοτε χρονική στιγμή.

5.2.1.1 Σενάριο 1: Θερμική Ξήρανση

Στόχος σεναρίου: Ξήρανση της ιλύος (90% συγκέντρωση στερεών) και διοχέτευση της σε τσιμεντοβιομηχανίες ως καύσιμη ύλη.

Στο σενάριο αυτό, προτείνεται η θερμική ξήρανση της αφυδατωμένης ιλύος από τις ΜΚΑ, με στόχο το τελικό προϊόν να έχει συγκέντρωση στερεών μεγαλύτερη από 90%. Ο ξηραντής, που προτείνεται στο σενάριο αυτό, είναι τύπου περιστρεφόμενου τυμπάνου. Στον πίνακα που ακολουθεί, παρατίθεται συνοπτική παρουσίαση του προτεινόμενου σεναρίου, ενώ ακολούθως, περιγράφεται αναλυτικά η μέθοδος της θερμικής ξήρανσης.

Πίνακας 7. Συνοπτική παρουσίαση του πρώτου σεναρίου

Σενάριο 1: Θερμική Ξήρανση

1.000.000€

ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΟ ΚΟΣΤΟΣ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

45.000€

ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΟ ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

~ 0,5 στρέμματα

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ

Στόχος Σεναρίου: Ξήρανση της υλός (90% συγκέντρωση στερεών) και διοχέτευσή της σε τσιμεντοβιομηχανίες ως καύσιμη ύλη.

Το παραγόμενο προϊόν είναι ξηραμένη υλός κατάλληλη για χρήση στην τσιμεντοβιομηχανία, στη γεωργία ως εδαφοβελτιωτικό και στην ανάπλαση ρυπασμένων χώρων.

Πλεονεκτήματα :

- Ιδιαίτερα υψηλός βαθμός αναχαίτισης παθογόνων μικροοργανισμών.
- Υψηλός βαθμός απομάκρυνσης υγρασίας, με το προϊόν να έχει συγκέντρωση στερεών 90%.
- Δεν απαιτούνται μεγάλες εκτάσεις.

Μειονεκτήματα:

- Υψηλό κόστος κατασκευής και μακροχρόνια απόσβεση επένδυσης.
- Περίπλοκη διαδικασία που απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή και εξειδικευμένο προσωπικό.
- Περιορισμένη αποδοχή του προϊόντος.

Αρχικά, προτείνεται η μεταφορά της υλός στον χώρο όπου θα εγκατασταθεί ο ξηραντής και η αποθήκευσή της σε δεξαμενή. Από εκεί, πραγματοποιείται η τροφοδοσία του ξηραντή, μέσω κατάλληλης διάταξης αντλητικού συστήματος, τύπου περιστρεφόμενου κοχλίου. Η συγκέντρωση στερεών στην έξοδο της διάταξης ανέρχεται σε 90%, επομένως, η τελική μάζα υλός προς διάθεση μετά την ξήρανση αναμένεται να είναι 231 t, σε ετήσια βάση. Η δυναμικότητα της εγκατάστασης είναι 1 t υλός/h, επομένως, θεωρείται ότι 5 h λειτουργίας σε πενθήμερη βάση, αρκούν ώστε να ικανοποιήσουν την παραγωγή. Επίσης, κατά την ξήρανση, πρέπει να αφαιρούνται 0,74 t νερού/t υγρής υλός, επομένως, η θεωρητική απαιτούμενη ενέργεια για την εξάτμιση του νερού είναι 666 kcal/kg νερού.

Με βάση τα παραπάνω, προκύπτει ότι η απαιτούμενη ενέργεια είναι 513.000 kcal/t υγρής υλός. Η συνολική εγκαταστημένη ισχύς, όλης της εγκατάστασης, θα είναι 54 kW, επομένως η εβδομαδιαία κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, στην περίπτωση όπου λειτουργεί 25 ώρες την εβδομάδα, είναι 1350 kWh. Θεωρώντας ως κόστος 0,08 €/kWh, το εβδομαδιαίο κόστος ανέρχεται σε 108 €. Τέλος, το κόστος προμήθειας και

εγκατάστασης της παραπάνω περιγραφόμενης μονάδας εκτιμάται σε **1.000.000,00 €**, ενώ το κόστος λειτουργίας και συντήρησης υπολογίζεται στις **45.000,00 €**, σε ετήσια βάση.

Το προϊόν που παράγεται από τη θερμική επεξεργασία, δύναται να διατεθεί ως συνκαύσιμο στους κλιβάνους ορισμένων τσιμεντοβιομηχανιών, με την προϋπόθεση ότι ικανοποιούνται τα όρια συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων. Η εύρεση ενδιαφερόμενων βιομηχανιών, λύνει αναμφισβήτητα το πρόβλημα της διάθεσης. Εναλλακτικά, δεδομένου της μικρής ποσότητας που παράγεται, η ξηραμένη υλός δύναται να διατεθεί σε χώρους ανάπτυξης καλλιεργειών ως εδαφοβελτιωτικό.

Συνοπτικά, στα βασικότερα πλεονεκτήματα εφαρμογής της εν λόγω μεθόδου αποτελεί το γεγονός ότι η χρήση της ξηραμένης υλός σε βιομηχανικές εφαρμογές, υποκαθιστά τα φυσικά διαθέσιμα ορυκτά καύσιμα και περιορίζει τις συνολικές εκπομπές CO₂ και CH₄, συμβάλλοντας έτσι στην αντιμετώπιση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Επιπρόσθετα, επιτυγχάνεται ιδιαίτερα υψηλός βαθμός αναχαίτισης των παθογόνων μικροοργανισμών και υψηλός βαθμός απομάκρυνσης της υγρασίας, οδηγώντας σε προϊόν το οποίο έχει συγκέντρωση στερεών 90%, μειώνοντας το κόστος μεταφοράς – διανομής του προϊόντος. Παράλληλα, έχει πολύ μικρές απαιτήσεις σε έκταση.

Ωστόσο, λαμβάνεται υπόψη κατά την αξιολόγηση της μεθόδου ότι, το κόστος κατασκευής μιας τέτοιας μονάδας είναι ιδιαίτερα υψηλό, ενώ η απόσβεση της επένδυσης μπορεί να επιτευχθεί σε μεγάλο βάθος χρόνου. Επιπλέον, παρόλο που η ποσότητα που παράγεται, κατά το σενάριο αυτό, είναι ιδιαίτερα μικρή, θα πρέπει να εξετασθεί πρώτα η δυνατότητα διάθεσης του προϊόντος σε βιομηχανίες ως υλικό καύσης ή εναλλακτικά η δυνατότητα διάθεσης σε καλλιέργειες. Η θερμική επεξεργασία, όντας μια μέθοδος που χρειάζεται εξωτερική πηγή ενέργειας για τη θέρμανση του υπό επεξεργασία προϊόντος, οδηγεί στην αύξηση του κόστους λειτουργίας, σε σχέση με άλλες μεθόδους, όπως αυτή της ηλιακής ξήρανσης, στην οποία το κόστος λειτουργίας είναι ιδιαίτερα χαμηλό.

Παράλληλα, η ενδεχόμενη διαφυγή σκόνης στον αέρα μπορεί να επηρεάσει τους εργαζόμενους της μονάδας, καθώς και τους εργαζομένους γειτονικών επιχειρήσεων. Για τον λόγο αυτό, απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή ως προς τον τρόπο διαχείρισης της σκόνης και των απαερίων. Η χαμηλή συγκέντρωση σε υγρασία συντελεί στη διαμόρφωση ενός προϊόντος υψηλής αναφλεξιμότητας. Αυτό συνεπάγεται ότι θα πρέπει να υπάρξει μέριμνα ως προς τον τρόπο αποθήκευσης του προϊόντος, διαμορφώνοντας ειδικές κλειστές δεξαμενές, στις οποίες δεν θα υπάρχει οξυγόνο. Κάτι τέτοιο, οδηγεί στην αύξηση του κόστους κατασκευής της μονάδας. Επιπρόσθετα, το γεγονός ότι πρόκειται για ένα ηλεκτρομηχανολογικό και σχετικά περίπλοκο σύστημα, οδηγεί στην απαίτηση εξειδικευμένου προσωπικού. Τέλος, ιδιαίτερη μέριμνα θα πρέπει να δοθεί και στον τρόπο διαχείρισης των παραγόμενων οσμών, που οφείλονται στα πτητικά οργανικά. Για τη μείωση της έκλυσης οσμών, μπορεί να

χρησιμοποιηθεί κατάλληλος κλίβανος ή καυστήρας, όπου θα πραγματοποιείται οξείδωση των πτητικών οργανικών.

5.2.1.2 Σενάριο 2: Κομποστοποίηση

Στόχος σεναρίου: Παραγωγή compost για εφαρμογή στη γεωργία.

Η αερόβια κομποστοποίηση αποτελεί μια ενδεδειγμένη μέθοδο για μικρές εγκαταστάσεις. Για τον λόγο αυτό, προτείνεται η κατασκευή μιας εγκατάστασης κομποστοποίησης, με σκοπό την παραγωγή compost, το οποίο δύναται να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό σε γεωργικές εκτάσεις. Στον πίνακα που ακολουθεί, παρατίθεται συνοπτική παρουσίαση του προτεινόμενου σεναρίου, ενώ στη συνέχεια, περιγράφεται αναλυτικά η μέθοδος της κομποστοποίησης που προτείνεται στο σενάριο 2.

Πίνακας 8. Συνοπτική παρουσίαση του δεύτερου σεναρίου.

Σενάριο 2: Κομποστοποίηση

250.000€

ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΟ ΚΟΣΤΟΣ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

8.000€

ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΟ ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

~ 1 στρέμμα

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ

Στόχος Σεναρίου: Παραγωγή compost για εφαρμογή στη γεωργία.

Το παραγόμενο προϊόν είναι Compost το οποίο δύναται να διατεθεί για γεωργική χρήση.

Πλεονεκτήματα :

- Υψηλός βαθμός υγειονομοποίησης.
- Μεγάλος βαθμός απαλλαγής από οσμές.
- Πολύ καλά ποιοτικά χαρακτηριστικά.

Μειονεκτήματα:

- Αμφιβολίες για την αποδοχή του τελικού προϊόντος από τους αγρότες, οι οποίες μπορούν να μετριαστούν.
- Απαιτήση επιπλέον χώρου για την αποθήκευση.

Πιο συγκεκριμένα, στο σενάριο αυτό, προτείνεται η κατασκευή μονάδας ανοιχτής διάταξης κομποστοποίησης (υπαίθριο ή σε στεγασμένο χώρο). Για τη μείωση της υγρασίας, την αύξηση του πορώδους και τη βελτίωση του λόγου C/N, απαιτείται η προσθήκη πρόσθετου υλικού (bulking agent), θεωρώντας αναλογία διογκωτικού υλικού 1:2. Επομένως, ο σχεδιασμός πραγματοποιείται για περίπου 3200 t. Το μείγμα υλός – διογκωτικού προτείνεται να διαμορφωθεί σε σειράδια με πλάτος 4 m, ύψος 2 m και απόσταση μεταξύ τους 0,5 m. Θεωρώντας ότι ο χρονικός κύκλος της κάθε παρτίδας είναι 60 ημέρες, προκύπτει ότι το απαιτούμενο εμβαδό για την επεξεργασία είναι, περίπου, μισό στρέμμα. Η τελική περιεκτικότητα στερεών προβλέπεται να είναι 60 % TS. Το συνολικό κόστος επένδυσης διαμορφώνεται, περίπου, στις **250.000,00 €**, ενώ το κόστος λειτουργίας και συντήρησης, σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, ανέρχεται στα 30 €/t στερεών και στην προκειμένη περίπτωση εκτιμάται ότι θα είναι, περίπου, **8.000,00 €** σε ετήσια βάση.

Το παραγόμενο από την κομποστοποίηση προϊόν, δύναται να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό από τους αγρότες της περιοχής. Επίσης, το compost μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε υποβαθμισμένους χώρους των νησιωτικών περιοχών, εφόσον η ζήτηση του είναι μικρότερη από τον ρυθμό παραγωγής.

Μεταξύ των σημαντικότερων πλεονεκτημάτων εφαρμογής της εν λόγω μεθόδου αποτελεί το γεγονός ότι επιτυγχάνεται ικανοποιητικός βαθμός υγειονομοποίησης του

τελικού προϊόντος, μεγάλος βαθμός απαλλαγής από οσμές, μειωμένη ποσότητα νερού με ποσοστό στερεών, που ανέρχεται έως και 60% και ικανοποιητική υφή του προϊόντος. Παράλληλα, το κόστος κατασκευής, καθώς και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι χαμηλά σε σχέση με άλλες μονάδες. Τέλος, αποτελεί μια μέθοδο που έχει εφαρμοστεί αποτελεσματικά σε μικρής και μεγάλης κλίμακας, εφαρμογές στην Ευρώπη. Ωστόσο, όπως αναφέρθηκε παραπάνω υπάρχει απαίτηση για προσθήκη διογκωτικού υλικού (πριονίδι, άχυρο κ.λπ.) και ανάγκη διαμόρφωσης χώρων προσωρινής αποθήκευσης των πρόσθετων υλικών και του τελικού προϊόντος. Τέλος, ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στην αποφυγή σχηματισμού οσμών, λόγω της ελλιπούς ανάδευσης.

5.2.1.3 Σενάριο 3: Ηλιακή ξήρανση

Στόχος σεναρίου: Χρήση του υγειοποιημένου προϊόντος ως εδαφοβελτιωτικό.

Το τρίτο εναλλακτικό σενάριο περιλαμβάνει την κατασκευή μονάδας ηλιακής ξήρανσης για τη διαχείριση της παραγόμενης ιλύος από τις νησιωτικές Μονάδες Καθαρισμού υγρών Αποβλήτων, με σκοπό η ξηραμένη ιλύς να έχει συγκέντρωση στερεών 70% και να είναι σταθεροποιημένη και υγειοποιημένη. Το παραγόμενο προϊόν, δύναται να διατεθεί στη γεωργία και εναλλακτικά, για την αποκατάσταση υποβαθμισμένων χώρων. Στον πίνακα που ακολουθεί, παρατίθεται συνοπτική παρουσίαση του προτεινόμενου σεναρίου, ενώ στη συνέχεια περιγράφεται αναλυτικά η μέθοδος της ηλιακής ξήρανσης.

Πίνακας 9. Συνοπτική παρουσίαση του τρίτου σεναρίου.

Σενάριο 3: Ηλιακή ξήρανση

250.000€

ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΟ ΚΟΣΤΟΣ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

35.000 €

ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΟ ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

~ 1,5 στρέμμα

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ

Στόχος Σεναρίου: Χρήση του υγειονοποημένου προϊόντος ως εδαφοβελτιωτικό σε εφαρμογές στη γεωργία και ως υλικό αποκατάστασης ρυπασμένων χώρων.

Πλεονεκτήματα :

- Μείωση της υγρασίας, έως και 80%.
- Υγειονοποίηση της ιλύος σε ικανοποιητικό βαθμό.
- Μέθοδος που μπορεί να εφαρμοστεί με επιτυχία σε χώρες με μεγάλη ηλιοφάνεια.

Μειονεκτήματα:

- Απαιτήση μεγάλων εκτάσεων.
- Περιορισμένη αποδοχή του προϊόντος στη γεωργία.
- Δεν υπάρχει δυνατότητα καύσης της ιλύος σε τσιμεντοβιομηχανίες.

Για την εφαρμογή του προτεινόμενου σεναρίου, προτείνεται ο θάλαμος ξήρανσης να είναι τύπου θερμοκηπίου, με ενδεικτική επιφάνεια 950 m², λαμβάνονται υπόψη ότι οι συνήθεις διαστάσεις των θερμοκηπίων είναι πλάτους 12,5 m, μήκους 76 m και ύψους 4,5 m. Ο σκελετός του θερμοκηπίου δύναται να είναι από ανοξείδωτο ατσάλι, ενώ ως κάλυμμα χρησιμοποιείται διαστρωματικό πολυανθρακικό κάλυμμα (PC – Double Skin), το οποίο έχει πολύ καλά θερμομονωτικά χαρακτηριστικά. Ο εξοπλισμός του θερμοκηπίου περιλαμβάνει το σύστημα αερισμού, το σύστημα ρύθμισης της σχετικής υγρασίας του χώρου και το σύστημα θέρμανσης. Το σύστημα αερισμού αποτελείται από μηχανικά κινούμενα πτερύγια οροφής. Επίσης, εντός του θερμοκηπίου δύναται να είναι τοποθετημένοι ανεμιστήρες, με τέτοιο τρόπο, ώστε να δημιουργείται ρεύμα αέρος πάνω από ολόκληρη την επιφάνεια της ιλύος, αφαιρώντας το στρώμα υγρασίας από την επιφάνειά της. Ακόμα, σε χαμηλό μέρος των τοιχίων του θερμοκηπίου υπάρχουν οπές, οι οποίες ανοίγουν και κλείνουν αυτόματα, ώστε να εισέρχεται φρέσκος αέρας. Η θέρμανση της ιλύος στο προτεινόμενο σενάριο, βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, ενώ δεν θεωρείται σκόπιμο να εγκατασταθεί δευτερεύουσα μονάδα θέρμανσης.

Η ανάμιξη του στρώματος ιλύος γίνεται με τη χρήση οριζόντιου τυμπάνου με περιστρεφόμενα ξέστρα. Ο άξονας του τυμπάνου προτείνεται να είναι τοποθετημένος πάνω σε σύστημα κίνησης, ώστε να πραγματοποιείται η αναμόχλευση κατά μήκος του θερμοκηπίου. Το επιθυμητό ύψος του στρώματος της

υλός είναι μικρότερο από 30 cm. Για την ηλιακή ξήρανση 1300 t υλός θεωρείται ότι απαιτείται ένα θερμοκήπιο, επομένως, η απαιτούμενη επιφάνεια είναι ενδεικτικά, 950 m². Η ξηραμένη υλός αναμένεται να έχει συγκέντρωση στερεών 70%, επομένως, θα παράγονται 304 t υλός/έτος. Η ξηραμένη υλός θα συλλέγεται και θα συσκευάζεται σε σάκους, οι οποίοι θα αποθηκεύονται σε κατάλληλα προφυλαγμένο χώρο εντός της εγκατάστασης. Ο χώρος θα πρέπει να είναι επαρκής, ώστε να καθίσταται εφικτή η αποθήκευση του προϊόντος για διάστημα 6 μηνών, δηλαδή 160 m³. Θεωρώντας ότι το βάθος της δεξαμενής αποθήκευσης θα είναι 3 m, η απαιτούμενη επιφάνεια είναι 53 m². Επιπρόσθετα, εκτός από τις προαναφερόμενες εκτάσεις θεωρείται ότι απαιτούνται, επιπλέον, 500 m² για την ικανοποίηση των υπολοίπων απαιτήσεων της μονάδας. Επομένως, η συνολική επιφάνεια που απαιτείται ανέρχεται στα **1,55 στρέμματα**. Το κόστος κατασκευής μονάδας ηλιακής ξήρανσης για τη δεδομένη ποσότητα παραγόμενης υλός, υπολογίζεται στις **250.000,000 €** ενώ, το κόστος λειτουργίας και συντήρησης, αναμένεται σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, να είναι 140 €/t ξηρής μάζας στερεών της υλός, δηλαδή, περίπου **35.000,00 €** σε ετήσια βάση.

Συνοπτικά, μέσα από την εφαρμογή της μεθόδου της ηλιακής ξήρανσης επιτυγχάνεται ικανοποιητικός βαθμός απομάκρυνσης της υγρασίας, έως και 80% σε κάποιες περιπτώσεις, γεγονός που υποδηλώνει ότι ο προς διαχείριση όγκος μειώνεται δραστικά. Η απόδοση της ηλιακής ξήρανσης είναι ανάλογη της ηλιοφάνειας της περιοχής εφαρμογής. Στον ελλαδικό χώρο και ιδιαίτερα στις νησιωτικές περιοχές, όπου υπάρχει ηλιοφάνεια 8 από τους 12 μήνες του έτους, η ηλιακή ξήρανση μπορεί να έχει υψηλό βαθμό απόδοσης. Επίσης, λόγω της ανάπτυξης θερμοκρασίας μεγαλύτερης των 50°C, η υλός υγειονομοποιείται και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό. Παράλληλα, η εγκατάσταση δεν περιέχει πολύπλοκο μηχανολογικό εξοπλισμό, χωρίς βέβαια να αποτελεί μια πάρα πολύ απλή διαδικασία. Συγκεκριμένα, ο έλεγχος μπορεί να πραγματοποιηθεί από κεντρικό PLC σύστημα, το οποίο παρακολουθεί όλες τις παραμέτρους λειτουργίας των θερμοκηπίων. Τόσο το κόστος επένδυσης, όσο και το κόστος συντήρησης, είναι συγκριτικά μικρότερο από άλλες μεθόδους διαχείρισης της υλός, όπως η θερμική ξήρανση.

Ωστόσο, η απαιτούμενη έκταση των μονάδων ηλιακής ξήρανσης είναι ιδιαίτερα μεγάλη, δημιουργώντας προβλήματα, αφενός στην εύρεση διαθέσιμου χώρου και αφετέρου στην αγορά του. Επιπλέον, η συγκέντρωση των στερεών δεν ξεπερνά το 80% στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, περιορίζοντας την αξιοποίησή της, με συγκεκριμένες εφαρμογές στη γεωργία και στην αποκατάσταση τραυματισμένων χώρων. Επίσης, λόγω της περιοδικής χρήσης εδαφοβελτιωτικών, δημιουργείται απαίτηση ακόμα μεγαλύτερων εκτάσεων, ώστε να διαμορφωθούν χώροι αποθήκευσης της ξηραμένης υλός. Τέλος, η ενδεχόμενη δυσκολία διοχέτευσης του προϊόντος στην αγορά, επισκιάζει τη δυνατότητα επίτευξης ενός τέτοιου εγχειρήματος. Ειδικότερα, η ξηραμένη υλός, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό, ωστόσο, δημιουργείται προβληματισμός ως προς την εύρεση

«Ανάλυση βιωσιμότητας μέσω πολυκριτηριακής ανάλυσης εναλλακτικών δυνατοτήτων και τεχνολογιών διαχείρισης υλός στην Ελλάδα» | Διπλωματική εργασία- Τσόμπος Αλέξανδρος

κατάλληλου αποδέκτη, καθώς το παραγόμενο προϊόν θα πρέπει να μπορεί να ανταγωνιστεί τα ποιοτικά χαρακτηριστικά άλλων εδαφοβελτιωτικών, όπως για παράδειγμα του compost. Κάτι τέτοιο φαίνεται να είναι δύσκολο, αφού το compost έχει, τις περισσότερες φορές, καλύτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά.

6. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Στο παρόν κεφάλαιο πραγματοποιείται η ανάπτυξη της πολυκριτηριακής ανάλυσης και για τις δύο μονάδες διαχείρισης υλός. Ειδικότερα, παρουσιάζονται αναλυτικά τα κριτήρια, περιβαλλοντικά, τεχνικά, οικονομικά, χωροταξικά και νομοθετικά, με βάση τα οποία αξιολογούνται τα ανωτέρω σενάρια και παρατίθενται τα αποτελέσματα της πολυκριτηριακής ανάλυσης. Τέλος, η μεθοδολογία ανάπτυξης και εφαρμογής της πολυκριτηριακής ανάλυσης παρουσιάζεται, αναλυτικά, στο Παράρτημα 3.

Αναλυτικότερα, από την ανάλυση των προτεινόμενων σεναρίων καθίσταται σαφές ότι επιλογή ενός ολοκληρωμένου σχεδίου διαχείρισης της υλός είναι ένα πολυπαραγοντικό ζήτημα για το οποίο θα πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλές και διαφορετικές παράμετροι. Η επιλογή της βέλτιστης τεχνολογίας είναι ιδιαίτερα απαιτητική διαδικασία και καμία μέθοδος δεν είναι αξιωματικά αποδεκτή ή απορριπτέα, καθώς κάθε περίπτωση είναι διαφορετική και ιδιόζουσα και σαν τέτοια πρέπει να εξετάζεται. Συνεπώς, η βέλτιστη κάθε φορά λύση προκύπτει από μια πολυπαραμετρική εξίσωση, με μεταβαλλόμενους συντελεστές, που αντικατοπτρίζουν τις τοπικές και ευρύτερες συνθήκες, μέσα στις οποίες εντάσσονται οι υπό μελέτη μονάδες διαχείρισης υλός.

Ο σχεδιασμός διαχείρισης της υλός πρέπει να είναι ολοκληρωμένος, δηλαδή να αφορά σε όλα τα στάδια επεξεργασίας και διάθεσης, εξετάζοντας ρεαλιστικά σενάρια και εφαρμόσιμες λύσεις. Συνεπώς, η εξεύρεση, αλλά και συναίνεση των οποιονδήποτε τελικών αποδεκτών των παραγόμενων προϊόντων είναι πρωταρχικής σημασίας. Από την άλλη πλευρά, η επεξεργασία της υλός είναι μια δυναμική διεργασία, όπου τα δεδομένα μπορούν να αλλάξουν και επομένως, απαιτείται, συνεχής εξέταση όλων των παραμέτρων για τη δυνατότητα υλοποίησης των εναλλακτικών σεναρίων. Για την προσπέλαση του συγκεκριμένου προβλήματος κρίθηκε σκόπιμη η εφαρμογή πολυκριτηριακής ανάλυσης για την αξιολόγηση των προτεινόμενων σεναρίων, στοχεύοντας στην επιλογή της βέλτιστης μεθόδου διαχείρισης της υλός, μέσω της, κατά το δυνατόν, εφαρμογής αντικειμενικών κριτηρίων.

Οι εναλλακτικοί τρόποι διάθεσης των παραπροϊόντων επεξεργασίας θα πρέπει να εξετάζονται σε συνδυασμό με την απαιτούμενη, κατά περίπτωση, επεξεργασία των προϊόντων αυτών και στην αξιολόγηση θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι επιπτώσεις από την επεξεργασία, τη μεταφορά και τη διάθεση. Επομένως, τα κριτήρια που τίθενται, για τη λήψη αποφάσεων, ως προς τη διαχείριση της υλός και την αξιολόγηση των πιθανών σεναρίων είναι:

- Περιβαλλοντικά,
- Τεχνικά,
- Οικονομικά,
- Χωροταξικά και
- Νομοθετικά.

Συνοπτικά, θα μπορούσαμε να πούμε ότι βέλτιστη είναι η διαθέσιμη επιλογή που εξασφαλίζει τη μεγαλύτερη περιβαλλοντική προστασία και την ευρύτερη κοινωνική αποδοχή με λογικό κόστος. Στο σημείο αυτό, αξιολογούνται τα εναλλακτικά σενάρια με βάση τα κριτήρια που έχουν τεθεί. Κάθε σενάριο βαθμολογείται με κλίμακα 1 – 5, με το 1 να αποτελεί το κάτω άκρο της βαθμολογικής κλίμακας και το 5 το άνω άκρο. Επίσης, καθώς κάθε δείκτης δεν παρουσιάζει την ίδια σημαντικότητα με τους υπολοίπους, κρίθηκε σκόπιμο να προσδιοριστεί η βαρύτητά του, με αποτέλεσμα, η διαμόρφωση ανισοβαρών παρατηρήσεων να οδηγήσει στη ρεαλιστική παρατήρηση, αξιολόγηση και επακόλουθα σύγκριση των εναλλακτικών σεναρίων.

6.1 Μονάδα Διαχείρισης Ιλός για Ηπειρωτικές Περιοχές

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται, αναλυτικά, τα περιβαλλοντικά, τεχνικά, οικονομικά, χωροταξικά και νομοθετικά κριτήρια, σύμφωνα με τα οποία εφαρμόστηκε η μέθοδος της πολυκριτηριακής ανάλυσης, με σκοπό την αξιολόγηση των προτεινόμενων σεναρίων διαχείρισης και χωροθέτησης της μονάδας ιλός, η οποία αποσκοπεί στην επεξεργασία της ιλός που παράγεται στις ΜΚΑ που βρίσκονται στην ηπειρωτική χώρα.

6.1.1 Ταξινόμηση και Ανάλυση Κριτηρίων Επεξεργασίας - Διάθεσης ιλός

6.1.1.1 Περιβαλλοντικά Κριτήρια

Τα περιβαλλοντικά κριτήρια λαμβάνουν υπόψη τις πιθανές επιπτώσεις από την κατασκευή και λειτουργία των μονάδων επεξεργασίας της ιλός, στο εγγύς και ευρύτερο περιβάλλον. Η συγκεκριμένη κατηγορία, περιλαμβάνει τα κάτωθι κριτήρια:

- Ποιοτικά χαρακτηριστικά τελικού προϊόντος
- Αέριες εκπομπές – οσμές
- Δυνατότητα συν-επεξεργασίας με άλλα προϊόντα

Ποιοτικά χαρακτηριστικά τελικού προϊόντος

Η ποιότητα του τελικού προϊόντος (φυσικοχημικές ιδιότητες), αναμφισβήτητα, αποτελεί μια εκ των σημαντικότερων παραμέτρων για την αξιολόγηση των εναλλακτικών σεναρίων. Ουσιαστικά, ο όρος ποιοτικά χαρακτηριστικά, αναφέρεται στις φυσικοχημικές ιδιότητες του εκάστοτε προϊόντος και στις αναμενόμενες επιπτώσεις που θεωρείται ότι θα παρατηρηθούν.

Πιο συγκεκριμένα, το compost που παράγεται από την κομποστοποίηση, του πρώτου σεναρίου, βαθμολογείται με την υψηλότερη βαθμολογία 5, συγκριτικά με τα προϊόντα των υπολοίπων μεθόδων. Ο λόγος είναι ότι η εφαρμογή της κομποστοποίησης οδηγεί στη διαμόρφωση ενός προϊόντος το οποίο είναι σταθεροποιημένο, υγειονοποιημένο και χαρακτηρίζεται από ικανοποιητικό λόγο C/N. Ακόμη, λόγω της μίξης της ιλός με άλλα αγροτοβιομηχανικά απόβλητα, κατά τη χώνευση, μειώνεται αναλογικά η συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων, οδηγώντας στην ασφαλή διάθεση του compost σε εφαρμογές στη γεωργία. Παράλληλα, το παραγόμενο βιοαέριο, λόγω της ανάμιξης με αγροτοβιομηχανικά και κτηνοτροφικά

απόβλητα, θα έχει την απαιτούμενη θερμογόνο δύναμη για την παραγωγή ενέργειας 1 MW.

Η θερμικά ξηραμένη ιλύς, που παράγεται στο δεύτερο σενάριο, βαθμολογείται με (3), καθώς παρότι παρουσιάζει ιδιαίτερα χαμηλή υγρασία (10%), η σχετικά υψηλή συγκέντρωση σε βαρέα μέταλλα, καθιστά την ξηραμένη ιλύ, πολλές φορές, επικίνδυνη ως προς την διάθεσή της, τόσο σε γεωργικές εφαρμογές, όσο και σε κλιβάνους καύσης βιομηχανιών παραγωγής τσιμέντου. Εν συνεχεία, η ηλιακά ξηραμένη ιλύς, που αποτελεί το παραγόμενο προϊόν του τρίτου σεναρίου, βαθμολογείται με (2). Όπως και με τη θερμικά ξηραμένη ιλύ, δεν λύνεται το πρόβλημα της συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων. Ακόμη, τόσο η ηλιακά επεξεργασμένη ιλύς, όσο και το compost κατατάσσονται στην κατηγορία των εδαφοβελτιωτικών, όμως τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά διαφέρουν πολύ (λόγος C/N, συγκέντρωση βαρέων μετάλλων κ.λπ.). Ο λόγος που το δεύτερο σενάριο λαμβάνει μεγαλύτερη βαθμολογία από το τρίτο, είναι ότι η ηλιακά ξηραμένη ιλύς, δεν μπορεί να καλύψει τις προδιαγραφές, όσον αφορά στην επιθυμητή υγρασία, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κλιβάνους καύσης βιομηχανικών παραγωγής τσιμέντου.

Αναφορικά με τα προϊόντα που παράγονται κατά την πυρόλυση της ιλός, δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία, ώστε να μπορεί να οριστεί μια βάση αξιολόγησης. Βέβαια, υπάρχουν ενθαρρυντικά αποτελέσματα, ως προς τα ποιοτικά χαρακτηριστικά, σε επίπεδο πιλοτικών εφαρμογών, καθώς τα βαρέα μέταλλα στο στερεό υπόλειμμα (biochar) παρουσιάζουν μεγάλη σταθερότητα και εξαλείφουν τον κίνδυνο διαρροής στο υπόστρωμα και στα υπόγεια ύδατα. Συμπερασματικά, κρίνεται ότι απαιτείται μακροσκοπική παρατήρηση των επιπτώσεων (θετικών και αρνητικών) που έχει η διάθεσή του στο έδαφος, γεγονός, όμως, που απαιτεί χρόνο. Συνεπώς, το σενάριο βαθμολογείται με (1). Τα ανωτέρω συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 10. Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος.

ΣΕΝΑΡΙΑ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ
Σενάριο 1: Αναερόβια συγχώνευση - κομποστοποίηση	5
Σενάριο 2: Θερμική ξήρανση	3
Σενάριο 3: Ηλιακή ξήρανση	2
Σενάριο 4: Ξήρανση - Πυρόλυση	1

Αέριες εκπομπές – οσμές

Με τον δείκτη αέριες εκπομπές – οσμές αξιολογείται η απόδοση της διαχείρισης των παραγόμενων αερίων και οσμών σε κάθε εναλλακτικό σενάριο. Το πρώτο σενάριο βαθμολογείται με (4), καθώς κατά την αναερόβια χώνευση δεν υπάρχει ανεξέλεγκτη διαφυγή αερίων στο περιβάλλον, ενώ κατά την κομποστοποίηση δεν αναμένεται να

υπάρξει διαφυγή επικίνδυνων αερίων. Επίσης, κατά την κομποστοποίηση η θερμοκρασία δεν είναι υψηλή, ώστε να εκλύονται επιβλαβή αέρια. Επίσης, ο συνεχής αερισμός και η ανάμιξη οδηγεί στην αποφυγή σχηματισμού ανοξικών ζωνών και επακόλουθα, στην αποφυγή έκλυσης μεθανίου, το οποίο είναι 24 φορές πιο επιβλαβές από το διοξείδιο του άνθρακα. Οι οσμές που παράγονται κατά την αναερόβια χώνευση, είναι σημαντικά περιορισμένες, ενώ αναμένεται να υπάρξουν οσμές κατά τη διάρκεια και μετά την κομποστοποίηση.

Η θερμική ξήρανση που περιέχεται στο δεύτερο εναλλακτικό σενάριο βαθμολογείται με (3), καθώς είναι πιθανό να υπάρξει σημαντική ποσότητα διαφυγής σκόνης στην ατμόσφαιρα, ενώ η ηλιακή ξήρανση που προτείνεται στο τρίτο σενάριο χαρακτηρίζεται από την υψηλή έκλυση οσμών, επομένως βαθμολογείται με 3. Τέλος, η πυρόλυση, που προτείνεται στο τέταρτο σενάριο, συμπεριλαμβάνει απαραίτητως σύστημα διαχείρισης των απαερίων, καθώς και των καυσαερίων από τη θέρμανση του πυρολυτικού κλιβάνου. Ωστόσο, είναι υπαρκτός ο κίνδυνος μερικής διαφυγής ορισμένων επιβλαβών αερίων, κατά την επεξεργασία τους, επομένως το σενάριο βαθμολογείται με (2). Τα ανωτέρω συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 11. Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση τις αέριες εκπομπές κατά την εφαρμογή της κάθε μεθόδου.

ΣΕΝΑΡΙΑ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ
Σενάριο 1: Αναερόβια συγχώνευση - κομποστοποίηση	4
Σενάριο 2: Θερμική ξήρανση	3
Σενάριο 3: Ηλιακή ξήρανση	3
Σενάριο 4: Ξήρανση - Πυρόλυση	2

Δυνατότητα συν-επεξεργασίας με άλλα προϊόντα

Το κριτήριο αυτό εκφράζει τη δυνατότητα των εναλλακτικών σεναρίων να επεξεργάζονται μαζί και απόβλητα άλλης προέλευσης. Εκτός του πρώτου σεναρίου, το οποίο βαθμολογείται με (5), τα υπόλοιπα σενάρια δεν δύναται να συνδυάσουν την συν-επεξεργασία της ιλός με άλλα απόβλητα. Επομένως, βαθμολογούνται με (1).

Πίνακας 12. Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση τη δυνατότητα συν-επεξεργασίας με άλλα προϊόντα.

ΣΕΝΑΡΙΑ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ
Σενάριο 1: Αναερόβια συγχώνευση - κομποστοποίηση	5
Σενάριο 2: Θερμική ξήρανση	1
Σενάριο 3: Ηλιακή ξήρανση	1

6.1.1.2 Τεχνικά κριτήρια

Οι μέθοδοι επεξεργασίας και διάθεσης της υλός, συγκρίνονται μεταξύ τους ως προς:

- την ευελιξία σε μελλοντικές μεταβολές ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών εισερχόμενης υλός
- τον βαθμό τεχνολογικής ωριμότητας / προγενέστερη εμπειρία, και
- την απαίτηση εξειδικευμένου προσωπικού

Ευελιξία σε μελλοντικές μεταβολές ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών εισερχόμενης υλός

Σημαντικό κριτήριο στην επιλογή μεταξύ των εναλλακτικών σεναρίων, είναι η δυνατότητα του εκάστοτε συστήματος να διατηρεί τα επιθυμητά χαρακτηριστικά των παραγόμενων προϊόντων, σε περίπτωση, όπου μελλοντικά υπάρξει διακύμανση των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών των προϊόντων εισόδου. Αναφορικά με το πρώτο σενάριο, η αναερόβια χώνευση είναι μια ιδιαίτερα ευαίσθητη διεργασία και τυχόν διαφοροποιήσεις δύναται να οδηγήσουν στη μείωση ή ακόμα και την παύση των διεργασιών. Επίσης, θα πρέπει να τονιστεί ότι ιδιαίτερο πρόβλημα στην αναερόβια χώνευση μπορεί να παρουσιαστεί σε περίπτωση όπου δεν εξασφαλιστούν, εγκαίρως, όλες οι απαραίτητες ποσότητες προϊόντων, που χρησιμοποιούνται κατά τη χώνευση, επομένως το πρώτο σενάριο βαθμολογείται με (2).

Επιπρόσθετα, η θερμική ξήρανση, του δεύτερου σεναρίου, μπορεί να οδηγηθεί σε μείωση της απόδοσής της, σε περίπτωση όπου η συγκέντρωση της εισερχόμενης υγρασίας είναι μεγαλύτερη από την προβλεπόμενη, πέραν όμως τούτου δεν αναμένεται να επηρεαστεί η διαδικασία με άλλον τρόπο. Ο βαθμός για το δεύτερο σενάριο είναι (4). Ομοίως με το δεύτερο σενάριο, το τρίτο και τέταρτο σενάριο βαθμολογούνται με (4) για τους ίδιους λόγους. Τα παραπάνω συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 13. Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση την ευελιξία των συστημάτων σε μελλοντικές μεταβολές ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών εισερχόμενης υλός

ΣΕΝΑΡΙΑ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ
Σενάριο 1: Αναερόβια συγχώνευση - κομποστοποίηση	2
Σενάριο 2: Θερμική ξήρανση	4
Σενάριο 3: Ηλιακή ξήρανση	4
Σενάριο 4: Ξήρανση - Πυρόλυση	4

Βαθμός τεχνολογικής ωριμότητας / προγενέστερη εμπειρία

Κάποιες μέθοδοι επεξεργασίας υλός έχουν εφαρμοστεί ευρέως ανά τον κόσμο, οδηγώντας στη βελτιστοποίηση των τεχνικών χαρακτηριστικών και των λειτουργικών παραμέτρων. Μέσω του παρόντος δείκτη εξετάζεται η τεχνολογική ωριμότητα της εκάστοτε προτεινόμενης εναλλακτικής μεθόδου. Αναλυτικότερα, η αναερόβια συγχώνευση και η κομποστοποίηση έχουν εφαρμοστεί τόσο στην Ευρώπη, όσο και στη Βόρεια Αμερική, ενώ υπάρχει και ένας ολοένα αυξανόμενος αριθμός εφαρμογών στην Ελλάδα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι συνηθίζεται κατά τη συγχώνευση να χρησιμοποιούνται ως πρώτες ύλες διάφορα παραπροϊόντα της αγροτοβιομηχανίας και κτηνοτροφίας και όχι υλός. Η υλός χρησιμοποιείται, κυρίως, σε εφαρμογές εντός εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων, με στόχο τη σταθεροποίηση της και όχι τη μεγιστοποίηση της παραγωγής του βιοαερίου. Στην προκειμένη περίπτωση, προτείνεται ο συνδυασμός αγροτοβιομηχανικών αποβλήτων και υλός. Για το λόγο αυτό, το πρώτο σενάριο βαθμολογείται με (4).

Το δεύτερο σενάριο έχει εφαρμοστεί με μεγάλη επιτυχία και για μεγάλο χρονικό διάστημα στην Ευρώπη και κυρίως στη Βόρεια Αμερική και για αυτό βαθμολογείται με (5). Σε μικρότερο, όχι όμως σημαντικό βαθμό, έχει εφαρμοστεί και η μέθοδος των θερμοκηπίων του τρίτου σεναρίου. Τα τελευταία χρόνια, εμφανίζονται παραλλαγές της μεθόδου, που οδηγούν στη σταδιακή αύξηση της απόδοσής της, με αποτέλεσμα ο βαθμός τεχνολογικής ωριμότητας του τρίτου σεναρίου να είναι (3). Τέλος, αναφορικά με το τέταρτο σενάριο, υπάρχουν εφαρμογές, όπου πραγματοποιείται πυρόλυση αστικών απορριμμάτων, ωστόσο, δεν υπάρχουν αρκετές εφαρμογές μεγάλης κλίμακας με τη χρήση υλός ως βασική ύλη. Σίγουρα η μέθοδος της πυρόλυσης της υλός είναι πολλά υποσχόμενη, ωστόσο, απαιτείται περισσότερη έρευνα. Για τον λόγο αυτό, ο βαθμός του τέταρτου σεναρίου είναι (1). Συνοπτικά, τα αποτελέσματα των σεναρίων ως προς τον βαθμό τεχνολογικής τους ωριμότητας συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 14. Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση το βαθμό τεχνολογικής ωριμότητας και προγενέστερης εμπειρίας.

ΣΕΝΑΡΙΑ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ
Σενάριο 1: Αναερόβια συγχώνευση - κομποστοποίηση	4
Σενάριο 2: Θερμική ξήρανση	5
Σενάριο 3: Ηλιακή ξήρανση	3
Σενάριο 4: Ξήρανση - Πυρόλυση	1

Απαίτηση εξειδικευμένου προσωπικού

Στο πλαίσιο της λειτουργίας των μονάδων διαχείρισης υλός, απαιτείται η απασχόληση προσωπικού, το οποίο θα έχει ως αρμοδιότητα την εποπτεία των διαδικασιών και όπου απαιτείται, τον χειρισμό των μηχανημάτων. Ωστόσο, κάθε μέθοδος διαφέρει λίγο ή πολύ, ως προς την εξειδίκευση και την επιστημονική κατάρτιση που θα πρέπει να διαθέτει το προσωπικό. Συνεπώς, τα σενάρια ένα, δύο και τέσσερα εμπεριέχουν σε μεγάλο βαθμό ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό, ο οποίος χρήζει εξειδικευμένης εποπτείας. Επίσης, η αυτοματοποίηση που έχει εφαρμοστεί σε κάθε μονάδα καθορίζει το απαιτούμενο προσωπικό. Εκτιμάται ότι για τη λειτουργία της εγκατάστασης του πρώτου σεναρίου απαιτείται ένα άτομο που θα είναι ο λειτουργός της εγκατάστασης και θα έχει εξειδίκευση επί του αντικειμένου (Ηλεκτρολόγος μηχανικός / Χημικός μηχανικός), καθώς και 2 άτομα χωρίς εξειδίκευση. Ενδεικτική αρμοδιότητά τους είναι ο συντονισμός της φόρτωσης – εκφόρτωσης των πρώτων υλών, η πλήση των οχημάτων μεταφοράς των υλών και η επιτόπια επίβλεψη των εγκαταστάσεων. Για το λόγο αυτό, το σενάριο ένα βαθμολογείται με (2).

Αναφορικά με το δεύτερο σενάριο, απαιτείται 1 εξειδικευμένο άτομο που θα είναι ο υπεύθυνος της εγκατάστασης και 1 άτομο χωρίς εξειδίκευση, το οποίο θα είναι υπεύθυνο για την παραλαβή των προς επεξεργασία προϊόντων και τη διοχέτευση των θερμικά επεξεργασμένων προϊόντων, λαμβάνοντας το βαθμό (3). Για το τρίτο σενάριο (ηλιακή ξήρανση) απαιτείται σαφώς λιγότερος ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός. Η διαχείριση του συστήματος μπορεί να επιτευχθεί από μια κεντρική μονάδα, χωρίς να απαιτούνται ιδιαίτερα εξειδικευμένες γνώσεις από το χειριστή. Επίσης, η ύπαρξη δεύτερου ατόμου δεν κρίνεται αναγκαία. Το τρίτο σενάριο βαθμολογείται με (4).

Όσον αφορά στο τέταρτο σενάριο, εκτιμάται ότι οι απαιτήσεις σε προσωπικό θα είναι ίδιες με αυτές του δεύτερου σεναρίου, καθώς πέρα από τη διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών της διαδικασίας επεξεργασίας, εμφανίζει μεγάλη συνάφεια ως προς τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό και επακόλουθα, ως προς τις εξειδικευμένες και μη απαιτήσεις. Επομένως, εκτιμάται ότι θα χρειάζονται 3 άτομα, ένα εκ των οποίων θα έχει εξειδικευμένες γνώσεις. Το τέταρτο σενάριο βαθμολογείται με (3). Τέλος, στον πίνακα που ακολουθεί απεικονίζεται η βαθμολόγηση των εναλλακτικών σεναρίων με βάση την απαίτηση σε εξειδικευμένο προσωπικό.

Πίνακας 15. Βαθμολόγηση σεναρίων ως προς την απαίτηση εξειδικευμένου προσωπικού.

ΣΕΝΑΡΙΑ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ
Σενάριο 1: Αναερόβια συγχώνευση - κομποστοποίηση	2

Σενάριο 2: Θερμική ξήρανση	3
Σενάριο 3: Ηλιακή ξήρανση	4
Σενάριο 4: Ξήρανση - Πυρόλυση	3

6.1.1.3 Οικονομικά κριτήρια

Η θέσπιση οικονομικών κριτηρίων, στοχεύει στην αποτύπωση του οικονομικού αντίκτυπου κατασκευής της εκάστοτε μονάδας διαχείρισης υλός, μέσα από την εκτίμηση του κόστους της επένδυσης, των ετήσιων δαπανών για τη λειτουργία και συντήρηση των μονάδων, καθώς και τη διαθεσιμότητα των τελικών αποδεκτών. Συνεπώς, αξιολογούνται τα ακόλουθα κριτήρια:

- Κόστος επένδυσης
- Κόστος λειτουργίας και συντήρησης
- Διαθεσιμότητα τελικών αποδεκτών

Κόστος επένδυσης

Το κεφάλαιο που απαιτείται προκειμένου να υλοποιηθεί το εκάστοτε σενάριο, αποτελεί βασικό κριτήριο αξιολόγησης. Παρατηρείται ότι υπάρχει σημαντική διακύμανση του κεφαλαίου που απαιτείται μεταξύ των εναλλακτικών σεναρίων. Πιο συγκεκριμένα, όταν η διαχείριση της υλός βασίζεται σε ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό, απαιτείται ιδιαίτερα υψηλό κεφάλαιο επένδυσης. Ενδεικτικά, λαμβάνοντας υπόψη την απαιτούμενη δυναμικότητα της εγκατάστασης, καθώς και τη δυναμικότητα άλλων εγκαταστάσεων διαχείρισης υλός, παρατηρείται ότι το κόστος επένδυσης κυμαίνεται από 1.000.000,00 € έως 7.000.000,00 €.

Το πρώτο σενάριο περιλαμβάνει δύο μεθόδους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν αυτούσιες, χωρίς το τελικό προϊόν να έχει ικανοποιητικά ποιοτικά χαρακτηριστικά. Για τον λόγο αυτόν, κρίθηκε αναγκαίος ο συνδυασμός και των δύο μεθόδων. Τυπικά μια μονάδα παραγωγής βιοαερίου δυναμικότητας 1 MW_{el}, απαιτεί κόστος επένδυσης, περίπου, 5.000.000,00 €. Επίσης, θεωρείται ότι η δημιουργία μονάδας κομποστοποίησης κοστίζει, περίπου, 250.000,00 €. Επομένως, υπολογίζεται ότι η εφαρμογή του πρώτου σεναρίου απαιτεί συνολικά 5.250.000,00 € και για αυτό το πρώτο σενάριο βαθμολογείται με (2).

Ακόμα, το κόστος κατασκευής μονάδας θερμικής επεξεργασίας θεωρείται ότι δεν ξεπερνά τα 2.000.000,00 €. Συγκεκριμένα, το κόστος επένδυσης που απαιτείται για την κατασκευή μονάδας θερμικής ξήρανσης εκτιμάται στα 1.800.000,00 €, ενώ το αντίστοιχο κόστος για μονάδα πυρόλυσης, λόγω του πολύπλοκου εξοπλισμού και της μη ευρείας εφαρμογής, θεωρείται ότι είναι 3.000.000,00 €. Επομένως, το δεύτερο σενάριο βαθμολογούνται με (5) και τέταρτο σενάριο βαθμολογούνται με (4). Αντιθέτως, το κόστος επένδυσης για την κατασκευή μονάδας ηλιακής ξήρανσης, είναι σαφώς μικρότερο, καθώς δεν περιέχει σημαντικό ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό. Εκτιμάται ότι το κόστος επένδυσης ανέρχεται στα 3.600.000,00 €, με αποτέλεσμα η

βαθμολογία του τρίτου σεναρίου να είναι (3). Στον πίνακα που ακολουθεί απεικονίζεται η βαθμολόγηση των εναλλακτικών σεναρίων με βάση το κόστος επένδυσης.

Πίνακας 16. Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση το κόστος επένδυσης

ΣΕΝΑΡΙΑ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ
Σενάριο 1: Αναερόβια συγχώνευση - κομποστοποίηση	2
Σενάριο 2: Θερμική ξήρανση	5
Σενάριο 3: Ηλιακή ξήρανση	3
Σενάριο 4: Ξήρανση - Πυρόλυση	4

Κόστος λειτουργίας και συντήρησης

Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης αποτελεί ένα άθροισμα εξόδων, τα οποία, συνήθως, ανάγονται σε ετήσια βάση. Ενδεικτικά, το κόστος λειτουργίας και συντήρησης αποτελείται από το κόστος του προσωπικού, το κόστος συντήρησης του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού και των κτιριακών εγκαταστάσεων, το κόστος των καυσίμων που χρησιμοποιούνται και το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας. Ως κόστος λειτουργίας και συντήρησης του πρώτου σεναρίου θεωρήθηκε ότι αποτελεί το 6% του κόστους επένδυσης, ενώ λαμβάνοντας υπόψη εφαρμογές στην Ελλάδα και το ενδεικτικό ετήσιο κόστος ανά μονάδα μάζας ξηρών στερεών, πραγματοποιήθηκε η εκτίμηση του αναμενόμενου κόστους λειτουργίας και συντήρησης. Για τα σεναρία δύο, τρία και τέσσερα, το κόστος είναι 180 ευρώ/tn DS, 141 ευρώ/tn DS και 190 ευρώ/tn DS, αντίστοιχα.

Παρατηρείται ότι το κόστος λειτουργίας και συντήρησης των μονάδων του κάθε σεναρίου δεν παρουσιάζει ιδιαίτερη διαφορά. Αναλυτικότερα, εκτιμάται ότι το κόστος λειτουργίας του πρώτου σεναρίου είναι 320.000,00 €, του δεύτερου σεναρίου 396.000,00 €, του τρίτου 310.000,00 € και του τέταρτου 418.000,00 €. Η κλίμακα βαθμολόγησης του κριτηρίου αποτυπώνεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 17. Κλίμακα βαθμολόγησης απόδοσης σεναρίων ως προς το κόστος λειτουργίας και συντήρησης.

ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ	ΚΟΣΤΟΣ (€)
1	> 500.000,00
2	400.000,00 - 500.000,00
3	350.000,00 - 400.000,00
4	300.000,00 - 350.000,00

5

250.000,00 - 300.000,00

Συμπερασματικά, η βαθμολογία του πρώτου σεναρίου είναι 4, του δεύτερου σεναρίου 3, του τρίτου 5 και του τέταρτου σεναρίου με 3, όπως αποτυπώνεται και στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 18. Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση το κόστος λειτουργίας και συντήρησης.

ΣΕΝΑΡΙΑ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ
Σενάριο 1: Αναερόβια συγχώνευση - κομποστοποίηση	4
Σενάριο 2: Θερμική ξήρανση	3
Σενάριο 3: Ηλιακή ξήρανση	4
Σενάριο 4: Ξήρανση - Πυρόλυση	2

Διαθεσιμότητα τελικών αποδεκτών

Με το κριτήριο αυτό, εξετάζεται η ζήτηση των τελικών προϊόντων που παράγονται από το εκάστοτε σενάριο. Οι πιθανές εφαρμογές αφορούν, είτε τη γεωργία, είτε την καύση σε βιομηχανίες παραγωγής τσιμέντου.

Σύμφωνα με το πρώτο σενάριο θα παράγεται βιοαέριο και compost. Η ηλεκτρική ενέργεια που αποδίδεται από το βιοαέριο, θα πωλείται σε παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας. Το compost, έχοντας καλύτερα χαρακτηριστικά από τα εδαφοβελτιωτικά, που παράγονται με θερμική και ηλιακή ξήρανση, αναμένεται να έχει αποδοχή από την αγροτική βιομηχανία. Για το λόγο αυτό, το σενάριο αυτό βαθμολογείται με (4). Ο λόγος που δεν λαμβάνει την υψηλότερη δυνατή βαθμολογία, είναι η πιθανή επιφύλαξη των αγροτών, ως προς τα χαρακτηριστικά του compost, με αντίκτυπο στη ζήτηση. Στον αντίποδα, η θερμικά ξηραμένη ιλύς, που αποτελεί το παραγόμενο προϊόν του δεύτερου σεναρίου, θα προορίζεται για καύση σε βιομηχανίες παραγωγής τσιμέντου. Τα όρια που ορίζονται, προκειμένου η ξηραμένη ιλύς να γίνεται δεκτή, θα πρέπει να τηρούνται απαρέγκλιτα, καθώς υπάρχει το ενδεχόμενο να μην γίνει δεκτή. Επίσης, το οικονομικό αντίτιμο σε πολλές περιπτώσεις είναι μικρό ή ακόμα και αρνητικό. Η εναλλακτική χρήση της ξηραμένης ιλύος ως εδαφοβελτιωτικό είναι πιθανή, όμως θα πρέπει να υπάρχει ζήτηση. Για τους λόγους αυτούς, το δεύτερο σενάριο βαθμολογείται με (3).

Η ηλιακά ξηραμένη ιλύς είναι το παραγόμενο προϊόν του τρίτου σεναρίου. Στην περίπτωση αυτή, η ιλύς μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό, αποκλειστικά, και όχι ως υλικό προς καύση π.χ. σε τσιμεντοβιομηχανίες, καθώς η περιεκτικότητά της σε υγρασία είναι αρκετά μεγαλύτερη από το επιθυμητό επίπεδο. Επίσης, το εδαφοβελτιωτικό δεν παρουσιάζει, όπως διατυπώθηκε προηγουμένως, τα χαρακτηριστικά του compost με αποτέλεσμα να τίθεται ερώτημα ως προς τη ζήτηση. Για τους λόγους αυτούς το τρίτο σενάριο βαθμολογείται με (2).

Τέλος, η μέθοδος της πυρόλυσης που περιγράφεται στο τέταρτο σενάριο, παράγει αέρια, στερεά (biochar) και υγρά προϊόντα. Αναφορικά με την αξιοποίηση του αέριου κλάσματος, εκτιμάται ότι θα πραγματοποιείται πλήρης εκμετάλλευση εντός της εγκατάστασης (για θέρμανση boiler κ.λπ.). Επίσης, και το υγρό κλάσμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί με κατάλληλη επεξεργασία, ως βιοντίζελ. Τέλος, το στερεό κλάσμα το οποίο αποτελείται 50% από άνθρακα, εκτιμάται ότι δεν θα μπορεί να αξιοποιηθεί στη γεωργία. Παρόλο που μπορεί να μην αναμένεται σημαντική διαφυγή των βαρέων μετάλλων στο υπόστρωμα και στα υπόγεια ύδατα, η ισχύουσα νομοθεσία, σε περίπτωση όπου η συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων είναι πάνω από τα επιτρεπόμενα όρια, θα καταστήσει το προϊόν ακατάλληλο για εφαρμογή στη γεωργία. Για τους παραπάνω λόγους το τέταρτο σενάριο βαθμολογείται με (2). Η ανωτέρω βαθμολόγηση συνοψίζεται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 19. Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση τη διαθεσιμότητα τελικών αποδεκτών.

ΣΕΝΑΡΙΑ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ
Σενάριο 1: Αναερόβια συγχώνευση - κομποστοποίηση	4
Σενάριο 2: Θερμική ξήρανση	3
Σενάριο 3: Ηλιακή ξήρανση	2
Σενάριο 4: Ξήρανση - Πυρόλυση	2

6.1.1.4 Χωροταξικά κριτήρια

Το βασικό κριτήριο, όσον αφορά στον χωροταξικό σχεδιασμό, είναι οι εκτάσεις που απαιτούνται για την εγκατάσταση των μονάδων. Η απαιτούμενη έκταση για την υλοποίηση του κάθε σεναρίου προσδιορίζεται με βάση άλλες εφαρμογές που έχουν πραγματοποιηθεί ανά τον κόσμο. Πρέπει να τονιστεί ότι ανεξαρτήτως της δυναμικότητας της εγκατάστασης, έχει παρατηρηθεί μεγάλη διακύμανση, ως προς τον χώρο του γηπέδου που έχει επιλεχθεί. Πιο αναλυτικά, η χωροθέτηση των έργων, καθώς και η χρήση κοινών κτηριακών εγκαταστάσεων, όπου είναι δυνατόν, μεταβάλλει σημαντικά τον απαιτούμενο χώρο. Επίσης, σε ορισμένες περιπτώσεις θα πρέπει να εξασφαλίζεται και χώρος, ώστε, μελλοντικά, να γίνει η επέκταση της εγκατάστασης. Μια τέτοια περίπτωση είναι αυτή της αναερόβια χώνευσης.

Αντιθέτως, εγκαταστάσεις θερμικής ξήρανσης και πυρόλυσης, οι οποίες είναι εγκαταστημένες εντός κτηριακών μονάδων δεν απαιτούν μεγάλη επιφάνεια. Ο χώρος αποθήκευσης δεν χρειάζεται να είναι ιδιαίτερα μεγάλος, καθώς τα προϊόντα που παράγονται έχουν υψηλό ποσοστό στερεών που είναι μεγαλύτερο από 90%. Αναφορικά με το τρίτο σενάριο, όπου προτείνεται η ηλιακή ξήρανση, μπορεί να γίνει καλύτερος προσδιορισμός της απαιτούμενης επιφάνειας, λαμβάνοντας υπόψη την απαιτούμενη επιφάνεια των θερμοκηπίων, τη δυναμικότητα των θερμοκηπίων και

την απαίτηση των χώρων αποθήκευσης. Για τον προσδιορισμό της απαιτούμενης επιφάνειας, θεωρείται προσαύξηση 35% στο πρώτο σενάριο, 15% στο δεύτερο και τέταρτο σενάριο και 25% στο τρίτο.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, η απαιτούμενη επιφάνεια για το σενάριο 1 είναι περίπου 10 στρέμματα, για τα σενάρια 2 και 4 απαιτείται συνολική έκταση 4 στρεμμάτων, ενώ για το σενάριο 3 περίπου 10 στρέμματα. Θεωρώντας ότι οι εγκαταστάσεις διαχείρισης της υλός παρόμοιας δυναμικότητας κυμαίνονται από 3 έως 20 στρέμματα, προκύπτει ότι η βαθμολογία του πρώτου και του τρίτου σεναρίου είναι (3) και η βαθμολογία του δεύτερου και του τέταρτου σεναρίου είναι (5).

Πίνακας 20. Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση την απαίτηση εκτάσεων.

ΣΕΝΑΡΙΑ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ
Σενάριο 1: Αναερόβια συγχώνευση - κομποστοποίηση	3
Σενάριο 2: Θερμική ξήρανση	5
Σενάριο 3: Ηλιακή ξήρανση	3
Σενάριο 4: Ξήρανση - Πυρόλυση	5

6.1.1.5 Νομοθετικά κριτήρια

Τα εναλλακτικά σενάρια δεν θα μπορούσαν να υλοποιηθούν, παρά τα πλεονεκτήματα που μπορεί να διαθέτουν, εάν δεν είναι συμβατά με την εθνική και κοινοτική νομοθεσία, σε όλα τα στάδια υλοποίησής τους. Ωστόσο, η εν λόγω απαίτηση καλύπτεται κατά το στάδιο αδειοδότησης της εκάστοτε διαδικασίας, επομένως, το κριτήριο αξιολόγησης είναι η αισθητική όχληση που μπορεί να δημιουργηθεί από τη χρήση της εκάστοτε τεχνολογίας και να επιφέρει κοινωνικές αντιδράσεις, καθώς και η ευελιξία του κάθε σεναρίου σε μελλοντικές μεταβολές του νομοθετικού πλαισίου.

Ευελιξία σε μελλοντικές μεταβολές νομοθετικού πλαισίου

Είναι σαφές ότι υπάρχει η τάση για μελλοντική αυστηροποίηση των νόμων, όσον αφορά στην ποιότητα της υλός, που προορίζεται προς διάθεση. Συγκεκριμένα, τα όρια των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων πρόκειται να αυστηροποιηθούν, ενώ είναι πιθανό να τεθούν όρια και ως προς τη συγκέντρωση των μικροοργανισμών. Έχοντας κατανοήσει την τάση εξέλιξης των πραγμάτων, θα πρέπει τα παραγόμενα προϊόντα να εξασφαλίζουν, όσο το δυνατόν καλύτερα χαρακτηριστικά. Κάτι τέτοιο συνεπάγεται οριζόντια μείωση των βαρέων μετάλλων στην υλύ.

Αναφορικά με το πρώτο σενάριο, η συγχώνευση - κομποστοποίηση οδηγεί στη μείωση της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων, καθώς αυξάνεται η μάζα των στερεών. Η «αραίωση» αυτή φαίνεται να μπορεί να ικανοποιήσει τα μελλοντικά όρια

βαρέων μετάλλων. Αντιθέτως, η θερμική και ηλιακή ξήρανση που προτείνονται στο δεύτερο και τρίτο σενάριο, σύμφωνα με τις υπάρχουσες τεχνικές, δεν εμφανίζουν ευελιξία. Στο τέταρτο σενάριο όπου προτείνεται η πυρόλυση, το στερεό προϊόν (biochar) παρουσιάζει ικανοποιητικά χαρακτηριστικά ως προς τη σταθερότητα των μετάλλων, ωστόσο, η νομοθεσία θα πρέπει να διαμορφωθεί κατάλληλα, ώστε να εισάγει ως κριτήριο τη σταθερότητα που παρουσιάζουν τα βαρέα μέταλλα.

Βάσει των παραπάνω και με γνώμονα την αυστηροποίηση των ορίων των βαρέων μετάλλων, μια ρεαλιστική λύση δίνεται στο πρώτο σενάριο. Για τον λόγο αυτόν, το σενάριο 1 βαθμολογείται με (4). Ο λόγος που δεν βαθμολογείται με 5 είναι επειδή ναι μεν οδηγεί στη μείωση της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων, όμως δεν λύνει το πρόβλημα της σταθερότητας. Αντιθέτως, τα σενάρια δύο και τρία βαθμολογούνται με (2) και όχι με 1, καθώς είναι πιθανό να υπάρξει στο μέλλον κάποια παραλλαγή των μεθόδων, η οποία θα είναι κατάλληλη για τη διαχείριση των βαρέων μετάλλων.

Όσον αφορά το τέταρτο σενάριο, τόσο η μέθοδος της πυρόλυσης της υλός, όσο και η υφιστάμενη νομοθεσία, δεν είναι αρκετά ώριμες. Ωστόσο, εκτιμάται ότι μελλοντικά θα μπορεί να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις της νομοθεσίας και για το λόγο αυτό βαθμολογείται με (3).

Πίνακας 21. Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση την ευελιξία εναρμονισμού σε μελλοντικές νομοθετικές μεταρρυθμίσεις.

ΣΕΝΑΡΙΑ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ
Σενάριο 1: Αναερόβια συγχώνευση - κομποστοποίηση	4
Σενάριο 2: Θερμική ξήρανση	2
Σενάριο 3: Ηλιακή ξήρανση	2
Σενάριο 4: Ξήρανση - Πυρόλυση	3

Εκτιμώμενες κοινωνικές αντιδράσεις από τη χρήση της τεχνολογίας- Αισθητική όχληση
Λαμβάνοντας υπόψη τη φύση του κάθε σεναρίου, καθώς και τις εφαρμογές ανά τον κόσμο, παρατηρείται ότι οι μονάδες που μπορούν να στεγαστούν εξολοκλήρου εντός κτηριακών εγκαταστάσεων δεν επιφέρουν κάποια αισθητική όχληση, αντιθέτως το πρόβλημα της αισθητικής όχλησης έγκειται εξ' ολοκλήρου στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό. Τέτοιες περιπτώσεις αποτελούν το δεύτερο και το τέταρτο σενάριο. Σχετικά με το πρώτο και τρίτο σενάριο, δεν είναι δυνατό να υπάρξει στέγαση όλων των επιμέρους μονάδων.

Οι κοινωνικές αντιδράσεις αναμένεται να είναι ελάχιστες, καθώς καμία μέθοδος δεν πραγματοποιεί καύση της υλός. Το πρώτο σενάριο βαθμολογείται με (5), καθώς δεν αναμένονται κοινωνικές αντιδράσεις, ούτε αισθητική όχληση. Το δεύτερο και τέταρτο σενάριο βαθμολογούνται με (4), καθώς η ενδεχόμενη παραγωγή ατμών και

καπνού μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένα συμπεράσματα. Τέλος, το τρίτο σενάριο βαθμολογείται με (5), επειδή ούτε σε αυτή την περίπτωση αναμένονται κοινωνικές αντιδράσεις, ούτε πρόκειται να υπάρξει αισθητική όχληση, λαμβάνοντας υπόψη το χαρακτηριστικό σχήμα των θερμοκηπίων, που παραπέμπει στην ύπαρξη κοινών καλλιεργείων.

Πίνακας 22.Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση τις κοινωνικές αντιδράσεις και την αισθητική όχληση.

ΣΕΝΑΡΙΑ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ
Σενάριο 1: Αναερόβια συγχώνευση - κομποστοποίηση	5
Σενάριο 2: Θερμική ξήρανση	4
Σενάριο 3: Ηλιακή ξήρανση	5
Σενάριο 4: Ξήρανση - Πυρόλυση	4

6.1.2 Αποτελέσματα πολυκριτηριακής ανάλυσης επεξεργασίας-διάθεσης υλός

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω διαμορφώθηκε η συνολική βαθμολογία των σεναρίων, όπως παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί.

«Ανάλυση βιωσιμότητας μέσω πολυκριτηριακής ανάλυσης εναλλακτικών δυνατοτήτων και τεχνολογιών διαχείρισης υλός στην Ελλάδα» | Διπλωματική εργασία- Τσόμπος Αλέξανδρος

Πίνακας 23. Βαθμολογία σεναρίων σύμφωνα με τα κριτήρια που έχουν ορισθεί.

ΚΡΙΤΗΡΙΑ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ	ΣΕΝΑΡΙΟ 1 Αναερόβια συγχώνευση - κομποστοποίηση	ΣΕΝΑΡΙΟ 2 Θερμική ξήρανση	ΣΕΝΑΡΙΟ 3 Ηλιακή ξήρανση	ΣΕΝΑΡΙΟ 4 Ξήρανση - Πυρόλυση
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ					
Ποιοτικά χαρακτηριστικά τελικού προϊόντος	15%	5	3	2	1
Αέριες εκπομπές-οσμές	10%	4	3	3	2
Δυνατότητα συν-επεξεργασίας με άλλα προϊόντα	5%	5	1	1	1
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ					
Ευελιξία σε μελλοντικές μεταβολές ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών εισερχόμενης υλός	12%	2	4	4	4

«Ανάλυση βιωσιμότητας μέσω πολυκριτηριακής ανάλυσης εναλλακτικών δυνατοτήτων και τεχνολογιών διαχείρισης ιλύος στην Ελλάδα» | Διπλωματική εργασία- Τσόμπος Αλέξανδρος

ΚΡΙΤΗΡΙΑ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ	ΣΕΝΑΡΙΟ 1 Αναερόβια συγχώνευση - κομποστοποίηση	ΣΕΝΑΡΙΟ 2 Θερμική ξήρανση	ΣΕΝΑΡΙΟ 3 Ηλιακή ξήρανση	ΣΕΝΑΡΙΟ 4 Ξήρανση - Πυρόλυση
Βαθμός τεχνολογικής ωριμότητας / προγενέστερη εμπειρία	10%	4	5	3	1
Εξειδικευμένο προσωπικό	3%	2	3	4	3
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ					
Κόστος επένδυσης	10%	2	5	3	4
Κόστος λειτουργίας και συντήρησης	5%	4	3	4	2
Διαθεσιμότητα τελικών αποδεκτών	10%	4	3	2	2
ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ					
Απαίτηση εκτάσεων	5%	3	5	3	5
ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ					

«Ανάλυση βιωσιμότητας μέσω πολυκριτηριακής ανάλυσης εναλλακτικών δυνατοτήτων και τεχνολογιών διαχείρισης υλούς στην Ελλάδα» | Διπλωματική εργασία- Τσόμπος Αλέξανδρος

ΚΡΙΤΗΡΙΑ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ	ΣΕΝΑΡΙΟ 1 Αναερόβια συγχώνευση - κομποστοποίηση	ΣΕΝΑΡΙΟ 2 Θερμική ξήρανση	ΣΕΝΑΡΙΟ 3 Ηλιακή ξήρανση	ΣΕΝΑΡΙΟ 4 Ξήρανση - Πυρόλυση
Ευελιξία σε μελλοντικές μεταβολές νομοθετικού πλαισίου	10%	4	2	2	3
Εκτιμώμενες κοινωνικές αντιδράσεις από τη χρήση της τεχνολογίας- Αισθητική όχληση	5%	5	4	5	4
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ		3.7	3.47	2.85	2.52

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της πολυκριτηριακής ανάλυσης των εναλλακτικών σεναρίων της τεχνολογίας επεξεργασίας και διάθεση της ιλύος από τις ΜΚΑ που βρίσκονται στην ηπειρωτική χώρα, γίνεται σαφές ότι το βέλτιστο σενάριο είναι το πρώτο, όπου προτείνεται η αναερόβια χώνευση - κομποστοποίηση. Συγκεκριμένα, η εφαρμογή του πρώτου σεναρίου αφενός, οδηγεί στην κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων της εγκατάστασης, ενώ παράλληλα, επεξεργάζεται, με τέτοιο τρόπο την ιλύ (μαζί με τις υπόλοιπες ύλες), διαμορφώνοντας ένα compost, το οποίο θα είναι κατάλληλο για εδαφική αξιοποίηση, ενώ παράλληλα, θα υπερτερεί συγκριτικά με άλλα εδαφοβελτιωτικά. Τα αποτελέσματα της πολυκριτηριακής ανάλυσης συνάδουν με την ολοένα και αυξανόμενη τάση δημιουργίας μονάδων συγχώνευσης και κομποστοποίησης.

Ως δεύτερη εναλλακτική λύση, σύμφωνα με την πολυκριτηριακή ανάλυση, είναι αυτή της θερμικής επεξεργασίας, μια μέθοδος που έχει εφαρμοστεί αρκετά και έχει δώσει έως τώρα λύση στα θέματα διαχείρισης της ιλύος. Ωστόσο, η αβεβαιότητα για τη ζήτηση του τελικού προϊόντος την καθιστούν λιγότερο ανταγωνιστική. Ως τρίτη λύση εκλέχθηκε αυτή της ηλιακής ξήρανσης. Παρά το μικρό κόστος επένδυσης, δημιουργούνται προβλήματα ως προς τον απαιτούμενο χώρο και τον τρόπο αποθήκευσης των παραγόμενων ποσοτήτων. Επίσης, βασικό μειονέκτημα είναι αν η ζήτηση από την αγροτική κοινότητα θα ικανοποιεί τους ρυθμούς παραγωγής. Τέλος, ως λιγότερο εφαρμόσιμο σενάριο προέκυψε το τέταρτο, όπου προτείνεται η πυρόλυση. Η περιορισμένη εφαρμογή της σε συνδυασμό με την αβεβαιότητα ως προς τον τρόπο αξιοποίησης του στερεού κλάσματος, την καθιστούν λιγότερο ανταγωνιστική.

6.2 Μονάδα διαχείρισης ιλύος σε Νησιωτικές Περιοχές

Στην παρούσα ενότητα, μελετώνται τα κριτήρια, με τα οποία εφαρμόστηκε η μέθοδος της πολυκριτηριακής ανάλυσης, για τα εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης της ιλύος τις ΜΚΑ σε νησιωτικές περιοχές, με στόχο την κατασκευή μονάδας διαχείρισης της ιλύος. Συνοπτικά, τα κριτήρια που τίθενται, για τη λήψη αποφάσεων, ως προς τη διαχείριση της ιλύος και την αξιολόγηση των πιθανών σεναρίων είναι:

- Περιβαλλοντικά,
- Τεχνικά,
- Οικονομικά,
- Χωροταξικά και
- Νομοθετικά.

Τέλος, ομοίως με τις ανωτέρω πολυκριτηριακές αναλύσεις, κάθε σενάριο βαθμολογείται με κλίμακα 1 – 5, με το 1 να αποτελεί το κάτω άκρο της βαθμολογικής κλίμακας και το 5 το άνω άκρο. Επίσης, καθώς κάθε δείκτης δεν παρουσιάζει την ίδια σημαντικότητα με τους υπολοίπους, κρίθηκε σκόπιμο να προσδιοριστεί η βαρύτητά του, με αποτέλεσμα, η διαμόρφωση ανισοβαρών παρατηρήσεων να οδηγεί στη

ρεαλιστική παρατήρηση, αξιολόγηση και επακόλουθα, σύγκριση των εναλλακτικών σεναρίων.

6.2.1 Αξιολόγηση και Ανάλυση κριτηρίων επεξεργασίας – διάθεσης υλός σε νησιωτικές περιοχές

6.2.1.1 Περιβαλλοντικά Κριτήρια

Τα κριτήρια αυτά λαμβάνουν υπόψη τις πιθανές επιπτώσεις από την κατασκευή και λειτουργία των μονάδων επεξεργασίας στο εγγύς και ευρύτερο περιβάλλον. Η συγκεκριμένη κατηγορία, περιλαμβάνει τα κάτωθι κριτήρια:

- Ποιοτικά χαρακτηριστικά τελικού προϊόντος,
- Αέριες εκπομπές- οσμές

Ποιοτικά χαρακτηριστικά τελικού προϊόντος

Η ποιότητα του τελικού προϊόντος (φυσικοχημικές ιδιότητες) αναμφισβήτητα αποτελεί μια εκ των σημαντικότερων παραμέτρων για την αξιολόγηση των εναλλακτικών σεναρίων. Ουσιαστικά, ο όρος ποιοτικά χαρακτηριστικά αναφέρεται στις φυσικοχημικές ιδιότητες του εκάστοτε προϊόντος και στις αναμενόμενες επιπτώσεις που θεωρείται ότι θα παρατηρηθούν.

Η θερμικά ξηραμένη υλός, που παράγεται από τη μονάδα θερμικής ξήρανσης που περιγράφεται στο πρώτο σενάριο, βαθμολογείται με (3), καθώς παρότι παρουσιάζει ιδιαίτερα χαμηλή υγρασία (10%), η σχετικά υψηλή συγκέντρωση σε βαρέα μέταλλα καθιστούν την ξηραμένη υλός, πολλές φορές, επικίνδυνη ως προς τη διάθεσή της, τόσο σε γεωργικές εφαρμογές, όσο και σε κλιβάνους καύσης βιομηχανικών παραγωγής τσιμέντου. Στον αντίποδα, το compost που παράγεται από την κομποστοποίηση, σύμφωνα με την προτεινόμενη μέθοδο του δεύτερου σεναρίου, βαθμολογείται με την υψηλότερη βαθμολογία (5). Ο λόγος είναι ότι η εφαρμογή της κομποστοποίησης οδηγεί στη διαμόρφωση ενός προϊόντος το οποίο είναι σταθεροποιημένο, υγειονοποιημένο και χαρακτηρίζεται από ικανοποιητικό λόγο C/N.

Η ηλιακά ξηραμένη υλός, που παράγεται μέσω της εφαρμογής της μεθόδου του τρίτου σεναρίου, βαθμολογείται με (2). Όπως και με τη θερμικά ξηραμένη υλός, δεν λύνεται το πρόβλημα της συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων. Επιπλέον, τόσο η ηλιακά επεξεργασμένη υλός, όσο και το compost κατατάσσονται στην κατηγορία των εδαφοβελτιωτικών, όμως τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά διαφέρουν πολύ (λόγος C/N, συγκέντρωση βαρέων μετάλλων κ.λπ.). Επίσης, σε αντίθεση με το πρώτο εναλλακτικό σενάριο, η ηλιακά ξηραμένη υλός δεν μπορεί να καλύψει τις προδιαγραφές, όσον αφορά στην επιθυμητή υγρασία, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κλιβάνους καύσης βιομηχανικών παραγωγής τσιμέντου και για αυτό λαμβάνει χαμηλότερο βαθμό, συγκριτικά με το πρώτο σενάριο. Η ανωτέρω βαθμολόγηση των σεναρίων, ως προς τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος συνοψίζεται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 24. Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος.

ΣΕΝΑΡΙΑ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ
Σενάριο 1: Θερμική ξήρανση	3
Σενάριο 2: Κομποστοποίηση	5
Σενάριο 3: Ηλιακή ξήρανση	2

Αέριες εκπομπές – οσμές

Με τον δείκτη αέριες εκπομπές – οσμές αξιολογείται η απόδοση της εκάστοτε μεθόδου διαχείρισης υλός, αναφορικά με τα παραγόμενα αέρια και οσμές. Ειδικότερα, η θερμική ξήρανση που προτείνεται ως εναλλακτική μέθοδος στο πρώτο σενάριο βαθμολογείται με (3), καθώς είναι πιθανό να υπάρξει σημαντική ποσότητα διαφυγής σκόνης στην ατμόσφαιρα. Το δεύτερο σενάριο βαθμολογείται με (4). Κατά την κομποστοποίηση η θερμοκρασία δεν είναι υψηλή, ώστε να εκλύονται επιβλαβή αέρια. Επίσης, ο συνεχής αερισμός και η ανάμιξη οδηγεί στην αποφυγή σχηματισμού ανοξικών ζωνών και επακόλουθα, στην αποφυγή έκλυσης μεθανίου, το οποίο είναι 24 φορές πιο επιβλαβές από το διοξείδιο του άνθρακα. Βέβαια, φαινόμενα ελλειπύς ή μη τακτικού αερισμού, οδηγούν στη διαμόρφωση ανοξικών ή και αναερόβιων συνθηκών, με αποτέλεσμα να ενισχύεται η αναγωγή των θειικών ενώσεων σε υδρόθειο (H_2SO_4), το οποίο οδηγεί στον σχηματισμό δύσοσμων αερίων. Τέλος, η μέθοδος της ηλιακής ξήρανσης, που προτείνεται στο τρίτο σενάριο, χαρακτηρίζεται από υψηλή έκλυση οσμών, επομένως βαθμολογείται με (3).

Πίνακας 25. Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση τις αέριες εκπομπές κατά την εφαρμογή της κάθε μεθόδου.

ΣΕΝΑΡΙΑ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ
Σενάριο 1: Θερμική ξήρανση	3
Σενάριο 2: Κομποστοποίηση	4
Σενάριο 3: Ηλιακή ξήρανση	3

6.2.1.2 Τεχνικά κριτήρια

Οι μέθοδοι επεξεργασίας και διάθεσης της υλός, συγκρίνονται μεταξύ τους λαμβάνοντας υπόψη τεχνικά κριτήρια, τα οποία αναλύονται εκτενέστερα ακολούθως και στα οποία περιλαμβάνονται:

- Η ευελιξία σε μελλοντικές μεταβολές ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών εισερχόμενης υλός.
- Ο βαθμός τεχνολογικής ωριμότητας / προγενέστερη εμπειρία.
- Η απαίτηση εξειδικευμένου προσωπικού.

Ευελιξία σε μελλοντικές μεταβολές ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών εισερχόμενης υλός

Σημαντικό κριτήριο στην επιλογή μεταξύ των εναλλακτικών σεναρίων, αποτελεί η δυνατότητα της εκάστοτε μονάδας να διατηρεί τα επιθυμητά χαρακτηριστικά των παραγόμενων προϊόντων, σε περίπτωση, όπου μελλοντικά, υπάρξει διακύμανση των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών των προϊόντων εισόδου. Το σύστημα θερμικής ξήρανσης (σενάριο 1) μπορεί να έχει μειωμένη απόδοση, σε περίπτωση όπου η συγκέντρωση της εισερχόμενης υγρασίας είναι μεγαλύτερη από την προβλεπόμενη, πέραν όμως τούτου δεν αναμένεται να επηρεαστεί η διαδικασία με άλλον τρόπο, επομένως βαθμολογείται με (4).

Αναφορικά με το δεύτερο σενάριο, η κομποστοποίηση προϋποθέτει την προετοιμασία της υλός με την προσθήκη διογκωτικού, ώστε να εξασφαλιστεί η εύρυθμη λειτουργία των βιοχημικών αντιδράσεων. Αυτό σημαίνει ότι, ανεξαρτήτως από τις διαφοροποιήσεις ή διακυμάνσεις των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών εισόδου, η κατάλληλη προετοιμασία του μείγματος οδηγεί στην παραγωγή compost με ικανοποιητικά χαρακτηριστικά. Βάσει των παραπάνω, το δεύτερο σενάριο βαθμολογείται με (4). Στο τρίτο σενάριο, όπου προτείνεται η μέθοδος της ηλιακής ξήρανσης, τυχόν αύξηση της υγρασίας στην εισερχόμενη υλύ, μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση της υγρασίας του τελικού προϊόντος. Ο συνδυασμός αρκετά υδαρής υλός με περιορισμένη ηλιοφάνεια μπορεί να οδηγήσει στη μείωση της απόδοσης της μεθόδου και στην παραγωγή υλός που απαιτεί μεγαλύτερους χώρους αποθήκευσης. Με βάση τα παραπάνω, η ηλιακή ξήρανση βαθμολογείται με (3). Τα παραπάνω συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 26. Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση την ευελιξία των συστημάτων σε μελλοντικές μεταβολές ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών εισερχόμενης υλός.

ΣΕΝΑΡΙΑ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ
Σενάριο 1: Θερμική ξήρανση	4
Σενάριο 2: Κομποστοποίηση	4
Σενάριο 3: Ηλιακή ξήρανση	3

Βαθμός τεχνολογικής ωριμότητας / προγενέστερη εμπειρία

Κάποιες μέθοδοι επεξεργασίας υλός έχουν εφαρμοστεί ευρέως ανά τον κόσμο, οδηγώντας στη βελτιστοποίηση των τεχνικών χαρακτηριστικών και των λειτουργικών παραμέτρων. Το πρώτο σενάριο έχει εφαρμοστεί με μεγάλη επιτυχία και για μεγάλο χρονικό διάστημα στην Ευρώπη και κυρίως, στη Βόρεια Αμερική, συνεπώς χαρακτηρίζεται από μεγάλη ωριμότητα και βαθμολογείται με (5). Για το λόγο αυτό, το δεύτερο σενάριο βαθμολογείται με (4). Τέλος, σε μικρότερο, όχι όμως σημαντικό, βαθμό, έχει εφαρμοστεί και η μέθοδος των θερμοκηπίων του τρίτου σεναρίου. Τα τελευταία χρόνια εμφανίζονται παραλλαγές της μεθόδου, που οδηγούν στη σταδιακή

αύξηση της απόδοσής της, με αποτέλεσμα ο βαθμός του τρίτου σεναρίου να είναι (3).

Πίνακας 27. Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση το βαθμό τεχνολογικής ωριμότητας και προγενέστερης εμπειρίας.

ΣΕΝΑΡΙΑ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ
Σενάριο 1: Θερμική ξήρανση	5
Σενάριο 2: Κομποστοποίηση	4
Σενάριο 3: Ηλιακή ξήρανση	3

Απαίτηση εξειδικευμένου προσωπικού

Στο πλαίσιο λειτουργίας των προτεινόμενων μονάδων διαχείρισης υλός, απαιτείται προσωπικό το οποίο θα εποπτεύει τις εφαρμοζόμενες διαδικασίες και θα είναι υπεύθυνο για τον χειρισμό των μηχανημάτων. Βέβαια, κάθε μέθοδος διαφέρει ως προς την εξειδίκευση και την επιστημονική κατάρτιση που πρέπει να διαθέτει το προσωπικό. Επίσης, ένας ακόμα παράγοντας που επηρεάζει τον αριθμό και την εξειδίκευση του απαιτούμενου προσωπικού είναι η δυναμικότητα της εγκατάστασης και δεδομένου της μικρής δυναμικότητας που απαιτείται στην προκειμένη περίπτωση, κάποιες εφαρμογές δύναται να λειτουργούν με ελάχιστη φυσική παρουσία.

Δεδομένου της μικρής απαίτησης χώρου του ξηραντήρα του πρώτου σεναρίου, η τοποθέτηση της μονάδας μπορεί να γίνει εντός της ΜΚΑ, εφόσον υπάρχει διαθέσιμος χώρος. Το προσωπικό της εγκατάστασης μπορεί να λειτουργεί τον ξηραντήρα, με την προϋπόθεση ότι ο κατασκευαστής έχει πραγματοποιήσει την απαραίτητη εκπαίδευση του προσωπικού της ΜΚΑ, στο πλαίσιο της προμήθειας. Βάσει των παραπάνω, το πρώτο σενάριο βαθμολογείται με (5). Παράλληλα, εκτιμάται ότι η λειτουργία της εγκατάστασης του δεύτερου σεναρίου απαιτεί ένα άτομο που θα είναι ο λειτουργός της εγκατάστασης και θα έχει εξειδίκευση επί του αντικειμένου (Ηλεκτρολόγος μηχανικός / Χημικός μηχανικός), καθώς επίσης 1 άτομο χωρίς εξειδίκευση. Ενδεικτική αρμοδιότητά του είναι ο συντονισμός της φόρτωσης – εκφόρτωσης των πρώτων υλών και η επίβλεψη των εγκαταστάσεων. Για τον λόγο αυτό, το σενάριο δύο βαθμολογείται με (3). Τέλος, για το τρίτο σενάριο (ηλιακή ξήρανση), απαιτείται λιγότερος ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός. Η διαχείριση του συστήματος λειτουργίας, μπορεί να επιτευχθεί από μια κεντρική μονάδα, χωρίς να απαιτούνται ιδιαίτερα εξειδικευμένες γνώσεις από τον χειριστή. Επίσης, η μόνιμη ύπαρξη δεύτερου ατόμου είναι υποχρεωτική, με αποτέλεσμα το τρίτο σενάριο να βαθμολογείται με (4).

Πίνακας 28. Βαθμολόγηση σεναρίων ως προς την απαίτηση εξειδικευμένου προσωπικού.

ΣΕΝΑΡΙΑ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ
Σενάριο 1: Θερμική ξήρανση	5
Σενάριο 2: Κομποστοποίηση	3
Σενάριο 3: Ηλιακή ξήρανση	4

6.2.1.3 Οικονομικά κριτήρια

Η θέσπιση οικονομικών κριτηρίων, στοχεύει στην αποτύπωση του οικονομικού αντίκτυπου κατασκευής της εκάστοτε μονάδας διαχείρισης υλός, μέσα από την εκτίμηση του κόστους της επένδυσης, των ετήσιων δαπανών για τη λειτουργία και συντήρηση των μονάδων, καθώς και τη διαθεσιμότητα των τελικών αποδεκτών. Τα κριτήρια αυτά αναλύονται, εκτενέστερα, στις ακόλουθες ενότητες.

Κόστος επένδυσης

Το κεφάλαιο που απαιτείται προκειμένου να υλοποιηθεί το εκάστοτε σενάριο, αποτελεί βασικό κριτήριο αξιολόγησης. Παρατηρείται ότι υπάρχει σημαντική διακύμανση του κεφαλαίου που απαιτείται μεταξύ των εναλλακτικών σεναρίων. Συγκεκριμένα, όταν η διαχείριση της υλός βασίζεται σε ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό, απαιτείται ιδιαίτερα υψηλό κεφάλαιο επένδυσης. Ενδεικτικά, λαμβάνοντας υπόψη την απαιτούμενη δυναμικότητα της εγκατάστασης, καθώς και τη δυναμικότητα άλλων εγκαταστάσεων διαχείρισης υλός, παρατηρείται ότι το κόστος επένδυσης κυμαίνεται από 60.000,00 € έως 2.000.000,00 €.

Ειδικότερα, υψηλό κόστος επένδυσης έχει η κατασκευή μονάδας θερμικής ξήρανσης. Συγκεκριμένα, το κόστος επένδυσης που απαιτείται για την κατασκευή μονάδας θερμικής ξήρανσης είναι της τάξης των 1.000.000,00 €. Επομένως, το πρώτο σενάριο βαθμολογείται με (1). Στο δεύτερο σενάριο, που προτείνεται η κατασκευή μονάδας κομποστοποίησης, θεωρείται ότι θα κοστίσει περίπου 250.000,00 €, με αποτέλεσμα το δεύτερο σενάριο να βαθμολογείται με (3). Τέλος, το κόστος επένδυσης για την κατασκευή μονάδας ηλιακής ξήρανσης εκτιμάται, περίπου, στα 250.000 €, οπότε και βαθμολογείται με (3). Η κλίμακα βαθμολόγησης, καθώς και η τελική βαθμολογία των σεναρίων παρατίθενται στους πίνακες που ακολουθούν.

Πίνακας 29. Κλίμακα βαθμολόγησης απόδοσης σεναρίων ως προς το κόστος επένδυσης.

ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ	ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ (€)
1	>480.000
2	340.000-480.000
3	200.000-340.000
4	60.000-200.000

ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ	ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ (€)
5	<60.000

Πίνακας 30. Βαθμολόγηση σεναρίων ως προς το κόστος επένδυσης.

ΣΕΝΑΡΙΑ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ
Σενάριο 1: Θερμική ξήρανση	1
Σενάριο 2: Κομποστοποίηση	4
Σενάριο 3: Ηλιακή ξήρανση	3

Κόστος λειτουργίας και συντήρησης

Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης αποτελεί ένα άθροισμα εξόδων, τα οποία συνήθως ανάγονται σε ετήσια βάση. Ενδεικτικά, το κόστος λειτουργίας και συντήρησης αποτελείται από το κόστος του προσωπικού, το κόστος συντήρησης του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού και των κτιριακών εγκαταστάσεων, το κόστος των καυσίμων που χρησιμοποιούνται και το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας.

Ως κόστος λειτουργίας και συντήρησης του πρώτου σεναρίου θεωρήθηκε ότι είναι 180 €/t DS, δηλαδή, περίπου, 45.000,00 €/έτος. Το κόστος λειτουργίας της μονάδας κομποστοποίησης, που προτείνεται στο δεύτερο εναλλακτικό σενάριο είναι 30 €/t DS, δηλαδή 8.000,00 €/έτος. Τέλος, αναφορικά με το τρίτο σενάριο το κόστος λειτουργίας και συντήρησης θα είναι 140 €/t DS, δηλαδή, περίπου, 35.000,00 €/έτος.

Πίνακας 31. Κλίμακα βαθμολόγησης απόδοσης σεναρίων ως προς το κόστος λειτουργίας και συντήρησης.

ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ	ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ (€)
1	>50.000
2	40.000 - 50.000
3	30.000 - 40.000
4	20.000 - 30.000
5	<20.000

Συμπερασματικά, η βαθμολογία του πρώτου σεναρίου είναι (3), του δεύτερου σεναρίου (5), του τρίτου (4), όπως παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 32. Βαθμολόγηση σεναρίων ως προς το κόστος λειτουργίας και συντήρησης.

ΣΕΝΑΡΙΑ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ
Σενάριο 1: Θερμική ξήρανση	2

Σενάριο 2: Κομποστοποίηση	5
Σενάριο 3: Ηλιακή ξήρανση	3

Διαθεσιμότητα τελικών αποδεκτών

Μέσα από την αξιολόγηση της διαθεσιμότητας των τελικών αποδεκτών εξετάζεται η ζήτηση των τελικών προϊόντων, που παράγονται από την εγκατάσταση που προτείνεται στο εκάστοτε σενάριο. Οι πιθανές εφαρμογές αφορούν, είτε στη γεωργία, είτε στην αποκατάσταση υποβαθμισμένων χώρων, είτε στην καύση σε βιομηχανίες παραγωγής τσιμέντου.

Η θερμικά ξηραμένη ιλύς, που αποτελεί το παραγόμενο προϊόν της μονάδας που περιγράφεται στο πρώτο σενάριο, θα προορίζεται για καύση σε βιομηχανίες παραγωγής τσιμέντου. Τα όρια που ορίζονται, προκειμένου η ξηραμένη ιλύς να γίνεται δεκτή, θα πρέπει να τηρούνται απαρέγκλιτα, καθώς υπάρχει το ενδεχόμενο να μην γίνει δεκτή. Επίσης, το οικονομικό αντίτιμο σε πολλές περιπτώσεις είναι μικρό ή ακόμα και αρνητικό. Η εναλλακτική χρήση της ξηραμένης ιλός ως εδαφοβελτιωτικό, είναι πιθανή, καθώς η ποσότητα που θα παράγεται είναι περίπου το 22% της ποσότητας που θα δέχεται. Βάσει των παραπάνω η βαθμολογία του πρώτου σεναρίου είναι (4).

Αναφορικά με το προϊόν που παράγεται από την κομποστοποίηση, που περιγράφεται στο δεύτερο σενάριο, το compost, έχοντας καλύτερα χαρακτηριστικά από τα εδαφοβελτιωτικά, που παράγονται με θερμική και ηλιακή ξήρανση, αναμένεται να έχει ικανοποιητική αποδοχή από την αγροτική βιομηχανία. Για τον λόγο αυτό, το σενάριο δύο βαθμολογείται με (4). Ο λόγος που δεν λαμβάνει την υψηλότερη δυνατή βαθμολογία, είναι η πιθανή επιφύλαξη των αγροτών, ως προς τα χαρακτηριστικά του compost, με αντίκτυπο στη ζήτηση.

Τέλος, η ηλιακά ξηραμένη ιλύς είναι το παραγόμενο προϊόν του τρίτου σεναρίου. Στην περίπτωση αυτή, η ιλύς μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό αποκλειστικά και όχι ως υλικό προς καύση, π.χ. σε τσιμεντοβιομηχανίες, καθώς η περιεκτικότητά της σε υγρασία αναμένεται να είναι αρκετά μεγαλύτερη από το επιθυμητό επίπεδο. Επίσης, η ξηραμένη ιλύς δεν παρουσιάζει, όπως διατυπώθηκε προηγουμένως, τα χαρακτηριστικά του compost με αποτέλεσμα να τίθεται προβληματισμός ως προς το επίπεδο ζήτησης. Για τους λόγους αυτούς το τρίτο σενάριο βαθμολογείται με (2). Η βαθμολόγηση του εκάστοτε σεναρίου ως προς τη διαθεσιμότητα των τελικών αποδεκτών συνοψίζεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 33. Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση τη διαθεσιμότητα τελικών αποδεκτών.

ΣΕΝΑΡΙΑ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ
Σενάριο 1: Θερμική ξήρανση	4
Σενάριο 2: Κομποστοποίηση	4

Χωροταξικά κριτήρια- Απαίτηση εκτάσεων

Η απαιτούμενη έκταση για την υλοποίηση του κάθε σεναρίου προσδιορίζεται με βάση άλλες εφαρμογές που έχουν πραγματοποιηθεί ανά τον κόσμο. Πρέπει να τονιστεί ότι ανεξαρτήτως της δυναμικότητας της εγκατάστασης, έχει παρατηρηθεί μεγάλη διακύμανση, ως προς τον χώρο του γηπέδου που έχει επιλεγεί. Συγκεκριμένα, η χωροθέτηση των έργων, καθώς και η χρήση κοινών κτηριακών εγκαταστάσεων, όπου είναι δυνατόν, μεταβάλλει σημαντικά τον απαιτούμενο χώρο. Επίσης, σε ορισμένες περιπτώσεις θα πρέπει να εξασφαλίζεται και χώρος, ώστε μελλοντικά να γίνει η επέκταση της εγκατάστασης.

Η εγκατάσταση θερμικής ξήρανσης που προτείνεται στο πρώτο σενάριο, συνήθως, μπορεί να εγκατασταθεί εντός κτηριακών μονάδων, καθώς δεν καταλαμβάνει μεγάλη επιφάνεια. Ο χώρος αποθήκευσης δεν χρειάζεται να είναι ιδιαίτερα μεγάλος, καθώς το προϊόν που θα παράγεται θα είναι το 2% του αρχικού. Αναφορικά με το τρίτο σενάριο, όπου προτείνεται η ηλιακή ξήρανση, μπορεί γίνει καλύτερος προσδιορισμός της απαιτούμενης επιφάνειας, λαμβάνοντας υπόψη την απαιτούμενη επιφάνεια των θερμοκηπίων, τη δυναμικότητα των θερμοκηπίων και την απαίτηση των χώρων αποθήκευσης. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, η απαιτούμενη επιφάνεια για το σενάριο ένα είναι περίπου 0,5 στρέμμα, για το σενάριο δύο είναι 1 στρέμμα, ενώ για το σενάριο τρία είναι 1,55 στρέμματα.

Θεωρώντας ότι οι εγκαταστάσεις διαχείρισης της υλός παρόμοιας δυναμικότητας κυμαίνονται από 0,5 έως 3 στρέμματα, προκύπτει ότι η βαθμολογία του πρώτου είναι (5), του δεύτερου σεναρίου (4), και του τρίτου σεναρίου (3).

Πίνακας 34. Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση την απαίτηση εκτάσεων.

ΣΕΝΑΡΙΑ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ
Σενάριο 1: Θερμική ξήρανση	5
Σενάριο 2: Κομποστοποίηση	4
Σενάριο 3: Ηλιακή ξήρανση	3

6.2.1.4 Νομοθετικά κριτήρια

Τα εναλλακτικά σενάρια δεν θα μπορούσαν να υλοποιηθούν, παρά τα πλεονεκτήματα που μπορεί να διαθέτουν, εάν δεν είναι συμβατά με την εθνική και κοινοτική νομοθεσία. Ωστόσο, η εν λόγω απαίτηση καλύπτεται κατά το στάδιο αδειοδότησης της εκάστοτε διαδικασίας, επομένως, το κριτήριο αξιολόγησης είναι η αισθητική όχληση που μπορεί να δημιουργηθεί από τη χρήση της εκάστοτε τεχνολογίας και να επιφέρει κοινωνικές αντιδράσεις, καθώς και η ευελιξία του κάθε σεναρίου σε μελλοντικές μεταβολές του νομοθετικού πλαισίου.

Ευελιξία σε μελλοντικές μεταβολές νομοθετικού πλαισίου

Είναι σαφές ότι υπάρχει η τάση για μελλοντική αυστηροποίηση της νομοθεσίας. Συγκεκριμένα, τα όρια των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων πρόκειται να αυστηροποιηθούν, ενώ είναι πιθανό να τεθούν όρια και ως προς τη συγκέντρωση των μικροοργανισμών. Έχοντας κατανοήσει την τάση εξέλιξης του νομοθετικού πλαισίου, θα πρέπει τα παραγόμενα προϊόντα να εξασφαλίζουν όσο το δυνατόν καλύτερα χαρακτηριστικά. Κάτι τέτοιο συνεπάγεται, αφενός, οριζόντια μείωση των βαρέων μετάλλων στην λύ και αφετέρου, την αποτελεσματική υγειονομοποίησή της.

Αναφορικά με τη μέθοδο της κομποστοποίησης που προτείνεται στο πλαίσιο του δεύτερου σεναρίου, οδηγεί στη μείωση της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων, καθώς αυξάνεται η μάζα των στερεών με τη χρήση διογκωτικών, ωστόσο, δεν μειώνει τη μάζα των βαρέων μετάλλων στο compost. Βέβαια με τη χρήση κατάλληλων προσροφητικών μέσων μπορεί να γίνει η απομάκρυνση βαρέων μετάλλων από το compost. Η τεχνική αυτή, σύμφωνα με τις εφαρμογές που έχουν αναφερθεί στη διεθνή βιβλιογραφία, φαίνεται να έχει αξιοσημείωτα αποτελέσματα ως προς την απομάκρυνση των βαρέων μετάλλων.

Αντιθέτως, οι μέθοδοι της θερμικής και ηλιακής ξήρανσης, που προτείνονται στο δεύτερο και τρίτο σενάριο, σύμφωνα με τις υπάρχουσες τεχνικές δεν εμφανίζουν ευελιξία. Βάσει των παραπάνω και με γνώμονα την ολοένα και μεγαλύτερη αυστηροποίηση των ορίων της συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων, μια ρεαλιστική λύση δίνεται στο δεύτερο σενάριο και για τον λόγο αυτό βαθμολογείται με (4). Ο λόγος που δεν βαθμολογείται με (5) είναι επειδή οδηγεί στη μείωση της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων, ωστόσο, δεν λύνει το πρόβλημα της σταθερότητας. Τα σενάρια ένα και τρία βαθμολογούνται με (2) και όχι με 1, καθώς είναι πιθανό να υπάρξει κάποια παραλλαγή των μεθόδων, η οποία θα είναι κατάλληλη για τη διαχείριση των βαρέων μετάλλων.

Πίνακας 35. Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση την ευελιξία εναρμονισμού σε μελλοντικές νομοθετικές μεταρρυθμίσεις.

ΣΕΝΑΡΙΑ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ
Σενάριο 1: Θερμική ξήρανση	2
Σενάριο 2: Κομποστοποίηση	4
Σενάριο 3: Ηλιακή ξήρανση	2

Εκτιμώμενες κοινωνικές αντιδράσεις από τη χρήση της τεχνολογίας- Αισθητική όχληση

Λαμβάνοντας υπόψη τη φύση της μεθόδου που προτείνεται στο πλαίσιο του κάθε σεναρίου, καθώς και τις εφαρμογές των μεθόδων επεξεργασίας υλός ανά τον κόσμο, παρατηρείται ότι οι μονάδες που μπορούν να στεγαστούν εξολοκλήρου εντός κτηριακών εγκαταστάσεων, δεν επιφέρουν κάποια αισθητική όχληση, αντιθέτως το πρόβλημα της αισθητικής έγκειται εξολοκλήρου στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό. Τέτοια περίπτωση αποτελεί η μονάδα θερμικής ξήρανσης του πρώτου σεναρίου. Το

πρώτο σενάριο βαθμολογείται με (4). Η μερική καύση της ιλός για την ικανοποίηση των ενεργειακών απαιτήσεων του ξηραντή, δεν αναμένεται να προκαλέσει σημαντικές κοινωνικές αντιδράσεις, καθώς η ποσότητα που αξιοποιείται είναι σημαντικά μικρή. Τέλος, το δεύτερο και τρίτο σενάριο βαθμολογούνται με (5), καθώς δεν αναμένονται κοινωνικές αντιδράσεις, ούτε πρόκειται να υπάρξει αισθητική όχληση, λαμβάνοντας υπόψη το χαρακτηριστικό σχήμα των θερμοκηπίων, που παραπέμπει στην ύπαρξη κοινών καλλιεργειών.

Πίνακας 36. Βαθμολόγηση σεναρίων με βάση τις κοινωνικές αντιδράσεις και την αισθητική όχληση.

ΣΕΝΑΡΙΑ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ
Σενάριο 1: Θερμική ξήρανση	4
Σενάριο 2: Κομποστοποίηση	5
Σενάριο 3: Ηλιακή ξήρανση	5

6.2.2 Αποτελέσματα πολυκριτηριακής ανάλυσης Μονάδας για τις Νησιωτικές Περιοχές

Σύμφωνα με τα παραπάνω, διαμορφώθηκε η συνολική βαθμολογία των σεναρίων, όπως παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί, στον οποίο συνοψίζονται τα αποτελέσματα της πολυκριτηριακής ανάλυσης.

«Ανάλυση βιωσιμότητας μέσω πολυκριτηριακής ανάλυσης εναλλακτικών δυνατοτήτων και τεχνολογιών διαχείρισης υλός στην Ελλάδα» | Διπλωματική εργασία- Τσόμπος Αλέξανδρος

Πίνακας 37. Βαθμολογία σεναρίων σύμφωνα με τα κριτήρια που έχουν ορισθεί.

ΚΡΙΤΗΡΙΑ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ	ΣΕΝΑΡΙΟ 1 Θερμική ξήρανση	ΣΕΝΑΡΙΟ 2 Κομποστοποίηση	ΣΕΝΑΡΙΟ 3 Ηλιακή ξήρανση
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ				
Ποιοτικά χαρακτηριστικά τελικού προϊόντος	15%	3	5	2
Αέριες εκπομπές-οσμές	10%	3	4	3
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ				
Ευελιξία σε μελλοντικές μεταβολές ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών εισερχόμενης υλός	12%	4	4	3
Βαθμός τεχνολογικής ωριμότητας / προγενέστερη εμπειρία	10%	5	4	3
Εξειδικευμένο προσωπικό	3%	5	3	4
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ				
Κόστος επένδυσης	10%	1	3	3

«Ανάλυση βιωσιμότητας μέσω πολυκριτηριακής ανάλυσης εναλλακτικών δυνατοτήτων και τεχνολογιών διαχείρισης υλούς στην Ελλάδα» | Διπλωματική εργασία- Τσόμπος Αλέξανδρος

Κόστος λειτουργίας και συντήρησης	5%	2	5	3
Διαθεσιμότητα τελικών αποδεκτών	10%	4	4	2
ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ				
Απαίτηση εκτάσεων	10%	5	4	3
ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ				
Ευελιξία σε μελλοντικές μεταβολές νομοθετικού πλαισίου	10%	2	4	2
Εκτιμώμενες κοινωνικές αντιδράσεις από τη χρήση της τεχνολογίας- Αισθητική όχληση	5%	4	5	5
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ		3.38	4.12	2.78

Εξετάζοντας τα αποτελέσματα της πολυκριτηριακής ανάλυσης των εναλλακτικών σεναρίων, γίνεται αντιληπτό ότι το βέλτιστο σενάριο για τη διαχείριση και αξιοποίηση της ιλύος, που παράγεται από τις ΜΚΑ των νησιωτικών περιοχών, είναι το δεύτερο, όπου προτείνεται η κατασκευή μονάδας κομποστοποίησης. Συγκεκριμένα, η εφαρμογή της μεθόδου του δεύτερου σεναρίου οδηγεί στην παραγωγή compost, το οποίο θα είναι κατάλληλο για εδαφική αξιοποίηση, ενώ παράλληλα, θα υπερτερεί συγκριτικά με άλλα εδαφοβελτιωτικά.

Ως δεύτερη εναλλακτική λύση, σύμφωνα με την πολυκριτηριακή ανάλυση, είναι η θερμική επεξεργασία, μια μέθοδος που έχει εφαρμοστεί αρκετά και έχει δώσει, έως τώρα, λύση στα θέματα διαχείρισης της ιλύος. Ωστόσο, η αβεβαιότητα για τη ζήτηση του τελικού προϊόντος σε συνδυασμό με το υψηλό κόστος επένδυσης και λειτουργίας την καθιστούν λιγότερο ανταγωνιστική. Τέλος, ως τρίτη λύση εκλέχθηκε αυτή της ηλιακής ξήρανσης. Παρά το σχετικά μικρό κόστος επένδυσης, δημιουργούνται προβλήματα ως προς τον απαιτούμενο χώρο και τον τρόπο αποθήκευσης των παραγόμενων ποσοτήτων. Τέλος, βασικό μειονέκτημα είναι ότι η ζήτηση από την αγροτικό τομέα μπορεί να μην καλύπτει τους ρυθμούς παραγωγής.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτέλεσε η ανάδειξη της βέλτιστης λύσης, η οποία θα είναι περιβαλλοντικά και νομοθετικά ευθυγραμμισμένη, καθώς και οικονομικά και τεχνικά εφικτή, για τη διαχείριση και αξιοποίηση της υλός που παράγεται από τις ΜΚΑ σε ηπειρωτικές και νησιωτικές περιοχές. Κατά την εκπόνηση της εργασίας, λήφθηκαν υπόψη μια σειρά από κρίσιμες παραμέτρους, σε σχέση με την εξέταση και αξιολόγηση των βέλτιστων τεχνικών και τεχνολογικών επιλογών, με στόχο τη δημιουργία ενός ολιστικού, ορθολογικού και αειφορικού σχεδίου για την αποτελεσματική διαχείριση της παραγόμενης υλός, σύμφωνα με τις απαιτήσεις της νομοθεσίας.

Η κάθε μονάδα έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά, ανάλογα με τη δυναμικότητα και το είδος των υγρών αποβλήτων που επεξεργάζεται. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, μελετήθηκε η δημιουργία δύο μονάδων διαχείρισης υλός. Η πρώτη αφορά στην κατασκευή μιας μονάδας διαχείρισης, η οποία θα επεξεργάζεται την υλύ που παράγεται από τις ΜΚΑ ηπειρωτικών περιοχών, ενώ η δεύτερη μονάδα αφορά τις Μονάδες Καθαρισμού υγρών Αποβλήτων που βρίσκονται σε νησιωτικές περιοχές.

Το προτεινόμενο σχέδιο διαχείρισης της υλός, που παράγεται από τις ΜΚΑ, προβλέπει την **κατασκευή δύο μονάδων διαχείρισης υλός**. Η πρώτη μονάδα αφορά στην κατασκευή μιας **μονάδας αναερόβιας συγχώνευσης, συμπαγωγής ενέργειας και κομποστοποίησης**, η οποία προτείνεται για την εξυπηρέτηση των Μονάδων που χωροθετούνται σε ηπειρωτικές περιοχές. Η δεύτερη μονάδα αφορά στην κατασκευή μιας μονάδας **κομποστοποίησης, η οποία θα επεξεργάζεται την παραγόμενη υλύ** από τις ΜΚΑ σε νησιωτικές περιοχές.

Αναφορικά με την κατασκευή της μονάδας διαχείρισης υλός για Μονάδες που βρίσκονται στην ηπειρωτική χώρα, λαμβάνοντας υπόψη την ισχύουσα νομοθεσία σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο, περί διαχείρισης και αξιοποίησης της υλός, τις πλέον εφαρμοζόμενες μεθόδους διαχείρισης υλός ανά τον κόσμο, καθώς και τη διεθνή επιστημονική βιβλιογραφία, εκλέχθηκαν 4 εναλλακτικά σενάρια διαχείρισης. Τα σενάρια που επιλέχθηκαν παρουσιάζονται, συνοπτικά, στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 38. Συνοπτική παρουσίαση εναλλακτικών σεναρίων μονάδας διαχείρισης υλός από Μονάδες της ηπειρωτικής χώρας.

ΣΕΝΑΡΙΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Σενάριο 1	Αναερόβια συγχώνευση - κομποστοποίηση

Σενάριο 2	Θερμική ξήρανση
Σενάριο 3	Ηλιακή ξήρανση
Σενάριο 4	Ξήρανση - πυρόλυση

Για την αξιολόγηση των σεναρίων και την εκλογή του βέλτιστου, εφαρμόστηκε η μέθοδος της πολυκριτηριακής ανάλυσης, μέσα από την καταγραφή της απόδοσης του εκάστοτε σεναρίου, ως προς τα περιβαλλοντικά, τεχνικά, χωροταξικά, οικονομικά και νομοθετικά κριτήρια που τέθηκαν, αποδίδοντας την ανάλογη βαρύτητα σε κάθε κατηγορία κριτηρίων. Από την εφαρμογή της πολυκριτηριακής ανάλυσης προέκυψε ότι η βέλτιστη τεχνολογία για τη διαχείριση της υλός, που παράγεται από τις ΜΚΑ, είναι η αναερόβια συγχώνευση – κομποστοποίηση. Πιο συγκεκριμένα, στο σενάριο αυτό, προτείνεται η κατασκευή μιας μονάδας παραγωγής βιοαερίου δυναμικότητας 1 MW, μέσω της αναερόβιας συγχώνευσης της υλός και άλλων κατάλληλων αγροτοβιομηχανικών αποβλήτων. Το χωνεμένο μείγμα, αφού προετοιμαστεί καταλλήλως, προτείνεται να επεξεργάζεται περαιτέρω, με στόχο την παραγωγή compost. Τόσο η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από το βιοαέριο, όσο και το compost αποτελούν εμπορεύσιμα προϊόντα. Τα βασικότερα πλεονεκτήματα που συγκεντρώνουν οι προτεινόμενες τεχνολογίες διαχείρισης της υλός είναι τα εξής:

1. Παρέχεται η δυνατότητα επεξεργασίας διαφορετικών αποβλήτων, εξαιρουμένης της υλός, συνεπώς, συμβάλλοντας θετικά ως προς την ορθολογική διαχείριση των παραγόμενων αποβλήτων, με τη σταδιακή εφαρμογή της θεωρίας της κυκλικής οικονομίας.
2. Ελαχιστοποιείται η διάθεση της υλός σε Χ.Υ.Τ.Α.
3. Μέσω της αναερόβιας χώνευσης, περιορίζονται σημαντικά οι αέριες εκπομπές στο περιβάλλον, καθώς τα παραγόμενα αέρια δεν διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα.
4. Σε ότι αφορά το λειτουργικό μέρος της αναερόβιας χώνευσης, η συγχώνευση διαφόρων πηγών αποβλήτων, οδηγεί στη μεγιστοποίηση της παραγόμενης ενέργειας με τη μορφή βιοαερίου, καθώς επίσης, η συγκέντρωση του μεθανίου CH_4 , μεγιστοποιείται έναντι του διοξειδίου του άνθρακα CO_2 . Εγκαταστάσεις ανά τον κόσμο έχουν καταφέρει να επιτύχουν την αυτοϊκανοποίηση των ενεργειακών τους απαιτήσεων, καθώς και την πώληση του βιοαερίου σε φορείς παραγωγής και διαχείρισης ενέργειας.
5. Το χωνεμένο προϊόν έχει σημαντικά περιθώρια επεξεργασίας με στόχο τη βελτίωσή του, μέσω της κομποστοποίησης. Χαρακτηριστικά όπως, 1) ο ικανοποιητικός βαθμός υγειονομοποίησης, 2) η σε μεγάλο βαθμό απαλλαγή από οσμές, 3) η μειωμένη ποσότητα νερού, με ποσοστό οργανικού κλάσματος που ανέρχεται έως και 60%, και τέλος, 4) η ικανοποιητική υφή του προϊόντος, επιτρέπουν την επιχειρηματική διαχείριση του προϊόντος.
6. Η μέθοδος της κομποστοποίησης χαρακτηρίζεται από μικρό κόστος κατασκευής και λειτουργίας.

7. Τόσο η αναερόβια χώνευση, όσο και η κομποστοποίηση είναι μέθοδοι που έχουν εφαρμοστεί ευρέως τόσο στην Ευρώπη, όσο και στη Βόρεια Αμερική. Το μεγάλο εύρος εφαρμογών έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη τεχνικών βελτιστοποίησης της λειτουργίας αυτής. Συνεπώς, η εμπειρία θα οδηγήσει στην αποδοτική λειτουργία της μεθόδου.
8. Επιπρόσθετα, η ειδοποιός διαφορά, που χαρακτηρίζει το προτεινόμενο σενάριο, έναντι των υπολοίπων, είναι η δυνατότητα παραγωγής εμπορεύσιμων προϊόντων, όπως είναι το compost και το βιοαέριο, τα οποία θα έχουν πολύ καλά χαρακτηριστικά, για αξιοποίηση στη γεωργία και στον κλάδο της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αντίστοιχα.

Τέλος, αναφορικά με την κατασκευή μονάδας διαχείρισης υλός, η οποία θα επεξεργάζεται την ιλύ που παράγεται από τις ΜΚΑ νησιωτικών περιοχών, εξετάστηκαν τρία εναλλακτικά σενάρια. Ειδικότερα, τα εναλλακτικά σενάρια που εξετάστηκαν παρουσιάζονται, συνοπτικά, στο πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 39. Συνοπτική παρουσίαση εναλλακτικών σεναρίων διαχείρισης υλός από Μονάδες σε νησιωτικές περιοχές.

ΣΕΝΑΡΙΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Σενάριο 1	Θερμική ξήρανση
Σενάριο 2	Κομποστοποίηση
Σενάριο 3	Ηλιακή ξήρανση

Ομοίως με τις ανωτέρω πολυκριτηριακές αναλύσεις, τα κριτήρια που αξιολογήθηκαν ήταν περιβαλλοντικά, τεχνικά, χωροταξικά, οικονομικά και νομικά. Από την εφαρμογή της πολυκριτηριακής ανάλυσης, προέκυψε ότι το βέλτιστο σενάριο αναφορικά με τη διαχείριση της υλός, που παράγεται από τις ΜΚΑ των νησιωτικών περιοχών, είναι το Σενάριο 2, όπου προτείνεται η κατασκευή μονάδας κομποστοποίησης. Ειδικότερα, τα βασικότερα πλεονεκτήματα που συγκεντρώνει η προτεινόμενη μονάδα είναι τα ακόλουθα:

1. Ορθολογική διαχείριση των παραγόμενων αποβλήτων, δημιουργώντας ένα ποιοτικό προϊόν και σταδιακή υιοθέτηση δράσεων κυκλικής οικονομίας,
2. Ελαχιστοποίηση της διάθεσης της υλός από τους Χ.Υ.Τ.Α.,
3. Μικρό κόστος κατασκευής και λειτουργίας,
4. Υψηλό επίπεδο τεχνογνωσίας, αναφορικά με τον σχεδιασμό και τη λειτουργία της μονάδας.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική βιβλιογραφία

- Αγγελάκης, Α., Βούρβαχη, Κ., Διαβάτης, Η., Ευμορφοπούλου, Α., Κάρτσωνας, Ν., Μαμάης, Δ., Μποσδογιάννη, Α., Στάμου, Α. (2005) *Εναλλακτικοί τρόποι διαχείρισης των παραπροϊόντων από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λημμάτων*. Αθήνα: ΤΕΕ
- Ανδρεαδάκης, Α. (2015) *Επεξεργασία και διαχείριση λυμάτων και υλός*. ΝΤΥΑ.
- Ανδρεαδάκης, Α., Μαμάης, Δ., Ντινοπούλου, Γ., Τζίμας, Α., 'Ασβεστοποίηση υλός από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων'. Αθήνα: ΕΜΠ
- Αργύρης Παπακωνσταντίνου (2019) 'Βιώσιμη διαχείριση υλός αστικών λυμάτων στην κυκλική οικονομία', *Water conference 2019*. Αμφιθέατρο Maroussi Plaza, 2 Δεκεμβρίου 2019. Λάρισα: Ε.Δ.Ε.Υ.Α. |
- Ελληνική Δημοκρατία. (2015) *Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων*.
- ΕΠΤΑ Ε.Π.Ε. (2010) *Μελέτη χωροθέτησης εργοστασίου επεξεργασίας στερεών αποβλήτων, ανάλυση και εξέταση των διαθέσιμων τεχνολογιών επεξεργασίας ΑΣΑ για την Περιφέρεια Ηπείρου*. Αθήνα: Ε.Π.Τ.Α. Σύμβουλοι – Μελετητές Περιβαλλοντικών Έργων
- Κελεσιδής, Α. (2010) *Διερεύνηση των μεθόδων επεξεργασίας και τελικής διάθεσης της υλός στις χώρες της ευρωπαϊκής ένωσης*. (Διδακτορική Διατριβή): Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.
- Κελεσιδής, Α. (2017) 'Εναλλακτικές μέθοδοι διαχείρισης υλός από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων και επιλογή του βέλτιστου σεναρίου με χρήση πολυκριτηριακής ανάλυσης', *VERDE.TEC 2017*. Μεσογειακό Εκθεσιακό Κέντρο (Μ.Ε.Σ.), 2 -5 Μαρτίου 2017, Παιανία Αττικής.
- Μαργαρίτης Μ. (2012) *Αξιοποίηση του βιοαποδομήσιμου κλάσματος απορριμμάτων με χρήση πρότυπου συστήματος οικιακού τύπου*. (Διδακτορική Διατριβή). Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Ναούμ, Κ.Ν. (2016) *Ανάπτυξη συστημάτων επεξεργασίας της υλός από απόβλητα*. (Διδακτορική Διατριβή). Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Παπαβασιλόπουλος Ε.Ν., *Διαχείριση – Αξιοποίηση των Βιοστερεών στην Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας Θεσμικό πλαίσιο*. Αθήνα: ΜΟΔ/ ΜΤΥ ΥΠΕΚΑ
- Παπακωνσταντίνου, Α., Σειταρίδης Θ. (2015), 'Διαχείριση υλός Εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων στην Ελλάδα Υφιστάμενης κατάστασης & προοπτικές', *Ημερίδα: «Σχεδιασμός – Υλοποίησης και Διαχείρισης έργων και εγκαταστάσεων των Δ.Ε.Υ.Α. στις νέες συνθήκες - Προβλήματα και προοπτικές»*. Λάρισα, 2015.
- Στεφανάκου, Τ. (2013) *Παραγωγή, διαχείριση και αξιοποίηση της ξηραμένης υλός του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων Ψυττάλειας*. Αθήνα: ΕΥΔΑΠ.

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- Andreadakis, A.D., Mamais, D., Gavalaki, E., Kampylafka, S., (2002) *Sludge utilisation in agriculture: possibilities and Prospects in Greece*. Water Science & Technology 46(10):231-8 DOI: 10.2166/wst.2002.0340.
- Appels, L. et al. (2008) 'Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge', *Progress in Energy and Combustion Science*, 34(6), pp. 755–781. doi: 10.1016/j.pecs.2008.06.002.
- Bharathiraja, B. et al. (2018) 'Biogas production – A review on composition, fuel properties, feed stock and principles of anaerobic digestion', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, 90(August 2017), pp. 570–582. doi: 10.1016/j.rser.2018.03.093.
- Bianchini, A., Bonfiglioli, L., Pellegrini, M., Saccani, C. (2016) *Sewage sludge management in Europe: a critical analysis of data quality*, *Int. J. Environment and Waste Management*, Vol. 18, No. 3, 2016.
- Bolzonella, D. et al. (2005) 'Mesophilic anaerobic digestion of waste activated sludge: Influence of the solid retention time in the wastewater treatment process', *Process Biochemistry*, 40(3–4), pp. 1453–1460. doi: 10.1016/j.procbio.2004.06.036.
- Callegari, A. and Capodaglio, A. G. (2018) 'Properties and beneficial uses of (bio)chars, with special attention to products from sewage sludge pyrolysis', *Resources*, 7(1). doi: 10.3390/resources7010020.
- Chatzikosma, D., Tsagas, F., Chasapopoulou, A., Protopapas, A.L., Zagorianakos, E. (2006) *Assessment of Options for Sustainable Management of Psittalia's Wastewater Sludge*. WSEAS TRANSACTIONS ON ENVIRONMENT and DEVELOPMENT, Issue 5, Vol 2. May 2006 ISSN:1790-5079, p.667-676.
- Chatzipaschali, A. A. and Stamatis, A. G. (2012) 'Biotechnological utilization with a focus on anaerobic treatment of cheese whey: Current status and prospects', *Energies*, 5(9), pp. 3492–3525. doi: 10.3390/en5093492.
- Davis, M. L. (2010) *Secondary Treatment By Suspended Growth Biological Processes*, Chapter (McGraw-Hill Professional, 2010), *Access Engineering, Water and Wastewater Engineering: Design Principles and Practice*.
- Durdević, D., Trstenjak, M. and Hulenčić, I. (2020) 'Sewage sludge thermal treatment technology selection by utilizing the analytical hierarchy process', *Water (Switzerland)*, 12(5). doi: 10.3390/W12051255.
- Grosser, A. (2018) 'Determination of methane potential of mixtures composed of sewage sludge, organic fraction of municipal waste and grease trap sludge using biochemical methane potential assays. A comparison of BMP tests and semi-continuous trial results', *Energy*. Elsevier Ltd, 143, pp. 488–499. doi: 10.1016/j.energy.2017.11.010.

- Haider, S. *et al.* (2003) 'The effect of low sludge age on wastewater fractionation (SS, SI)', *Water Science and Technology*, 47(11), pp. 203–209. doi: 10.2166/wst.2003.0606.
- Ilias, A., Panoras, A., Angelakis A. (2014), *Wastewater Recycling in Greece: The Case of Thessaloniki*, Sustainability 2014, 6, 2876-2892; doi:10.3390/su6052876.
- Kantza E. (2011) "Evaluation of methods for sewage sludge utilization: The Greek perspective", School of science & technology, (Thesis). Thessaloniki – Greece: School of Science & Technology
- Karaca, C. *et al.* (2018) 'High temperature pyrolysis of sewage sludge as a sustainable process for energy recovery', *Waste Management*. Elsevier Ltd, 78, pp. 217–226. doi: 10.1016/j.wasman.2018.05.034.
- Karagiannidisa, A., Samarasb, P., Kasampalisa, T., Perkoulidisa, G., Ziogasa, P., Zorpasc, A., (2011) *Evaluation of sewage sludge production and utilization in Greece in the frame of integrated energy recovery*. Desalination and Water Treatment 33 (2011) 185–193.
- Kythreotou, N., Florides, G. and Tassou, S. A. (2014) 'A review of simple to scientific models for anaerobic digestion', *Renewable Energy*. Elsevier Ltd, 71, pp. 701–714. doi: 10.1016/j.renene.2014.05.055.
- Loizidou, M., Malamis, D., Malamis, S., Xydis, G., Moustakas, K. (2006), *Design and Application of an Innovative Composting Unit for the Effective Treatment of Sludge and other Biodegradable Organic Waste in Morocco, Deliverable 2: Assessment of the existing situation and the related legislation in the EU in connection to sludge management*. MOROCOMP (LIFE TCY05/MA000141).
- Lu, T. *et al.* (2012) 'On the pyrolysis of sewage sludge: The influence of pyrolysis temperature on biochar, liquid and gas fractions', *Advanced Materials Research*, 518–523, pp. 3412–3420. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.518-523.3412.
- Maragkaki, A. E. *et al.* (2017) 'Pilot-scale anaerobic co-digestion of sewage sludge with agro-industrial by-products for increased biogas production of existing digesters at wastewater treatment plants', *Waste Management*. Elsevier Ltd, 59, pp. 362–370. doi: 10.1016/j.wasman.2016.10.043.
- Mata-Alvarez, J. *et al.* (2014) 'A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 36, pp. 412–427. doi: 10.1016/j.rser.2014.04.039.
- Mata-Alvarez, J., Macé, S. and Llabrés, P. (2000) 'Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives', *Bioresource Technology*, 74(1), pp. 3–16. doi: 10.1016/S0960-8524(00)00023-7.

- Metcalf & Eddy, I. (1995) 'Metcalf-Eddy Wastewater Engineering Treatment and Reuse', pp. 129–130.
- Milieu Ltd, WRc, RPA for the (2010), *Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land, Final Report, Part III: Project Interim Reports*. European Commission, DG Environment under Study Contract DG ENV.G.4/ETU/2008/0076r.
- Mottet, A. *et al.* (2010) 'Estimating anaerobic biodegradability indicators for waste activated sludge', *Chemical Engineering Journal*, 160(2), pp. 488–496. doi: 10.1016/j.cej.2010.03.059.
- Pantaleo, A., Gennaro, B. De and Shah, N. (2013) 'Assessment of optimal size of anaerobic co-digestion plants: An application to cattle farms in the province of Bari (Italy)', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 20, pp. 57–70. doi: 10.1016/j.rser.2012.11.068.
- Rosiek, K. (2020), *Directions and Challenges in the Management of Municipal Sewage Sludge in Poland in the Context of the Circular Economy*. Sustainability 2020, 12(9), 3686; <https://doi.org/10.3390/su12093686>.
- Samolada, M.C., Zabaniotou, A.A. (2014) *Comparative assessment of municipal sewage sludge incineration, gasification and pyrolysis for a sustainable sludge-to-energy management in Greece*. Waste Management 34 (2014) p.411–420.
- Shaddel, S., Bakhtiary-Davijany, H., Kabbe, C., Dadgar, F., W. Østerhus, S. (2019), *Sustainable Sewage Sludge Management: From Current Practices to Emerging Nutrient Recovery Technologies*. Sustainability 2019, 11, 3435. doi:10.3390/su11123435 www.mdpi.com/journal/sustainability.
- Smith, S. R., *Management, use, and disposal of sewage sludge*. ©Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS).
- Szaja, A. and Montusiewicz, A. (2019) 'Enhancing the co-digestion efficiency of sewage sludge and cheese whey using brewery spent grain as an additional substrate', *Bioresource Technology*. Elsevier, 291(July), p. 121863. doi: 10.1016/j.biortech.2019.121863.
- Tallou, A. *et al.* (2020) 'Assessment of biogas and biofertilizer produced from anaerobic co-digestion of olive mill wastewater with municipal wastewater and cow dung', *Environmental Technology and Innovation*. Elsevier B.V., 20, p. 101152. doi: 10.1016/j.eti.2020.101152.
- Tomasi Morgano, M. *et al.* (2018) 'Screw pyrolysis technology for sewage sludge treatment', *Waste Management*. Elsevier Ltd, 73(June), pp. 487–495. doi: 10.1016/j.wasman.2017.05.049.
- University of Liège (2019), *'Book of abstracts'*, 5th European Conference on Sludge management. Belgium 6-7-8 October 2019. Belgium: University of Liège.

9. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΙΛΥΟΣ

9.1 Μέθοδοι επεξεργασίας της ιλός

9.1.1 Αλκαλική σταθεροποίηση - Ασβεστοποίηση

Περιγραφή μεθόδου

Η αλκαλική σταθεροποίηση, είναι μια μέθοδος επεξεργασίας της ιλός, που έχει ως στόχο τη βελτίωση της ποιότητάς της και την εξάλειψη των αρνητικών της ουσιών, με τη χρήση αλκαλικών υλικών και πιο συγκεκριμένα κυρίως με τη χρήση ασβέστου, καθιστώντας με αυτό τον τρόπο τη μέθοδο της ασβεστοποίησης ως την πιο γνωστή. Η ασβεστοποίηση είναι μια διαδεδομένη μέθοδος υγειονομοποίησης και σταθεροποίησης της ιλός, με χρήση είτε οξειδίου του ασβεστίου CaO , είτε με ασβέστη σε ένυδρη μορφή Ca(OH)_2 , με σκοπό τη δημιουργία ενός ομοιόμορφου μίγματος με τιμή του $\text{pH} \geq 12$, ώστε να καταστραφεί ή να περιορισθεί η βιομάζα που είναι υπεύθυνη για τη διάσπαση των οργανικών συστατικών της ιλός. Παράλληλα, η επεξεργασία της ιλός με ασβέστη επιτυγχάνει απολύμανσή της και αύξηση της περιεκτικότητάς της σε ξηρά ύλη, με αποτέλεσμα το τελικό προϊόν να μπορεί να διαχειριστεί πιο εύκολα.

- Στην περίπτωση χρήσης CaO , ταυτόχρονα με την αύξηση του pH , επέρχεται και σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας λόγω της εξώθερμης αντίδρασης του CaO με το νερό της ιλός, η οποία συμβάλλει στην καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών. Ο απαιτούμενος χρόνος διατήρησης του υψηλού pH ανέρχεται σε 2 ώρες, με ταυτόχρονη διατήρηση της θερμοκρασίας στους 55°C τουλάχιστον.
- Στην περίπτωση χρήσης Ca(OH)_2 το πλεονέκτημα της αυξημένης θερμοκρασίας δεν υφίσταται, ενώ ο απαιτούμενος χρόνος διατήρησης του υψηλού pH ανέρχεται σε διάστημα ολίγων εβδομάδων μέχρι 3 μηνών.

Η επεξεργασία της ιλός με άσβεστο περιλαμβάνει μια σειρά από χημικές αντιδράσεις που τροποποιούν τα χημικά και φυσικά χαρακτηριστικά της ιλός. Όταν προστίθεται CaO , εκλύεται θερμότητα με δυνατότητα ανόδου της θερμοκρασίας του μίγματος στους 70°C και τη δυνατότητα παστερίωσης. Κατά τη βιολογική δράση, παράγονται ενώσεις (CO_2 , οργανικά οξέα, κλπ) που, αντιδρώντας με την άσβεστο, μειώνουν το pH του μίγματος, με αποτέλεσμα την ανεπαρκή σταθεροποίηση της ιλός, ενώ σημαντικός παράμετρος σχεδιασμού είναι η σωστή δοσολογία ασβέστου, ώστε να διατηρείται υψηλό pH για ικανή χρονική περίοδο.

Η προσθήκη της ασβέστου στην ιλύ μπορεί να γίνει είτε πριν από την αφυδάτωση (προεπεξεργασία με άσβεστο), είτε μετά την αφυδάτωση (μετα-επεξεργασία με άσβεστο), με πολύ πλεονεκτικότερη την τελευταία ιδιαίτερα για $> 15\%$ DS. Ειδικότερα, έχει αποδειχθεί σε πολλές μελέτες ότι η προσθήκη ασβέστου σε

αφυδατωμένη ιλύ με αναλογία 30 – 50% σε ξηρή βάση (δηλ. 0,3 – 0,5 kg CaO/ kg DS) οδηγεί στην παραγωγή βιοστερεών με μη ανιχνεύσιμη συγκέντρωση παθογόνων μικροοργανισμών. Έχει αποδειχθεί ότι για κάθε ποσοστό % CaO που προστίθεται στην ιλύ, πραγματοποιείται αύξηση των στερεών ίση με 1%. Δηλαδή, με δεδομένη μια τυπική δόση CaO 10% και συγκέντρωση (στερεών) αφυδατωμένης ιλύος 20%, τα στερεά του τελικού προϊόντος υπολογίζονται σε 30% TS. Η ενέργεια που απαιτείται για την επίτευξη σταθεροποίησης της ιλύος με τη συγκεκριμένη μέθοδο εκτιμάται σε 5 kWh/t DS και περιλαμβάνει τις απαιτήσεις για ανάμιξη και άντληση. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της μεθόδου της ασβεστοποίησης.

Πίνακας 40. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου της ασβεστοποίησης.

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Υγειονοποίηση της ιλύος και παραγωγή προϊόντος κατάλληλου για γεωργική χρήση, με έμφαση σε εδάφη χαμηλού pH.	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 του ασβέστη απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή.
Λειτουργική απλότητα.	Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος επηρεάζονται σε σημαντικό βαθμό από την ομογενοποίηση της ιλύος.
Μικρές απαιτήσεις χώρου.	Η απόδοση του τελικού προϊόντος εξαρτάται από συγκεκριμένες προδιαγραφές ποσοτήτων ανάμειξης της ιλύος με ασβέστη που επηρεάζει σημαντικά την υγειονοποίησή της.
Λειτουργική ευελιξία και μεταβλητή δυναμικότητα.	Έκλυση οσμών αμμωνίας.
	Μικρή μείωση του όγκου του τελικού προϊόντος συγκριτικά με άλλες μεθόδους, ειδικά στην περίπτωση εφαρμογής δόσης ασβέστη 10%.
	Ο ασβέστης είναι ένα επικίνδυνο προϊόν με διαβρωτική δράση απαιτώντας

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
	Ιδιαίτερες προφυλάξεις για την ασφάλεια του προσωπικού σε οποιαδήποτε φάση διαχείρισής του.

Χαρακτηριστικά τελικού προϊόντος

Η μέθοδος της ασβεστοποίησης οδηγεί στην αύξηση των στερεών, δημιουργώντας ένα πιο συνεκτικό τελικό προϊόν, το οποίο δίνει τη δυνατότητα καλύτερης αποθήκευσης και διαχείρισης. Επιπρόσθετα, 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 άχρωμο αέριο ή υγρό με έντονα διαπεραστική και ενοχλητική οσμή, που περιέχει οργανικό άζωτο και αποτελεί φυσικό παραπροϊόν της αντίδρασης της ιλύος με τον ασβέστη. Χαρακτηριστικό της αμμωνίας, που εκλύεται από τους αναμίχτες ιλύος και ασβέστη, είναι ότι συσσωρεύεται στην οροφή των κτιρίων που πραγματοποιείται η ασβεστοποίηση, γεγονός που οφείλεται στο ότι είναι ελαφρότερη από τον αέρα, που σε συνδυασμό με την εκλυόμενη θερμότητα από την εξώθερμη αντίδραση, οδηγεί στην κίνησή της προς τα πάνω. Η ποσότητα αμμωνίας που ελευθερώνεται αποτελεί συνάρτηση της δόσης ασβέστη και της χημείας της ιλύος, ιδίως το περιεχόμενο σε αμμωνιακό άζωτο.

Απαραίτητος εξοπλισμός μονάδας

Ο απαιτούμενος εξοπλισμός για μια μονάδα επεξεργασίας ιλύος με ασβέστη, περιλαμβάνει συνήθως, τα ακόλουθα:

- Σιλό αποθήκευσης ασβέστη.
- Διάταξη δοσομέτρησης ασβέστη.
- Διάταξη ανάμιξης ιλύος και ασβέστη.
- Προσωρινή αποθήκευση ιλύος (στην περίπτωση συστήματος διακοπτόμενης λειτουργίας).
- Διάταξη μεταφοράς ασβέστη στον αναμίκτη.
- Διάταξη μεταφοράς αφυδατωμένης ιλύος στον αναμίκτη.
- Διάταξη μεταφοράς μίγματος εκτός του κτιριακού χώρου.
- Ειδικά διαμορφωμένο χώρο αποθήκευσης του μίγματος.

Ιδιαίτερη σημασία κατά την υγειονομοποίηση με προσθήκη ασβέστη έχει ο ορθός σχεδιασμός του συστήματος ανάμιξης ιλύος και ασβέστη, για τη βέλτιστη απόδοση του συστήματος και την, εντός των ορίων και κανονισμών, διαμόρφωση του τελικού προϊόντος. Τέλος, επισημαίνεται ότι ο ασβέστης είναι ένα επικίνδυνο προϊόν με διαβρωτική δράση. Για το λόγο αυτό, σε οποιαδήποτε φάση διαχείρισής του, θα πρέπει να λαμβάνονται οι απαραίτητες προφυλάξεις για την ασφάλεια του προσωπικού.

Εφαρμογή σε άλλες χώρες

Η μέθοδος της επεξεργασίας της ιλύος με ασβέστη έχει δοκιμασθεί με επιτυχία σε διάφορες χώρες της ΕΕ, καθώς και στις Η.Π.Α. Ενδεικτικά, αναφέρονται οι ακόλουθες:

- Εφαρμογή ασβεστοποιημένης και κομποστοποιημένης ιλύος ως λίπασμα για παραγωγή δημητριακών (Spring Barley – *Hordeum Vulgare L*) σε όξινα εδάφη στις περιοχές Antrim και Down, Northern Ireland. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο φώσφορος και το κάλιο, που βρίσκεται στην επεξεργασμένη ιλύ, λειτουργούν σαν ένα ανόργανο λίπασμα του εμπορίου. Στην εν λόγω εφαρμογή, η ιλύς έδρασε και εδαφοβελτιωτικά, ανεβάζοντας το pH του χώματος.
- ΧΥΤΑ της περιοχής Oak Grove, Anoka County, Minnesota, USA, όπου χρησιμοποιήθηκε ασβεστοποιημένη ιλύς (35%) για την τελική επικάλυψη του έργου, χωρίς να καταγραφούν προβλήματα.
- Περιοχή Des Moines, Iowa, USA, όπου εφαρμόστηκε η ασβεστοποιημένη ιλύς ως υλικό τελικής επικάλυψης στον τοπικό Χ.Υ.Τ.Α.

9.1.2 Αναερόβια χώνευση

Περιγραφή μεθόδου

Η διεργασία της αναερόβιας χώνευσης, η οποία λαμβάνει χώρα και στη φύση, μπορεί να προσδιοριστεί ως η βιολογική διεργασία κατά την οποία οργανικό υλικό, απουσία οξυγόνου, μετατρέπεται σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Σήμερα, η αναερόβια επεξεργασία με ταυτόχρονη παραγωγή βιοαερίου είναι μία ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για την σταθεροποίηση της παραγόμενης ιλύος στις μονάδες βιολογικής επεξεργασίας αστικών και βιομηχανικών λυμάτων, ενώ χρησιμοποιείται ακόμη για την επεξεργασία στερεών απορριμμάτων.

Το βιοαέριο αποτελεί μια από τις πλέον διαδεδομένες Αξιοποιήσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε) στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Σε όλες τις μεγάλες πόλεις, έχουν εγκατασταθεί στις μονάδες βιολογικής επεξεργασίας υγρών αποβλήτων συστήματα παραγωγής βιοαερίου, τα οποία λειτουργούν στοχεύοντας, κυρίως, στην επεξεργασία της ιλύος του βιολογικού καθαρισμού και όχι στη βέλτιστη παραγωγή βιοαερίου.

Το πρακτικά επιτεύξιμο ποσοστό διάσπασης εξαρτάται από την τυχόν προηγηθείσα σταθεροποίηση της προς χώνευση ιλύος. Συνεπώς, για ιλύ η οποία, ήδη, έχει υποστεί μερική σταθεροποίηση (π.χ. σε σύστημα ενεργού ιλύος με αρκετά μεγάλο χρόνο παραμονής βιολογικών στερεών ($\theta_c > 15$ d), ή ιλύς που έχει παραμείνει αποθηκευμένη επί πολλές ημέρες, όπως τα βοθρολύματα στους βόθρους ή η ιλύς των σηπτικών δεξαμενών), το τελικό ποσοστό διάσπασης είναι μειωμένο. Από παρατηρήσεις σε διάφορες εγκαταστάσεις μεσοφιλικών αναερόβιων χωνευτών έχει προκύψει ότι το ποσοστό μείωσης των οργανικών στερεών μίγματος πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 40–55 %. Για αμιγή βιολογική

ιλύ το ποσοστό κυμαίνεται περί το 30%. Η παραγωγή βιοαερίου εκτιμάται σε 0,7-1 m³/kg VS που διασπάται.

Όπως αναφέρθηκε, ο όρος «αναερόβια χώνευση» αναφέρεται στη σταδιακή βιολογική αποδόμηση των οργανικών αποβλήτων κάτω από αναερόβιες συνθήκες, αλλιώς κάτω από συνθήκες απουσίας οξυγόνου, που οδηγεί στην παραγωγή βιοαερίου (το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για τη συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας) και ενός υδαρούς υπολείμματος (χωνεμένη ιλύς). Η χωνεμένη ιλύς μπορεί να διατεθεί άμεσα σε εδαφικές εκτάσεις ή να επεξεργαστεί περαιτέρω με χρήση αερόβιας επεξεργασίας (κομποστοποίηση), με στόχο τη σταθεροποίηση της, και τη μετατροπή της σε κομπόστ, με την προϋπόθεση ότι ικανοποιεί κάποια θεσμοθετημένα κριτήρια ποιότητας.

Η διεργασία της αναερόβιας χώνευσης αποτελεί μια διαδικασία πολλαπλών σταδίων (επτά διεργασίες), με οριζόντιες και παράλληλες αντιδράσεις. Οι διεργασίες αυτές δύναται να ταξινομηθούν σε τέσσερις κύριες φάσεις, ως εξής:

- **Υδρόλυση** των σύνθετων πολυμερικών ενώσεων, όπως είναι οι υδατάνθρακες, οι πρωτεΐνες και τα λίπη υδρολύονται από εξωκυτταρικά ένζυμα σε διαλυτά προϊόντα μικρού μεγέθους, τα οποία μπορούν να διαπεράσουν την κυτταρική μεμβράνη και να εισχωρήσουν στο κύτταρο.
- **Ζύμωση** των ανωτέρω σχετικά απλών διαλυτών ενώσεων ή οξείδωση αυτών αναερόβια σε πτητικά λιπαρά οξέα (VFA), αλκοόλες, διοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και αμμωνία.
- **Οξεογέννηση**, δηλαδή παραγωγή οξικού οξέος, διοξειδίου του άνθρακα και υδρογόνου από τα παραγόμενα προϊόντα της παραπάνω φάσης με τη βοήθεια υποχρεωτικά οξεογενών βακτηρίων. Σε αυτό το στάδιο της αναερόβιας χώνευσης, το κύριο συστατικό του παραγόμενου βιοαερίου είναι το διοξείδιο του άνθρακα με κυμαινόμενο pH 4.5 έως 6.5.
- **Μεθανογέννηση**, κατά την οποία τα προϊόντα του παραπάνω σταδίου μετατρέπονται σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα με τη βοήθεια μεθανογενών βακτηρίων. Το τελικό προϊόν σταθεροποιείται μεταξύ 6.8-7.2 pH.

Η συνολική διαδικασία της μετατροπής του σύνθετου οργανικού υλικού σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα, μπορεί να υποδιαιρεθεί σε 7 διεργασίες:

1. Υδρόλυση του σύνθετου οργανικού υλικού,
2. Ζύμωση των αμινοξέων και των σακχάρων,
3. Αναερόβια οξείδωση των μεγάλου μήκους λιπαρών οξέων και αλκοολών,
4. Αναερόβια οξείδωση των ενδιάμεσων προϊόντων (όπως πτητικών λιπαρών οξέων),
5. Παραγωγή οξικού οξέος από διοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο (ομοοξικογέννηση),

6. Μετατροπή του οξικού οξέος σε μεθάνιο (οξικολυτική μεθανογένεση),
7. Παραγωγή μεθανίου μέσω αναγωγής του διοξειδίου του άνθρακα από υδρογόνο.

Η αναερόβια χώνευση αποτελεί μια διαδικασία που λαμβάνει χώρα στην υγρή μορφή και αξιοποιείται σε υποστρώματα με σχετικά χαμηλή συγκέντρωση στερεών και υγρασία που καταφτάνει το 95%. Όσον αφορά στα υγρά υποστρώματα, με υγρασία να ξεπερνά το 80%, το τελικό προϊόν της μεθανογένεσης αποτελεί το περιοριστικό της όλης διεργασίας. Η αναερόβια χώνευση μπορεί να εφαρμοστεί σε σχετικά μεγάλο εύρος θερμοκρασιών, ωστόσο, υπάρχουν δύο περιοχές θερμοκρασίας όπου η απόδοση βελτιστοποιείται: η **μεσόφιλη** και η **θερμόφιλη** περιοχή, με εύρος από 25 °C έως 40 °C και 45 °C έως 60 °C, αντίστοιχα. Λαμβάνοντας υπόψη ότι, οι αναερόβιες διεργασίες δεν αποτελούν ιδιαίτερα εξώθερμες διεργασίες, η βιολογική παραγόμενη θερμότητα δεν επαρκεί για τη διατήρηση της θερμοκρασίας στο βέλτιστο επίπεδο. Κατά συνέπεια, η παροχή πρόσθετης, εξωτερικής θερμότητας καθίσταται χρήσιμη, η οποία μπορεί να προέλθει από την περαιτέρω καύση του παραγόμενου βιοαερίου.

Συνολικά, η θερμόφιλη αναερόβια χώνευση φαίνεται να υπερτερεί της μεσόφιλης, αφού παρουσιάζει πλεονεκτήματα, όπως: α) μικρότερο όγκο εγκαταστάσεων, β) μεγαλύτερο ποσοστό αποδόμησης των οργανικών και ως εκ τούτου, αύξηση του ρυθμού παραγωγή βιοαερίου, γ) ταχύτερη υδρόλυση και δ) καταστροφή παθογόνων μικροοργανισμών. Παρόλα αυτά, οι υψηλές απαιτήσεις σε ενέργεια, σε συνδυασμό με τη μεγαλύτερη ευαισθησία σε τοξικές ενώσεις, καθώς και με τη μειωμένη ευστάθεια των συστημάτων αυτών, καθιστούν, συνήθως, τη θερμόφιλη αναερόβια χώνευση οικονομικά ασύμφορη και δύσκολα εφαρμόσιμη.

Τέλος, εκτός από τα απαραίτητα υποστρώματα και τους κατάλληλους μικροβιακούς πληθυσμούς υπάρχουν και ορισμένοι περιβαλλοντικοί παράγοντες, όπως είναι η θερμοκρασία, το pH, η αλκαλικότητα, τα θρεπτικά στοιχεία και οι τοξικές ουσίες που επιδρούν στη διαδικασία παραγωγής μεθανίου, κατά την αναερόβια επεξεργασία και κατ' επέκταση, στην αποδοτικότητα της μεθόδου. Επίσης, άμεση επίδραση στη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης έχουν και οι λειτουργικοί παράμετροι, όπως ο χρόνος παραμονής εντός του αναερόβιου χωνευτή, ο λόγος C/N. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα από την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου.

Πίνακας 41. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου της αναερόβιας χώνευσης.

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
---------------	---------------

Μείωση των οργανικών στερεών της ιλύος (μείωση κατά 40% έως 60%) και επακόλουθη μείωση του κόστους διάθεσης της ιλύος.	Απαίτηση πρόσθετα μέτρα για πλήρη σταθεροποίηση.
Απαλλαγή των χωνεμένων βιοστερεών από δυσάρεστες οσμές.	Δευτερογενής ρύπανση αζώτου.
Τα χαρακτηριστικά του παραγόμενου προϊόντος επιτρέπουν τη διάθεσή του ως εδαφοβελτιωτικό.	Υψηλό κόστος επένδυσης, με αποτέλεσμα να εφαρμόζεται σε σχετικά μεγάλες εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων.
Παραγωγή βιοαερίου, που λόγω της περιεκτικότητας του σε CH ₄ , αποτελεί χρήσιμη πηγή ενέργειας.	Ευαισθησία της μεθόδου σε αλλαγές των συνθηκών λειτουργίας.
Δυνατότητα υψηλής φόρτισης στερεών στους χωνευτές.	Πολυπλοκότητα λειτουργίας και ελέγχου της διαδικασίας.
Μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών: Μετά τη θερμοφιλική χώνευση, η ιλύς είναι ουσιαστικά απαλλαγμένη από παθογόνα, ενώ μετά τη μεσοφιλική χώνευση επιτυγχάνεται σημαντική μείωση των παθογόνων.	

Η προσθήκη και άλλων τύπων αποβλήτων, θα μπορούσε να αυξήσει δραματικά την παραγωγή βιοαερίου, αποδίδοντας σημαντικές ποσότητες ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται, ταυτόχρονα, η παραγωγή ανανεώσιμης πηγής ενέργειας και η επεξεργασία των αποβλήτων.

Η αναερόβια συγχώνευση κατάλληλα επιλεγμένων αποβλήτων παρουσιάζει εξαιρετικό επιστημονικό ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια, καθώς, όπως έχει αποδειχθεί, το προερχόμενο από διαφορετικές πηγές μίγμα οργανικού φορτίου επιτρέπει τα συνεργατικά αποτελέσματα στο μεταβολισμό των αναερόβιων βακτηρίων, στην ενεργειακή απόδοση, στην επεξεργασία των εναπομεινάντων στερεών και συμβάλει στη μείωση του κόστους, καθώς στην πλειονότητα των περιπτώσεων αυξάνει την απόδοση σε βιοαέριο. Παρόλο που η απλή τροφοδοσία μπορεί να παρουσιάζει φαινομενικά βέλτιστα χαρακτηριστικά (μικρή ποικιλότητα υποστρωμάτων), η παραγωγή βιοαερίου αυξάνεται όταν χρησιμοποιείται ένα μείγμα διαφόρων υποστρωμάτων και αυτή η αύξηση είναι πολύ μεγαλύτερη από εκείνη που θα ήταν αναμενόμενο να αποδώσει στοιχειομετρικά.

Τελικό προϊόν της αναερόβιας χώνευσης

Τα προϊόντα της αναερόβιας χώνευσης συνίστανται σε κομπόστ και βιοαέριο. Το περιεχόμενο του βιοαερίου είναι χημικά δεσμευμένο στο μεθάνιο. Οι ιδιότητες και η σύνθεση ποικίλουν ανάλογα με τον τύπο και τη δομή της πρώτης ύλης, το σύστημα της εγκατάστασης, τη θερμοκρασία, το χρόνο παραμονής κ.α. Στον ακόλουθο πίνακα, αναγράφονται μερικές από τις μέσες τιμές σύνθεσης του βιοαερίου. Θεωρώντας ότι το βιοαέριο περιέχει 50% μεθάνιο, η μέση θερμομαντική τιμή του κυμαίνεται, περίπου, στο 21 MJ/Nm³, η μέση πυκνότητα 1.22 kg/Nm³, και η συνολική μάζα του είναι παραπλήσια με αυτή του αέρα (1.29 kg/Mm³).

Πίνακας 42. Σύνθεση του βιοαερίου.

Συστατικά	Περιεκτικότητα (Vol-%)
Μεθάνιο (CH ₄)	50-75
Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)	25-45
Υδρατμοί (H ₂ O)	2(20°C)-7(40°C)
Οξυγόνο (O ₂)	<2
Άζωτο (N ₂)	<2
Αμμωνία (NH ₃)	<1
Υδρογόνο (H ₂)	<1
Υδρόθειο (H ₂ S)	<1

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το βιοαέριο έχει πολυάριθμες ενεργειακές χρήσεις, οι οποίες εξαρτώνται από τη φύση της πηγής και την τοπική ζήτηση για μία συγκεκριμένη μορφή ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει δυνατότητα χρησιμοποίησής του για παραγωγή ενέργειας, που πιθανά θα καλύπτει τις ανάγκες της μονάδας, για την παραγωγή θερμότητας μέσω της άμεσης καύσης, για την παραγωγή ηλεκτρισμού, για συνδυαστική παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού, καθώς και για χρήση του ως καύσιμο οχημάτων.

Εφαρμογή σε άλλες χώρες

Κατά τα τελευταία έτη, οι παγκόσμιες αγορές για το βιοαέριο παρουσιάζουν μεγάλη αύξηση, με πολλές χώρες να έχουν αναπτύξει σύγχρονες τεχνολογίες βιοαερίου, επιτυγχάνοντας την καθιέρωση ανταγωνιστικών εθνικών αγορών βιοαερίου, λαμβάνοντας σημαντικές κυβερνητικές επιχορηγήσεις και δημόσια υποστήριξη.

Ο Ευρωπαϊκός τομέας του βιοαερίου αριθμεί χιλιάδες εγκαταστάσεις, και χώρες όπως η Γερμανία, η Αυστρία, η Δανία και η Σουηδία είναι μεταξύ των τεχνικών προδρόμων, με τον μεγαλύτερο αριθμό σύγχρονων εγκαταστάσεων βιοαερίου. Ένας

σημαντικός αριθμός τέτοιων εγκαταστάσεων λειτουργούν επίσης σε άλλα μέρη του κόσμου, ενδεικτικά αναφέρεται ότι στην Κίνα, εκτιμάται ότι το 2006 λειτουργούσαν πάνω από 18 εκατομμύρια αγροτικοί οικιακοί χωνευτήρες βιοαερίου, στην Ινδία περίπου 5 εκατομμύρια εγκαταστάσεις βιοαερίου μικρής κλίμακας, ενώ άλλες χώρες όπως το Νεπάλ και το Βιετνάμ έχουν επίσης σημαντικούς αριθμούς οικιακών εγκαταστάσεων βιοαερίου πολύ μικρής κλίμακας. Στις ΗΠΑ, τον Καναδά και πολλές χώρες της Λατινικής Αμερικής έχουν αναπτυχθεί σύγχρονες τεχνολογίες για την παραγωγή και αξιοποίηση βιοαερίου, ενώ παράλληλα εφαρμόζονται ευνοϊκά πολιτικά πλαίσια, για την υποστήριξη αυτής της ανάπτυξης.

Στην Ευρώπη η χρήση του βιοαερίου για συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού έχει καταστεί μια τυποποιημένη εφαρμογή για το κύριο μέρος των σύγχρονων εφαρμογών του βιοαερίου. Σε χώρες όπως η Σουηδία, η Ελβετία και η Γερμανία, αναβαθμισμένο βιοαέριο χρησιμοποιείται ως βιοκαύσιμο στις μεταφορές. Σε αυτές τις χώρες εγκαθίστανται δίκτυα σταθμών αναβάθμισης και πλήρωσης με καύσιμο. Η αναβάθμιση και τροφοδότηση του βιοαερίου στο δίκτυο του φυσικού αερίου είναι μια σχετικά νέα εφαρμογή και οι πρώτες εγκαταστάσεις, στη Γερμανία και την Αυστρία, τροφοδοτούν με βιομεθάνιο τα δίκτυα του φυσικού αερίου. Η νεώτερη χρήση του βιοαερίου είναι στις κυψέλες καυσίμου, οι οποίες αποτελούν μία ώριμη εμπορική τεχνολογία, και ήδη λειτουργούν σε χώρες όπως η Γερμανία και οι ΗΠΑ.

9.1.3 Αερόβια χώνευση

Περιγραφή μεθόδου

Η αερόβια χώνευση είναι μία διαδικασία σταθεροποίησης ιλύος, στην οποία οι αερόβιες βιολογικές αντιδράσεις καταστρέφουν τα αποικοδομήσιμα 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, μέχρι να επιτευχθεί αυτοοξειδωση. Ειδικότερα, καθώς ελαττώνεται το διαθέσιμο θρεπτικό υπόστρωμα, οι μικροοργανισμοί αρχίζουν να καταναλώνουν τη δική τους οργανική ουσία, για την απαραίτητη ενέργεια διατήρησής τους και φθάνουν στην καθαρά ενδογενή φάση (ενδογενής αναπνοή). Με τον τρόπο αυτό, ο κυτταρικός ιστός οξειδώνεται αερόβια σε CO₂, H₂O και NH₃. Με την πρόοδο της χώνευσης, η αμμωνία οξειδώνεται σε νιτρικά. Στην πραγματικότητα, μόνο το 75 – 80% περίπου του κυτταρικού ιστού μπορεί να οξειδωθεί, ενώ το υπόλοιπο 20 – 25% αποτελείται από αδρανή συστατικά και μη βιοαποικοδομήσιμες οργανικές ενώσεις.

Με την αποσύνθεση εκλύεται και θερμότητα που, κάτω από κατάλληλες συνθήκες, μπορεί να αυξήσει τη θερμοκρασία πάνω από 50°C (θερμοφιλική χώνευση). Με την έκθεση της ιλύος σε τόσο υψηλές θερμοκρασίες, για ικανοποιητική χρονική περίοδο (5 έως 6 ημέρες), επιτυγχάνεται ικανοποιητική σταθεροποίηση της ιλύος, ενώ παράλληλα, καταστρέφονται όλοι σχεδόν οι παθογόνοι μικροοργανισμοί.

Η πιο συνηθισμένη εφαρμογή της αερόβιας χώνευσης είναι στην περίπτωση της ενδογενούς οξείδωσης της ενεργούς ιλύος σε μονάδες χωρίς πρωτοβάθμια καθίζηση, όπου σε μίγμα πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος, πραγματοποιούνται, παράλληλα, δύο βιολογικές διεργασίες:

1. Άμεση οξείδωση των οργανικών ουσιών της πρωτοβάθμιας ιλύος και
2. Ενδογενής οξείδωση του κυτταρικού υλικού της δευτεροβάθμιας ιλύος

Κατά την οξείδωση, ελευθερώνεται πολύ περισσότερη θερμική ενέργεια από ότι στις αναγωγικές αντιδράσεις, με αποτέλεσμα τα αερόβια βακτήρια να δρουν ταχύτερα από τα μεθανοβακτήρια. Το ποσοστό του μη διασπάσιμου κυτταρικού υλικού είναι μεγαλύτερο κατά την αερόβια χώνευση. Τέλος, η αερόβια χώνευση αποτελεί μια πιο ελαστική διαδικασία, με μεγαλύτερη ευελιξία στις μεταβολές φορτίου, pH και σε ορισμένο θερμοκρασιακό εύρος, με αποτέλεσμα να αποτελεί καταλληλότερη μέθοδο για την επεξεργασία ιλύος από βιομηχανικά απόβλητα.

Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της μεθόδου της αερόβιας χώνευσης παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 43. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου αερόβιας χώνευσης

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Πλήρης σταθεροποίηση.	Αυξημένη κατανάλωση ενέργειας σε μεγάλες εγκαταστάσεις για τις ανάγκες αερισμού.
Υψηλή απόδοση.	Αυξημένο κόστος σε μεγάλες εγκαταστάσεις, λόγω αυξημένης κατανάλωσης ενέργειας.
Εύκολη τεχνολογία.	Απελευθέρωση φωσφόρου.
Τροφοδοσία λάσπης σε υδαρή μορφή.	
Νιτροποίηση αζώτου.	

Τεχνικές εφαρμογής της μεθόδου

Οι παραλλαγές της διεργασίας που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι:

- Συμβατική αερόβια χώνευση

Η συμβατική αερόβια χώνευση είναι η πιο συνηθισμένη από τις αναφερόμενες τεχνικές. Από λειτουργική άποψη, τα περισσότερα συστήματα αερόβιας σταθεροποίησης μπορεί να εξομοιωθούν με αντιδραστήρες ανάμικτης ροής, χωρίς ανακυκλοφορία. Στα συστήματα αερόβιας χώνευσης ιλύος, υπάρχουν διάφορες παραλλαγές στα στάδια επεξεργασίας της ιλύος, που εξαρτώνται άμεσα από τη δυναμικότητα της μονάδας επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων.

- Διβάθμια χώνευση

Η θερμόφιλη αερόβια χώνευση έχει χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα στην Ευρώπη ως πρώτο στάδιο στη διεργασία της διβάθμιας χώνευσης. Το δεύτερο στάδιο είναι η μεσόφιλη αναερόβια χώνευση. Ο χρόνος παρακράτησης στον αερόβιο χωνευτή είναι 18 – 24 h και η θερμοκρασία του αντιδραστήρα 55 – 65 °C, ενώ ο τυπικός χρόνος συγκράτησης στον αναερόβιο αντιδραστήρα είναι 10 ημέρες. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνονται αυξημένα επίπεδα μείωσης παθογόνων, βελτιωμένη συνολική μείωση των πτητικών στερεών, αυξημένη παραγωγή μεθανίου στον αναερόβιο χωνευτή, μικρότερες ποσότητες οργανικών, μείωση των οσμών, μικρότερος απαιτούμενος όγκος αναερόβιου χωνευτή από τον αντίστοιχο μονοβάθμιο.

- Αερόβια χώνευση με οξυγόνο υψηλής καθαρότητας

Η διεργασία της αερόβιας χώνευσης με οξυγόνο υψηλής καθαρότητας εφαρμόζεται συνήθως σε κλειστές δεξαμενές, παρόμοιες με αυτές που χρησιμοποιούνται στις διεργασίες ενεργού ιλύος με οξυγόνο υψηλής καθαρότητας. Τα βιοστερεά, που προκύπτουν, είναι παρόμοια με τα βιοστερεά από τη συμβατική αερόβια χώνευση. Ωστόσο, εξαιτίας του υψηλού κόστους παραγωγής οξυγόνου, τα εν λόγω συστήματα αυτά είναι αποδεκτά ως προς το κόστος μόνο όταν συνδυάζονται με τα αντίστοιχα συστήματα ενεργού ιλύος, που αναφέρονται παραπάνω. Το κύριο πλεονέκτημα του τύπου αυτού αερόβιας χώνευσης είναι η σχετική μη ευαισθησία της σε αλλαγές της εξωτερικής θερμοκρασίας, όταν χρησιμοποιούνται κλειστές δεξαμενές, λόγω της αυξημένης βιολογικής δραστηριότητας και της εξώθερμης φύσης της διεργασίας. Συνεπώς, είναι μια μέθοδος ιδιαίτερα εφαρμόσιμη σε ψυχρά κλίματα.

- Αυτοθερμαινόμενη αερόβια θερμοφιλική χώνευση (ATAD)

Η αυτοθερμαινόμενη αερόβια θερμοφιλική χώνευση είναι διαδικασία χώνευσης της βιολογικής ιλύος με δυνατότητα επίτευξης μεγάλου βαθμού σταθεροποίησης (> 38% καταστροφή VSS) και μείωσης παθογόνων (Α' κλάση US EPA). Η διεργασία χαρακτηρίζεται από υψηλούς ρυθμούς αντιδράσεων που επιτελούνται σε θερμοκρασίες 40 – 70 °C, οι οποίες επιτυγχάνονται με την εκμετάλλευση της ενέργειας των εξώθερμων αντιδράσεων βιολογικής οξείδωσης (περίπου 20.000 kJ/kg VSS που καταστρέφεται). Σε ένα περιβάλλον πλήρους ανάμιξης και αερισμού, με κατάλληλη μόνωση, οι θερμόφιλες θερμοκρασίες μπορούν να διατηρηθούν χωρίς την προσθήκη εξωτερικής θερμότητας.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου σε σχέση με την κλασική αερόβια χώνευση.

Πίνακας 44. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου ATAD σε σχέση με τη συμβατική μέθοδο αερόβιας χώνευσης.

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Μικροί χρόνοι παραμονής (5 – 8 ημέρες) για επίτευξη 40 – 50% καταστροφής VSS.	Υψηλό κόστος επένδυσης και λειτουργίας.
Δυνατότητα μείωσης παθογόνων ιών, βακτηρίων, βιώσιμων αυγών ελμίνθων και άλλων παρασίτων, σε επίπεδα μη ανιχνεύσιμα, δηλαδή ουσιαστικά ικανοποίηση των κριτηρίων μείωσης παθογόνων μικροοργανισμών για βιοστερεά τάξης Α' κατά US EPA.	Αναγκαιότητα προπάχυνσης της ιλύος σε συγκέντρωση τουλάχιστον 4% (προτιμητέα 5 – 6%).
Καταστροφή όλων των σπόρων ζιζανίων, με αποτέλεσμα τα βιοστερεά να καθίστανται εξαιρετικά κατάλληλα για χρήση ως εδαφοβελτιωτικό ή λίπασμα.	Απαίτηση για εξαιρετικά αποδοτικό αερισμό στα συστήματα, που χρησιμοποιούν αέρα και όχι οξυγόνο υψηλής καθαρότητας.
Περίπου 25% μικρότερη απαίτηση σε οξυγόνο, αφού ελάχιστα νιτροποιητικά βακτήρια μπορούν να επιζήσουν σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 40 °C.	Φτωχά χαρακτηριστικά αφυδάτωσης των χωνεμένων βιοστερεών.
Πιθανή ανάκτηση θερμότητας για θέρμανση κτιρίων.	Αφρισμός στους αντιδραστήρες που απαιτεί εξοπλισμό περιορισμού του.
	Ύπαρξη ενοχλητικών οσμών

Εφαρμογή σε άλλες χώρες

Λόγω της δυνατότητας του συστήματος να παράγει βιοστερεά με πολύ λιγότερα παθογόνα, η αερόβια χώνευση έχει αυξανόμενη δημοτικότητα. Πιο συγκεκριμένα, στην Ευρώπη έχει ευρεία εφαρμογή από τη δεκαετία του '70 και ήδη λειτουργούν 40 τέτοιες εγκαταστάσεις, ενώ υπάρχουν και αρκετές στη Βόρεια Αμερική.

Γενικότερα, η αερόβια χώνευση της ιλύος έχει μεγάλη εφαρμογή για τη σταθεροποίηση της ιλύος σε συνδυασμό με συστήματα παρατεταμένου αερισμού, συνήθως σε μονάδες χωρίς πρωτοβάθμια καθίζηση. Επιπρόσθετα, αποτελεί την πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδο για μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

που επεξεργάζονται < 20.000 m³/d. Στις περιπτώσεις αυτές, όμως, επιτυγχάνεται περιορισμένη απομάκρυνση των παθογόνων μικροοργανισμών.

Το τελικό προϊόν της διαδικασίας

Μέσω της αερόβιας χώνευσης, το παραγόμενο προϊόν που προκύπτει παρουσιάζει βελτιωμένα χαρακτηριστικά, ενώ επιτυγχάνεται υψηλή αφυδάτωση με τη διαχείρισή του να καθίσταται πιο εύκολη. Παράλληλα, με την επίτευξη θερμόφιλων συνθηκών, το τελικό προϊόν που προκύπτει δύναται να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό, εφόσον έχει γίνει πλήρης εξάλειψη των παθογόνων μικροοργανισμών.

9.1.4 Κομποστοποίηση

Περιγραφή μεθόδου

Ο όρος κομποστοποίηση αναφέρεται στην αερόβια βιολογική διεργασία αποδόμησης των οργανικών αποβλήτων υπό ελεγχόμενες συνθήκες και τη σταδιακή μετατροπή τους σε ένα βιολογικά σταθεροποιημένο προϊόν ευρύτερα γνωστό ως κόμποστ. Ο ορισμός της κομποστοποίησης ως μια «αερόβια βιολογική διεργασία αποδόμησης» διαφοροποιεί την εν λόγω μέθοδο από άλλες τεχνικές διαχείρισης του οργανικού κλάσματος όπως είναι η αναερόβια χώνευση, η θερμική επεξεργασία και η υγειονομική ταφή. Με τον όρο «οργανικά απόβλητα» ορίζονται τα υλικά τα οποία δύναται να αποδομηθούν βιολογικά ενώ με τη φράση «ελεγχόμενες συνθήκες» η κομποστοποίηση διαφοροποιείται από τη βιολογική αποδόμηση που λαμβάνει χώρα στη φύση, καθώς ελέγχονται οι συνθήκες της θερμοκρασίας, της υγρασίας και του αερισμού κατά τη διάρκεια της διεργασίας.

Η κομποστοποίηση αποτελεί μια βιολογική διεργασία βασιζόμενη στις δραστηριότητες συγκεκριμένων βακτηρίων και μυκήτων. Κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης οι αερόβιοι μικροοργανισμοί καταναλώνουν οξυγόνο για την οξείδωση της οργανικής ουσίας διασπώντας σύνθετες οργανικές ενώσεις του υποστρώματος σε ενδιάμεσα προϊόντα και έπειτα σε απλούστερες ενώσεις παράγοντας CO₂, ανόργανες μορφές αζώτου, νερό και θερμότητα ενώ επιτυγχάνεται μείωση του όγκου και της μάζας του υποστρώματος. Παράλληλα, με τη βιοαποδόμηση της οργανικής ουσίας συντελούνται και διεργασίες χουμοποίησης οι οποίες περιλαμβάνουν τον πολυμερισμό ενώσεων από τους μικροοργανισμούς ή/και το σχηματισμό απλούστερων ενώσεων προερχόμενα από την αποσύνθεση της οργανικής ουσίας. Επομένως, το βιοαποδομήσιμο οργανικό υλικό μετατρέπεται μέσω διαδοχικών μικροβιακών δραστηριοτήτων και βιοχημικών αντιδράσεων σε σταθερότερη οργανική ουσία η οποία έχει κοινά χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά με τις χουμικές ενώσεις

Η κομποστοποίηση ως ολοκληρωμένη διεργασία διαχείρισης των οργανικών αποβλήτων, αποτελεί μια ευρέως διαδεδομένη μέθοδο επεξεργασίας της ιλύος που εφαρμόζεται σε πολλές χώρες της Ευρώπης και της Αμερικής. Η μέθοδος χαρακτηρίζεται από μια σειρά αναπόσπαστων σταδίων. Το πρώτο στάδιο αποτελεί την ανάκτηση του οργανικού κλάσματος των αποβλήτων το οποίο περιλαμβάνει την

εποπτεία του συλλεχθέντος οργανικού υλικού και την απομάκρυνση ανεπιθύμητων συστατικών. Στα ανεπιθύμητα υλικά συμπεριλαμβάνονται ουσίες οι οποίες δεν είναι ζυμώσιμες καθώς και κάθε άλλου είδους ουσία που δύναται να επηρεάσει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος. Η διεργασία αυτή διαφοροποιείται σημαντικά ανά είδος βιοαποδομήσιμου στερεού αποβλήτου. Ροές όπως είναι η ιλύς από αστικά υγρά απόβλητα, η κοπριά ζώων, τα δασοκομικά και γεωργικά απόβλητα έχουν σαφέστατα πιο ομοιόμορφη και ομοιογενή σύσταση συγκριτικά με τα οργανικά αστικά στερεά απορρίμματα, ο βαθμός ανάκτησης των οποίων εξαρτάται σημαντικά από την εκάστοτε πολιτική διαχείρισής τους (π.χ. διαλογή στην πηγή, σύστημα συλλογής κ.α.).

Το δεύτερο στάδιο της διεργασίας της κομποστοποίησης περιλαμβάνει την προετοιμασία του υλικού τροφοδοσίας για τη διαμόρφωση κατάλληλων φυσικοχημικών συνθηκών στο αρχικό υπόστρωμα για την ενίσχυση της απόδοσης της βιοαποδόμησης της οργανικής ουσίας. Η προετοιμασία αυτή δύναται να περιλαμβάνει μεταξύ άλλων:

- α. την επαρκή περιεκτικότητα του υποστρώματος σε θρεπτικά συστατικά (π.χ. άνθρακα, άζωτο, φώσφορο) με την προσθήκη ενός ή περισσοτέρων ζυμώσιμων οργανικών υλικών,
- β. τη ρύθμιση του μεγέθους και του πορώδους του υποστρώματος για τη διευκόλυνση της διάχυσης του οξυγόνου στην οργανική μάζα (π.χ. τεμαχισμός, χρήση διογκωτικών υλικών),
- γ. τη ρύθμιση της περιεχόμενης υγρασίας σε επιθυμητά επίπεδα και
- δ. την ομογενοποίηση του οργανικού προς κομποστοποίηση υλικού.

Το τρίτο στάδιο αποτελεί το βιολογικό μέρος της κομποστοποίησης στο οποίο συντελείται η βιοαποδόμηση του οργανικού υλικού με τη χρήση κατάλληλων συστημάτων. Έπειτα, πραγματοποιείται η ωρίμανση του οργανικού υλικού και η περαιτέρω σταθεροποίησή του. Σε επόμενο στάδιο διεξάγεται το κοσκίνισμα και ραφινάρισμα του παραγόμενου κόμποστ για την απομάκρυνση μη επιθυμητών υλικών (π.χ. ογκώδη και αδρανή υλικά) ενώ παράλληλα επιτυγχάνεται το απαιτούμενο μέγεθος και η κατάλληλη υφή του κόμποστ για τις διαφορετικές απαιτήσεις ως προς την τελική του χρήση.

Σημαντικοί παράγοντες που ενδέχεται να επηρεάσουν τη διαδικασία κομποστοποίησης, αποτελούν:

- Η διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων,
- Η αναλογία άνθρακα/αζώτου (C/N),
- Το pH,
- Το ποσοστό υγρασίας,
- Η θερμοκρασία,
- Ο αερισμός – παροχή οξυγόνου και

- Η παρουσία τοξικών ουσιών.

Στον πίνακα που ακολουθεί αποτυπώνονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της μεθόδου.

Πίνακας 45. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου της κομποστοποίησης.

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Η διαδικασία παραγωγής στο κομπόστ είναι σχετικά απλή και ταυτόχρονα αποτελεσματική στην εφαρμογή της.	Απαίτηση μεγάλων εκτάσεων.
Αποτελεί μια φυσική διεργασία που απαιτεί ελάχιστη παρακολούθηση.	Υψηλό κόστος κατασκευής και λειτουργίας σε σχέση με άλλες μεθόδους, ιδιαίτερα στην περίπτωση που απαιτείται η προσθήκη διογκωτικού υλικού.
Δημιουργεί ορθές λύσεις όσον αφορά στο πρόβλημα της διάθεσης της ιλύος.	Αυξημένη κατανάλωση ενέργειας για τον αερισμό.
Αξιοποιούνται πλήρως οι φυσικοχημικές ιδιότητες της ιλύος, με αποτέλεσμα τη φυσική βελτίωση των εδαφών που θα εμπλουτιστούν με το τελικό προϊόν.	Η αποδοχή του τελικού προϊόντος επηρεάζεται από την ποιότητά του.
Τα περιεχόμενα θρεπτικά συστατικά συμβάλλουν σημαντικά στη θρέψη των καμένων, εγκαταλελειμμένων και δασικών εκτάσεων.	Μειωμένη αγοραστική ζήτηση του τελικού προϊόντος λόγω ύπαρξης άλλων ανταγωνιστικών προϊόντων.
Το τελικό προϊόν είναι σταθεροποιημένο και πλήρως απαλλαγμένο από παθογόνους μικροοργανισμούς και οργανικές φυτοτοξίνες.	

Συστήματα εφαρμογής της τεχνολογίας

Τα συστήματα μέσω των οποίων καθίσταται δυνατή η αερόβια αποδόμηση των οργανικών αποβλήτων ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες: τα ανοιχτά και τα κλειστά συστήματα. Ακολουθώς γίνεται μια σύντομη περιγραφή των δύο ανωτέρω μεθόδων, καθώς και των διαφορετικών μεθόδων εφαρμογής τους.

- Ανοιχτά συστήματα

Τα ανοιχτά συστήματα διακρίνονται σε αναστρεφόμενα σειράδια (windrows) και σε αεριζόμενους στατικούς σωρούς (aerated static pile) ανάλογα με τη μέθοδο αερισμού του υποστρώματος. Στα συστήματα αναστρεφόμενων σειραδιών το

οργανικό υλικό τοποθετείται σε παράλληλες σειρές μεγάλου μήκους (γραμμικές σωροί). Ο αερισμός του υποστρώματος επιτυγχάνεται αποκλειστικά με την περιοδική αναμόχλευση της σωρού με τη χρήση κατάλληλου μηχανολογικού εξοπλισμού ενώ παράλληλα γίνεται ομογενοποίηση και μείωση του μεγέθους της οργανικής ουσίας. Το ύψος, το πλάτος και το σχήμα των γραμμικών σωρών ρυθμίζονται σύμφωνα με το είδος του προς επεξεργασία υλικού και από τον τύπο του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για την ανάδευση. Η βέλτιστη αναλογία πλάτους προς ύψος της σωρού είναι ίση με 2. Σε μεγαλύτερες αναλογίες παρουσιάζονται μεγαλύτερες απώλειες θερμότητας με συνεπακόλουθη μείωση της θερμοκρασίας στο υπόστρωμα (μη επίτευξη κρίσιμου όγκου) ενώ σε μικρότερους λόγους δύναται να διαμορφωθούν αναερόβιες συνθήκες εξαιτίας της ελλιπούς διάχυσης του αέρα. Αναφορικά με τα συστήματα των αεριζόμενων στατικών σωρών, το οργανικό υλικό τοποθετείται όπως και στην περίπτωση των αναστρεφόμενων σειραδιών, ενώ το υπόστρωμα δεν αναδεύεται κατά τη διάρκεια του κύκλου κομποστοποίησης με αποτέλεσμα οι σωροί να πρέπει να διαμορφώνονται από την αρχή της διεργασίας. Το οργανικό υπόστρωμα συνήθως εμπλουτίζεται με διογκωτικό υλικό, ώστε να παρέχεται η κατάλληλη δομική σταθερότητα για τη διάχυση του οξυγόνου στην οργανική μάζα ενώ ο αερισμός της πραγματοποιείται με θετική (εμφύσηση) ή αρνητική πίεση (αναρρόφηση)

- Κλειστά συστήματα

Η κατηγοριοποίηση των κλειστών συστημάτων κομποστοποίησης γίνεται, κατά βάση, σύμφωνα με τη ροή του οργανικού υλικού σε οριζόντιου και κάθετου τύπου. Επιπλέον, τα κλειστά συστήματα κομποστοποίησης διαφοροποιούνται ως προς τα χαρακτηριστικά του αερισμού του υποστρώματος, την ανάδευση, καθώς και τις διατάξεις φόρτωσης και εκφόρτωσης του οργανικού υλικού. Κοινός συντελεστής είναι η επίτευξη της επιτάχυνσης των βιοξειδωτικών διεργασιών και της σταθεροποίησης του προς επεξεργασία οργανικού υλικού με τον έλεγχο και τη ρύθμιση των περιβαλλοντικών συνθηκών της διεργασίας, παράγοντας ένα τελικό προϊόν με υψηλά ποιοτικά χαρακτηριστικά. Παράλληλα γίνεται ο έλεγχος και η δέσμευση των αερίων εκπομπών με βιόφιλτρα ή άλλο κατάλληλο σύστημα ελέγχου (π.χ. πλυντρίδες).

- Κάθετα κλειστά συστήματα

Οι εμπορικά διαθέσιμοι κλειστού τύπου κάθετοι αντιδραστήρες είναι κυρίως συνεχούς λειτουργίας με ή χωρίς ανάδευση. Τα συνεχούς ροής κάθετα συστήματα χωρίς ανάδευση περιλαμβάνουν θερμικά μονωμένους αεροστεγείς κλειστούς κυλίνδρους. Το υλικό εισάγεται περιοδικά (τυπικά σε ημερήσια ή εβδομαδιαία βάση) από την κορυφή και κατεβαίνει βαρυτικά. Ο αερισμός του υποστρώματος επιτυγχάνεται με την παροχή αέρα από τον πυθμένα και την αναρρόφηση των αερίων εκπομπών από την κορυφή. Δεν εφαρμόζεται μηχανική ανάδευση για να μη διαταραχθούν οι βιολογικές διεργασίες γεγονός που καθιστά δύσκολο τον έλεγχο της ομοιογενούς κατανομής του οξυγόνου στην οργανική μάζα. Το τελικό προϊόν εξέρχεται και συλλέγεται από τον πυθμένα του αντιδραστήρα με ειδική διάταξη.

Τα συνεχή κάθετα συστήματα με ανάδευση περιλαμβάνουν εσωτερικό αναδευτήρα που φέρει περιστρεφόμενη γέφυρα με ατέρμονες κοχλίες στο μισό της μήκος. Το προς κομποστοποίηση υλικό εισάγεται στο κέντρο περιστροφής της γέφυρας και με τη βοήθεια του ατέρμονα κοχλία μετατοπίζεται προς την περίμετρο. Περιοδικά το υπόστρωμα έρχεται σε επαφή με τον αέρα ενώ σταδιακά κινείται προς τα κάτω μέχρι που τελικά απάγεται από τον πυθμένα και οδηγείται σε κατάλληλο χώρο για ωρίμανση.

- Οριζόντια κλειστά συστήματα

Τα κλειστά συστήματα κομποστοποίησης οριζόντιου τύπου μπορούν διακριθούν σε (α) εγκιβωτισμένα συστήματα όπως τα βιοκελιά (cells ή biocells), τα τούνελ (tunnels ή biotunnels), και τα κιβώτια (containers), (β) κανάλια (channels ή trenches) και (γ) περιστρεφόμενους κυλίνδρους (rotating drum). Τα βιοκελιά, τα τούνελ και τα κιβώτια αποτελούν παραλλαγές εγκιβωτισμένων, αεροστεγών συστημάτων στα οποία η διεργασία της κομποστοποίησης πραγματοποιείται σε ένα σχεδόν πλήρως ελεγχόμενο περιβάλλον αναφορικά με τις συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας και αερισμού. Ο έλεγχος των διεργασιών επιτυγχάνεται με τη ρύθμιση της εμφύσησης οξυγόνου (χρήση δυναμικού αερισμού), της αναρρόφησης των αερίων εκπομπών και την ενδεχόμενη ανακύκλωσή τους ενώ στις περισσότερες των περιπτώσεων είναι εξοπλισμένα με συστήματα ύγρανσης για την προσθήκη και ανακύκλωση του νερού ώστε να ρυθμίζεται η περιεκτικότητα του υποστρώματος σε υγρασία. Όλα τα συστήματα αυτού του τύπου έχουν κατάλληλες διατάξεις για την απόσπηση και τον έλεγχο των αερίων εκπομπών που εκλύονται κατά τη διεργασία της κομποστοποίησης ενώ ο χρόνος παραμονής της οργανικής ουσίας στους αντιδραστήρες δεν ξεπερνά τις δύο εβδομάδες.

Τα βιοκελιά είναι ασυνεχούς λειτουργίας και περιλαμβάνουν θερμική μόνωση στην εξωτερική επιφάνεια του συστήματος για τη μείωση των θερμικών απωλειών ενώ έχουν αναφερθεί και κατασκευές οι οποίες ενσωματώνουν εναλλάκτη θερμότητας για τη θέρμανση του αέρα πριν την είσοδό του στον βιοαντιδραστήρα σε περιοχές εφαρμογής με ψυχρό κλίμα. Η δυναμικότητα αυτών των συστημάτων κυμαίνεται από 100 έως 1000 m³. Τα κιβώτια είναι και αυτά ασυνεχούς λειτουργίας μικρότερης χωρητικότητας (20 έως 40m³) και χρησιμοποιούνται συνήθως σε παράλληλα στοιχεία, ώστε να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες της εκάστοτε εφαρμογής με δυναμικότητα επεξεργασίας περίπου 3000-5000 τόνων οργανικού φορτίου ανά έτος για 6-8 παράλληλα στοιχεία. Τα τούνελ είναι συστήματα συνεχούς ροής, ενώ έχουν χωριστούς χώρους για τη φόρτωση και εκφόρτωση των υλικών στα άκρα του αντιδραστήρα. Η δυναμικότητα των συστημάτων αυτών είναι αντίστοιχη με αυτή των βιοκελιών.

Στα οριζόντια συστήματα κομποστοποίησης τύπου καναλιών, το οργανικό υλικό εισέρχεται σε στεγασμένο κτίριο το οποίο είναι διαμορφωμένο με παράλληλα κανάλια διαχωρισμένα με τείχος. Στα κανάλια το οργανικό υλικό τοποθετείται σε ένα συνεχές στρώμα και αναστρέφεται τμηματικά από κατάλληλο μηχανολογικό

εξοπλισμό. Τα συστήματα αυτού του τύπου είναι συνεχούς ή ασυνεχούς λειτουργίας, ενώ παράλληλα με την ανάδευση εξασφαλίζεται και ο αερισμός του υποστρώματος μέσω συστημάτων εμφύσησης ή απορρόφησης αέρα.

Τα οριζόντια συστήματα κομποστοποίησης περιστρεφόμενων τυμπάνων, είναι κυλινδρικοί, συνήθως με κλίση, βιοαντιδραστήρες συνεχούς ροής. Το υλικό εισέρχεται στο ένα άκρο του βιοαντιδραστήρα και με αργή περιστροφή του κυλίνδρου (συνήθως 2rpm) το οργανικό υλικό μεταφέρεται κατά μήκος του συστήματος έως ότου εξέλθει από το άλλο άκρο του κυλίνδρου (χρόνος παραμονής περίπου 1 εβδομάδα). Συνήθως οι αντιδραστήρες αυτού του τύπου είναι εξοπλισμένοι με προεξοχές στο εσωτερικό του κυλίνδρου ώστε κατά την περιστροφική κίνηση του αντιδραστήρα το υπόστρωμα να τεμαχίζεται και να αναδεύεται βοηθώντας στην ομογενοποίηση και στην κατάτμηση του υλικού. Λόγω του μικρού χρόνου παραμονής του υποστρώματος στον βιοαντιδραστήρα ακολουθείται, μετά τη συλλογή, στάδιο ωρίμανσης συνήθως με τη χρήση ανοικτών συστημάτων κομποστοποίησης.

Εφαρμογή σε άλλες χώρες

Η κομποστοποίηση της ιλύος των βιολογικών καθαρισμών, άρχισε να εφαρμόζεται σε μεγάλη κλίμακα τη δεκαετία του '60. Οι πρώτες μέθοδοι που δοκιμάστηκαν στην Ευρώπη βασίζονταν σε στατικούς σωρούς χωρίς αερισμό (αναερόβια αποικοδόμηση) και στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκαν ανοικτές τάφροι με περιοδική ανάμιξη των αποβλήτων. Η μέθοδος αυτή ξεκίνησε σε χώρες, όπως η Γαλλία, η Γερμανία, η Ουγγαρία και η Ιαπωνία, όπου χρησιμοποιήθηκαν το γρασίδι και η κοπριά ως παράγοντες διόγκωσης. Ακολούθησαν οι βόρειες ευρωπαϊκές χώρες, όπως η Φιλανδία, η Σουηδία, η Ολλανδία, αλλά και η Ρωσία, παρά τα ψυχρότερα κλίματα που διαθέτουν, ενώ, οι ΗΠΑ άρχισαν να εφαρμόζουν την κομποστοποίηση της ιλύος μόλις στις αρχές του '70. Τέλος, σημειώνεται ότι, μεγάλο μέρος των ποσοτήτων κομποστοποιημένης ιλύος που παράγονται στην Ιταλία εξάγονται σε άλλες μεσογειακές αλλά και σε βόρειες χώρες, ως οργανικά λιπάσματα για δενδροκτηπευτικές καλλιέργειες.

Το τελικό προϊόν της διαδικασίας

Κατά το πέρας των διεργασιών, η μάζα του παραγόμενου προϊόντος είναι κατά σημαντικό ποσοστό μικρότερη συγκριτικά με την αρχική μάζα του τροφοδοτούμενου αποβλήτου. Το κύριο αίτιο αυτής της μείωσης είναι η παραγωγή αέριων προϊόντων κατά τη διάσπαση των οργανικών μακρομορίων. Η χημική σύσταση του compost αποτελείται κυρίως από δυσδιάσπαστες οργανικές ενώσεις, υγρασία, τέφρα (ανόργανες ενώσεις) και μικρές ποσότητες βιοαποδομήσιμων ενώσεων που δεν καταναλώθηκαν από τους μικροβιακούς πληθυσμούς. Συγκεκριμένα, τα βασικά συστατικά που συνθέτουν την ξηρή μάζα του compost, περιλαμβάνουν:

- Βιομάζα θανόντων μικροοργανισμών,

- Νεοσχηματισμένο οργανικό υλικό που περιλαμβάνει, κολλοειδείς, προχουμικές και χουμικές ενώσεις,
- Υπολειμματική δυσδιάσπαστη οργανική ουσία και
- Τέφρα (ανόργανες ουσίες).

Το τελικό προϊόν της επεξεργασίας ορίζεται ως βιολογικά σταθεροποιημένο όταν δεν υπόκειται πλέον έντονη μικροβιακή δραστηριότητα, ενώ η τελική του χρήση εξαρτάται από ποικίλες φυσικοχημικές και βιολογικές παραμέτρους που προσδιορίζουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του. Ενδεχόμενες χρήσεις του κόμποστ περιλαμβάνουν τη ρύθμιση εδαφών, την αποκατάσταση εδαφών την αξιοποίησή του ως φυσικό εδαφοβελτιωτικό κ.α.

9.1.5 Θερμική ξήρανση

Περιγραφή μεθόδου

Η θερμική ξήρανση είναι ένας από τους τρεις τρόπους θερμικής επεξεργασίας της ιλύος, ενώ οι άλλοι δυο είναι η θερμική σταθεροποίηση και η αποτέφρωση (καύση), και προϋποθέτει την εφαρμογή θερμότητας για την αφαίρεση του νερού από την ιλύ. Κατά την εφαρμογή της θερμικής ξήρανσης, ως τελικού σταδίου επεξεργασίας της ιλύος, επιτυγχάνεται η μείωση της υγρασίας σε ποσοστό μικρότερο από 10%, με συνέπεια τη σημαντική μείωση του όγκου και της μάζας της, τη σταθεροποίησή της, την καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών και την αύξηση της θερμικής αξίας του τελικού προϊόντος.

Ένα βασικό κριτήριο κατάταξης των διαφόρων τεχνολογιών ξήρανσης είναι ο επιτυγχανόμενος βαθμός ξηρότητας (τελική περιεκτικότητα της ξηραμένης ιλύος σε νερό). Συνήθως, η μερική ξήρανση (<85% στερεά) εφαρμόζεται στις περιπτώσεις που ακολουθεί καύση της ιλύος, ενώ στις περισσότερες περιπτώσεις επιδιώκεται η πλήρης ξήρανση (>85% στερεά). Υπάρχουν τεχνολογίες που εφαρμόζονται, κυρίως, για μερική ξήρανση και στην περίπτωση της πλήρους ξήρανσης χρησιμοποιούνται ως πρώτο στάδιο με ένα δεύτερο στάδιο να ακολουθεί προκειμένου να επιτευχθεί η πλήρης ξήρανση.

Σε γενικές γραμμές, δεν υπάρχουν ειδικές προϋποθέσεις που πρέπει να πληρούνται για την εφαρμογή της ξήρανσης. Αυτό σημαίνει ότι όλα τα παραγόμενα είδη ιλύος σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων μπορούν να υποβληθούν σε ξήρανση. Δεσμευτικός παράγοντας είναι το κόστος ξήρανσης ανά τόνο, που αυξάνεται με τη μείωση της ποσότητας της προς ξήρανση ιλύος. Οι δυναμικότητες τέτοιων εγκαταστάσεων κυμαίνονται μεταξύ 0,5 t/h και 30 t/h εξατμιζόμενου νερού.

Ανάλογα με τον τρόπο μεταφοράς της θερμότητας στην υγρή ιλύ, οι θερμικοί ξηραντές κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες:

- Άμεσοι ξηραντές
- Έμμεσοι ξηραντές
- Μικτοί ξηραντές

Στην πρώτη περίπτωση, η απαιτούμενη ενέργεια για τη θέρμανση της ιλύος παρέχεται άμεσα, συνήθως, με θερμό αέρα που διοχετεύει τη θερμότητα στην υγρή ιλύ. Οι κόκκοι ιλύος απομακρύνονται μαζί με το ρεύμα του θερμού αέρα και κατά συνέπεια, απαιτείται διαχωρισμός. Η ποσότητα του αέρα είναι μεγάλη και ανάλογα με τη θερμοκρασία είναι δυνατό να περιέχει δύσσομες και πτητικές τοξικές ουσίες (π.χ. διοξίνες και φουράνια).

Στη δεύτερη περίπτωση, η ενέργεια παρέχεται στην ιλύ μέσω θερμού λαδιού ή ατμού είτε με σύστημα ανταλλαγής θερμότητας, είτε με επαφή της ιλύος με θερμαινόμενες, από το μέσο, επιφάνειες. Οι έμμεσοι ξηραντές μπορούν να παράγουν πελέτες (pellets) με περιεκτικότητα στερεών μέχρι 85%, ενώ για την παραγωγή πελετών με στερεά πάνω από 90% συνιστώνται οι άμεσοι ξηραντές.

Στα συστήματα επαφής, οι ποσότητες του αέρα είναι μικρότερες και τα απαέρια πρακτικά αποτελούνται από υδρατμούς από την εξάτμιση του νερού. Οι υδρατμοί αυτοί μπορεί, επίσης, να περιέχουν πτητικές ουσίες και απαιτούν κατάλληλη επεξεργασία. Επισημαίνεται ότι στην περίπτωση που κατά την ξήρανση η θερμοκρασία της ιλύος διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα (<100 °C), οι ποσότητες των πτητικών ουσιών είναι πολύ μικρές.

Η εμπειρία από τη λειτουργία εγκαταστάσεων ξήρανσης έχει δείξει ότι η αποθήκευση ιλύος σε μορφή σκόνης μπορεί να προκαλέσει αυτόματη ανάφλεξη. Η καλύτερη μέθοδος για την αποφυγή κινδύνων πυρκαγιάς είναι η διαμόρφωση της ιλύος σε ανθεκτικούς κόκκους, πριν την αποθήκευσή της και η συστηματική παραγωγή ξηρής ιλύος με λιγότερο από 10% υγρασία. Άλλες πρακτικές για την ελαχιστοποίηση κινδύνων πρόκλησης πυρκαγιάς είναι η συντήρηση στρώματος N₂ στο σιλό αποθήκευσης της ξηραμένης ιλύος και η ύπαρξη συστήματος κατάσβεσης της φωτιάς.

Η αναγκαία θερμική ενέργεια μπορεί να παράγεται από διαφόρων ειδών καύσιμα (πετρέλαιο, υγραέριο, βιοαέριο ή φυσικό αέριο). Σημαντική πηγή ανάκτησης ενέργειας είναι η ψύξη/συμπύκνωση των υδρατμών. Η ανακτώμενη ενέργεια, συνήθως, χρησιμοποιείται για τη θέρμανση της ιλύος στη χώνευση. Η θέρμανση της ιλύος πριν από την αφυδάτωση, στις περισσότερες περιπτώσεις που έχει εφαρμοστεί, δεν έχει αποδώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Η θερμική ξήρανση είναι μία ενεργοβόρα διαδικασία. Για το λόγο αυτό, στις περισσότερες περιπτώσεις, η ξήρανση πραγματοποιείται μετά την αφυδάτωση. Ενδεικτικά, για την ξήρανση της ιλύος (συγκέντρωση στερεών 90% DS) απαιτούνται 300 l/t DS καύσιμο και 50 kWh/t DS ενέργεια. Επομένως, είναι εμφανές ότι 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. Οι απαιτήσεις σε ενέργεια μπορούν να μειωθούν

δραστικά, στην περίπτωση που στην εγκατάσταση είναι διαθέσιμη εναλλακτική πηγή ενέργειας (π.χ. βιοαέριο).

Τέλος, ένας σημαντικός παράγοντας, ο οποίος δεν θα πρέπει να παραβλέπεται κατά το 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 οξειδωση σε καυστήρα ή κλίβανο, με ελάχιστη θερμοκρασία 730 °C.

Όπως αναφέρθηκε ανωτέρω, στα συστήματα άμεσης ξήρανσης, η υγρή υλός 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' αυτόν το λόγο ο όγκος των παραγομένων ρυπασμένων απαερίων είναι σχετικά μεγάλος.

Τα συστήματα άμεσης ξήρανσης χωρίζονται στις εξής υποκατηγορίες:

- Ξηραντές τύπου απότομης ξήρανσης
- Ξηραντές περιστρεφόμενου τύμπανου
- Ξηραντές Τύπου Ιμάντα
- Ξηραντές «Ψυχρού Αέρα»
- Ξηραντήρες ρευστοποιημένης κλίνης

Όσον αφορά στους έμμεσους ξηραντές, τα κυριότερα είδη αυτών είναι τα εξής:

- Ξηραντές κοίλων δίσκων ή αναδευτήρων
- Ξηραντές λεπτού στρώματος
- Ξηραντές τύπου μηχανικής επανασυμπίεσης του ατμού

Στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της μεθόδου.

Πίνακας 46. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της θερμικής ξήρανσης.

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Μείωση του όγκου και της μάζας της υλός.	Υψηλό κόστος αρχικού κεφαλαίου και λειτουργίας.
Σταθεροποίηση της υλός.	Σημαντικές θερμικές και ενεργειακές απαιτήσεις.
Καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών.	Απαίτηση εξειδικευμένου προσωπικού.

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Αύξηση της θερμικής αξίας του τελικού προϊόντος.	Πιθανή ατμοσφαιρική ρύπανση και έκλυση οσμών.

Χρήσεις του τελικού προϊόντος

Η θερμικά ξηραμένη ιλύς είναι αποστειρωμένη και μπορεί να διοχετευτεί στην αγορά για γεωργική χρήση ή για την επαναχρησιμοποίηση του τελικού προϊόντος, αφού ο χειρισμός της είναι ασφαλής και οικονομικός. Για τους λόγους αυτούς, αποτελεί μια πιο ελκυστική εναλλακτική λύση σε σχέση με τη χρησιμοποίηση υγρής ή αφυδατωμένης ιλύος. Η ξηραμένη ιλύς συνήθως διατίθεται με τη μορφή κόκκων, με στόχο την αύξηση της πυκνότητας και τη βελτίωση της εμπορικής της αξίας.

Εφαρμογή σε άλλες χώρες

Παρά τις αυστηρές προδιαγραφές και του περιορισμούς που διέπουν τη θερμική επεξεργασία ως μέθοδο διαχείρισης στερεών αποβλήτων, αποτελεί έναν ιδιαίτερα δημοφιλή τρόπο διαχείρισης αυτών, τόσο στην Ευρώπη, όσο και σε άλλες χώρες του εξωτερικού, όπως στις ΗΠΑ και στην Ιαπωνία. Πρωτοπόρες χώρες στην εφαρμογή μεθόδων θερμικής επεξεργασίας αποτελούν η Ελβετία, η Σουηδία, η Ολλανδία, η Δανία και η Γερμανία, όπου στις περισσότερες έχουν αναπτυχθεί «περιβαλλοντικά φιλικές» μονάδες που στοχεύουν στην ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών οχλήσεων, με την κατά το δυνατόν επανάχρηση των ρυπαντικών στοιχείων που προκύπτουν κατά τη διαδικασία.

9.1.6 Ηλιακή ξήρανση

Περιγραφή μεθόδου

Η ηλιακή ξήρανση βασίζεται στην ηλιακή θερμότητα για την εξάτμιση του νερού της ιλύος και δεν απαιτεί την προσθήκη, επιπλέον, θερμότητας, όπως γίνεται στη θερμική ξήρανση και επιτυγχάνει ποσοστά στερεών περίπου 70%. Η ηλιακή ξήρανση αξιοποιεί την ηλιακή ακτινοβολία και επιτυγχάνεται με την επαφή ενός ρεύματος αέρα με την ιλύ, η οποία διαστρώνεται στον πυθμένα ενός θερμοκηπίου που αναδεύεται με μηχανικά μέσα. Η ιλύς θερμαίνεται μέσα στο θερμοκήπιο και η ξήρασή της επιτυγχάνεται μέσω της εξάτμισης του νερού από την επιφάνειά της. Ο αέρας αποτελεί φορέα απομάκρυνσης του νερού και καθώς θερμαίνεται με την είσοδό του στο θερμοκήπιο αυξάνει τη δυνατότητα απορρόφησης νερού από την επιφάνεια της ιλύος, διευκολύνοντας έτσι τη μεταφορά του καθώς αυτό εξατμίζεται.

Ο χρόνος ξήρανσης εξαρτάται από τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία του αέρα, καθώς επίσης και από την ηλιακή ακτινοβολία. Η αναμόχλευση και η μεταφορά της ιλύος από το ανάντη προς το κατάντη άκρο του θερμοκηπίου γίνεται με μηχανικά μέσα, με αποτέλεσμα να επικρατούν αερόβιες συνθήκες στην ιλύ, περιορίζοντας τη δημιουργία οσμών, ενώ παράλληλα διευκολύνεται η διακίνηση της κολλοειδούς ιλύος. Η ιλύς διατίθεται σε λεπτές στρώσεις στο ανάντη άκρο του ξηραντηρίου,

συνήθως, διερχόμενη από διάταξη θρυμματισμού και η ξηραμένη λάσπη συλλέγεται (συγκέντρωση στερεών >85%) από το κατάντη άκρο του ξηραντηρίου.

Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της μεθόδου της ηλιακής ξήρανσης αναφέρονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 47. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ηλιακής ξήρανσης.

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Μείωση όγκου στερεών τουλάχιστον στο 1/3 του αρχικού.	Απαίτηση μεγάλων εκτάσεων.
Ευρέως εφαρμοσμένη τεχνική, απλή και εύκολα επεκτάσιμη.	Επίτευξη χαμηλής απομάκρυνσης υγρασίας, συγκριτικά με άλλες μεθόδους
Υγειονοποίηση.	
Παραγωγή προϊόντος με μεγάλη θερμογόνο δύναμη.	
Καλές μηχανικές ιδιότητες.	

Το τελικό προϊόν

Με τη μέθοδο της ηλιακής ξήρανσης επιτυγχάνεται ξήρανση της ιλύος σε ποσοστό τουλάχιστον 70% και συνεπώς, μειώνεται ο όγκος των προς διάθεση βιοστερεών κατ' ελάχιστο στο 1/3 του αρχικού. Επίσης, λόγω της ανάπτυξης θερμοκρασιών άνω των 50°C, η ιλύς υγειονοποιείται και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό.

Σύμφωνα με τα παραπάνω το τελικό προϊόν της μεθόδου θα μπορούσε:

- Να διατεθεί ως εδαφοβελτιωτικό εφαρμόζοντας κατάλληλο πρόγραμμα περιβαλλοντικής παρακολούθησης,
- να διατεθεί σε ΧΥΤΑ, εφόσον είναι σταθεροποιημένο και υγειονοποιημένο και έχει καλές μηχανικές ιδιότητες

Εφαρμογή σε άλλες χώρες

Η μέθοδος της ηλιακής ξήρανσης αποτελεί, εδώ και αρκετά χρόνια, μια διαδεδομένη μέθοδο με ποικίλους τρόπους εφαρμογής σε χώρες της Ευρώπης όπως η Ισπανία, η Πολωνία, η Ιταλία, η Γερμανία, η Γαλλία, η Αυστρία, η Ολλανδία και η Δανία. Με την πάροδο του χρόνου και με την πρόοδο της τεχνολογίας, έχουν αναπτυχθεί νέες μέθοδοι εφαρμογής της ηλιακής ξήρανσης, με τα θερμοκήπια ηλιακής ξήρανσης να αναπτύσσονται ιδιαίτερα τόσο σε Ευρωπαϊκές χώρες όσο και στις ΗΠΑ και την Αυστραλία.

9.1.7 Αποτέφρωση

Περιγραφή μεθόδου

Η αποτέφρωση ή καύση αποτελεί προέκταση της θερμικής ξήρανσης και οξειδώνει πλήρως τα οργανικά συστατικά της λάσπης, με τελικό προϊόν CO₂, H₂O και αδρανή τέφρα σε περιορισμένη ποσότητα. Η αφυδατωμένη ιλύς έχει θερμοκρασία ανάφλεξης 420 – 500 °C παρουσία οξυγόνου, ενώ η πλήρης θερμική οξείδωση των οργανικών στερεών απαιτεί θερμοκρασίες 760 – 820 °C. Κατά την αποτέφρωση, παράγεται σημαντική ποσότητα θερμότητας από την οξείδωση των οργανικών ουσιών, που είναι ικανή να συντηρήσει την καύση (αυτοσυντηρούμενη διαδικασία), εφόσον η υγρασία της ιλύος δεν υπερβαίνει το 60 - 70% και τα πτητικά αποτελούν το 65 - 70% των στερεών (αυτό-καυστη λάσπη).

Η αποτέφρωση χρησιμοποιείται, συνήθως, για εγκαταστάσεις μεσαίου ή μεγάλου μεγέθους με περιορισμένες επιλογές διάθεσης. Πιο συγκεκριμένα, αποτελεί την επιλεγόμενη λύση όταν η επαναχρησιμοποίηση της ιλύος είναι αδύνατη ή οικονομικά ασύμφορη, η περιοχή αποθήκευσης είναι περιορισμένη και σε περιπτώσεις που είναι απαραίτητη για λόγους υγειονομοποίησης.

Η συνήθης εφαρμογή της είναι ο συνδυασμός με θερμική ξήρανση. Οι άλλες δύο δυνατότητες ανάκτησης και επαναχρησιμοποίησης της θερμότητας είναι η χρήση εναλλάκτη καπνού/αέρα, για τη θέρμανση του αέρα της καύσης και η προ-ξήρανση της ιλύος πάνω από τον κλίβανο, ως αποτέλεσμα του παραγόμενου ατμού από ένα βραστήρα ανάκτησης. Η τρίτη τεχνολογία, λόγω μεγάλου κόστους, είναι κατάλληλη μόνο για μεγάλες μονάδες με δυναμικότητα εξάτμισης μεγαλύτερη από 2,5 t H₂O/h. Επίσης, βρίσκει εφαρμογή σε μοντέρνες μονάδες αποτέφρωσης στη Γερμανία, Ολλανδία και Ην. Βασίλειο, οι οποίες είναι αυτόθερμες και χρησιμοποιούν ιλύ 23% DS περίπου.

Κανονικά, δεν είναι απαραίτητη η σταθεροποίηση της ιλύος πριν την αποτέφρωση, αφού, παραδείγματος χάριν, οι τεχνολογίες βιολογικής σταθεροποίησης (χώνευση) μπορούν να μειώσουν την περιεκτικότητα σε πτητικά και να δυσχεράνουν τη διαδικασία της καύσης. Επίσης, οι ιλύες μπορούν να αποτεφρωθούν είτε χωριστά, είτε σε συνδυασμό με αστικά στερεά απόβλητα (συν-αποτέφρωση), είτε σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις για παραγωγή ενέργειας, όπως στην τσιμεντοβιομηχανία ή στους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς. Πολλές φορές, συγκαταλέγεται στις μεθόδους αυτές και η υαλοποίηση, η οποία έχει εφαρμοσθεί σε ορισμένες περιπτώσεις στην Ιαπωνία και παραμένει μια εξαιρετικά ακριβή μέθοδος.

Η αποτέφρωση της ιλύος μπορεί να επιτευχθεί είτε σε ειδικά σχεδιασμένους αποτεφρωτήρες που προορίζονται μόνο για την αποτέφρωση λάσπης, είτε σε αποτεφρωτήρες που αποτεφρώνουν οικιακά απόβλητα. Ο μεγαλύτερος αριθμός αποτεφρωτήρων που λειτουργεί σήμερα περιλαμβάνει είτε περιστρεφόμενους κλιβάνους, είτε κλιβάνους πολλαπλών εστιών, είτε πυρολυτικούς κλιβάνους. Οι

τελευταίας γενιάς αποτεφρωτήρες χρησιμοποιούν κλιβάνους ρευστής κλίνης, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από πιο απλή λειτουργία. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η αποτέφρωση δεν αποτελεί μια ολοκληρωμένη μέθοδο διαχείρισης, καθώς το 30% των στερεών παραμένει ως τέφρα, η οποία οδηγείται γενικώς σε ΧΥΤ, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις θεωρείται και ως υψηλής τοξικότητας απόβλητο, εξαιτίας του περιεχομένου της σε βαρέα μέταλλα με αποτέλεσμα να εγκυμονεί κινδύνους για τη ρύπανση του περιβάλλοντος.

Επίσης, ένα από τα σημαντικότερα εμπόδια για την ευρεία χρήση της αποτέφρωσης, είναι οι ολοένα αυξανόμενες ανησυχίες για τις ενδεχόμενες βλαβερές αέριες εκπομπές. Συγκεκριμένα, κατά την καύση της ιλύος εκπέμπονται διοξίνες και φουράνια (PCDD/PCDF), που είναι επικίνδυνα για τη δημόσια υγεία. Ωστόσο, με την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών που αποσκοπούν στον έλεγχο των απαερίων και των εκπομπών, ενδέχεται να υπάρξει μεγαλύτερη ανάπτυξη της μεθόδου. Τέλος, άλλες εναλλακτικές μέθοδοι, που χρησιμοποιούνται για τη θερμική αποσύνθεση της ιλύος είναι η πυρόλυση, η αεριοποίηση και η υγρή οξείδωση, όπως αυτές αναλύονται στις ακόλουθες ενότητες.

Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της μεθόδου αναφέρονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 48. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αποτέφρωσης.

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Μέγιστη μείωση όγκου μέχρι 95% άρα και των απαιτήσεων διάθεσης.	Υψηλό κόστος επένδυσης και λειτουργίας.
Καταστροφή των παθογόνων.	Περιορισμός της δυνατότητας αξιοποίησης του τελικού προϊόντος.
Μείωση ή καταστροφή τοξικών ενώσεων.	Απαιτείται εξειδικευμένο και έμπειρο προσωπικό για τη λειτουργία και συντήρηση.
Δυνατότητα ανάκτησης ενέργειας.	Απαιτούνται εκτεταμένες εγκαταστάσεις αντιρρύπανσης για τον περιορισμό των αερίων αποβλήτων (αέριοι ρύποι, ιπτάμενη τέφρα).
Παραγωγή παραπροϊόντων, όπως η τέφρα, που μπορούν εν δυνάμει να χρησιμοποιηθούν ως υλικό πλήρωσης	Πιθανότητα επικινδυνότητας στερεών υπολειμμάτων με συνεπαγόμενη αναγκαιότητα ειδικής διάθεσης.

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
στην ασφάλτο, το τσιμέντο και τα οικοδομικά υλικά.	
Αξιόπιστα συστήματα.	Συνήθως απαιτείται η χρήση πρόσθετου καυσίμου.
Ελαχιστοποίηση οσμών, εξαιτίας κλειστών συστημάτων και υψηλών θερμοκρασιών.	
Χαμηλή ευαισθησία στη σύνθεση της ιλύος.	

Αναπτυσσόμενες τεχνολογίες

Συμπληρωματικά στις προαναφερόμενες τεχνολογίες, υπάρχουν και νεότερες τεχνολογίες οι οποίες χρησιμοποιούνται τα τελευταία χρόνια ως εναλλακτικές των συμβατικών μεθόδων αποτέφρωσης και είναι οι εξής:

- Η υγρή οξείδωση

Κατά τη μέθοδο της υγρής οξείδωσης, η υγρή ιλύς έρχεται σε επαφή με ένα οξειδωτικό αέριο, όπως είναι το οξυγόνο, σε υγρό περιβάλλον, σε θερμοκρασία περίπου 250 °C και κάτω από υψηλή πίεση (από 70 έως 150 bar), σε μια συνεχή διαδικασία. Τα επίπεδα θερμοκρασίας και πίεσης, η χρήση του καταλύτη και το χρησιμοποιούμενο αέριο (οξυγόνο ή αέρας), διαφοροποιούν τις υπάρχουσες διαδικασίες. Μία γνωστή τέτοια διαδικασία είναι η εγκατάσταση Zimpro, που αναπτύχθηκε από τον Zimmermann και η οποία έχει χρησιμοποιηθεί και για θερμική σταθεροποίηση, αλλά με μικρότερες πιέσεις και θερμοκρασίες. Η μονάδα μπορεί να είναι θερμικά αυτοσυντήρητη αν χρησιμοποιεί ανεπεξέργαστη λάσπη. Οι οργανικοί ρυπαντές διασπώνται και τα βαρέα μέταλλα συγκεντρώνονται στα στερεά κατάλοιπα της διαδικασίας, με εξαίρεση τον υδράργυρο που βρίσκεται σε αέρια μορφή.

Κατά την υγρή οξείδωση δεν απαιτείται καμία ιδιαίτερη προεπεξεργασία της ιλύος, αφού τις περισσότερες φορές είναι ικανοποιητική η πάχυνσή της. Επισημαίνεται, ωστόσο, ότι μετά την υγρή οξείδωση είναι αναγκαίος ο διαχωρισμός των υγρών από τα ανόργανα στερεά. Η διάθεση των καταλοίπων από την οξείδωση μπορεί να αντιμετωπισθεί με τον ίδιο τρόπο, όπως οι τέφρες από την καύση της ιλύος.

Στην παρούσα φάση, η παραπάνω μέθοδος επεξεργασίας δεν είναι αρκετά διαδεδομένη και δεν υπάρχουν αξιόπιστα στοιχεία κόστους. Εντούτοις, φαίνεται ότι είναι μία ανταγωνιστική μέθοδος σε σχέση με την καύση σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων μέχρι 200.000 ισοδύναμους κατοίκους. Συγκριτικές μελέτες έχουν δείξει ότι για συγκέντρωση στερεών ιλύος μέχρι 20%, η υγρή οξείδωση απαιτεί

μεγαλύτερες δαπάνες κεφαλαίου από την αποτέφρωση, αλλά έχει πολύ χαμηλότερο λειτουργικό κόστος, εξαιτίας της ελάχιστης εξωτερικής ενέργειας που απαιτεί. Τα τελευταία χρόνια, εξαιτίας των τεχνολογικών εξελίξεων και της αυστηρότερης περιβαλλοντικής νομοθεσίας φαίνεται να προσελκύει και πάλι το ενδιαφέρον για εφαρμογή σε μεγάλες μητροπολιτικές εγκαταστάσεις.

- Η πυρόλυση

Η πυρόλυση είναι μια θερμική επεξεργασία, που πραγματοποιείται με απουσία οξυγόνου. Η ιλύς δεν καίγεται, αλλά εισερχόμενη σε θερμοκρασία 300 °C έως 900 °C, παράγονται δύο είδη παραπροϊόντων: στερεά που περιέχουν αδρανή υλικά και άνθρακα και απαέρια. Δεδομένου ότι τα προϊόντα της πυρόλυσης έχουν θερμαντική αξία, η πυρόλυση θεωρείται ως επεξεργασία, που απαιτεί την περαιτέρω αξιοποίηση των στερεών καταλοίπων και των απαερίων.

Οι κύριες ενώσεις που βρίσκονται στα απαέρια είναι υδρογονάνθρακες, H₂, CO και CO₂. Τα στερεά μπορούν να θεωρηθούν ως χαμηλής ποιότητας άνθρακας και έχουν το πλεονέκτημα της εύκολης αποθήκευσης. Στην περίπτωση μικρών μονάδων, δυναμικότητας από 10.000 t/έτος μέχρι 50.000 t/έτος, η αξιοποίησή τους μπορεί να πραγματοποιηθεί αργότερα και σε άλλη περιοχή. Τα στερεά υπολείμματα μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε μονάδες παραγωγής ενέργειας ή τσιμέντου. Αντίθετα, για τις μονάδες με ικανότητα μεγαλύτερη από 30.000 t/έτος, μπορεί να γίνει η αξιοποίησή τους επί τόπου μέσω αεριοποίησης ή καύσης.

- Η αεριοποίηση

Η αεριοποίηση είναι μια θερμική διαδικασία, κατά τη διάρκεια της οποίας ένα καύσιμο υλικό (χωνεμένη ή μη χωνεμένη ιλύς) μετατρέπεται, με τον αέρα ή το οξυγόνο, σε εύφλεκτο αέριο και αδρανές υπόλειμμα. Αυτός ο τρόπος επεξεργασίας πραγματοποιείται σε υψηλή θερμοκρασία: μεταξύ 900 °C και 1.100 °C (με αέρα) ή μεταξύ 1.000 °C και 1.400 °C (με οξυγόνο). Η πυρόλυση μπορεί να θεωρηθεί ως μία παραλλαγή της αεριοποίησης πραγματοποιούμενη με απουσία οξυγόνου. Ωστόσο, όπως προαναφέρθηκε, μπορεί να συνδυαστούν οι δύο μέθοδοι επεξεργασίας, καθώς η αεριοποίηση μπορεί να εφαρμοστεί στο στερεό υπόλειμμα της πυρόλυσης. Οι πιο διαδεδομένοι τύποι αντιδραστήρων αεριοποίησης είναι ο αντιδραστήρας σταθερής κλίνης, ρευστοποιημένης κλίνης και περιστροφικής κλίνης. Πρόκειται για μια σχετικά νέα μέθοδο που βρίσκεται στο στάδιο της επίδειξης και δεν υπάρχουν αξιόπιστα δεδομένα σύγκρισης με τις άλλες μεθόδους αποτέφρωσης.

- Πυρόλυση πλάσματος

Η πυρόλυση πλάσματος χρησιμοποιεί θερμαντήρες τόξου πλάσματος/πυρσούς οι οποίοι θερμαίνουν τα απόβλητα που αποτελούνται από HC, όπως η ιλύς, σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερες θερμοκρασίες. Με τον τρόπο αυτό οι HC πυρολύονται στους 2.000 – 4.000 °C και παράγουν ένα αέριο μίγμα που αποτελείται κατά 80% από CO₂

και H₂. Το αέριο αυτό προϊόν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη βιομηχανία για την παρασκευή μεθανόλης και σαν καύσιμο. Το τηγμένο μίγμα σκωρίας – μετάλλων σταθεροποιείται σε ένα μη εκχυλίσσιμο στερεό με χαρακτηριστικά αερίου. Ο λόγος ανάμεσα στην παραγόμενη ενέργεια και στην προσφερόμενη ηλεκτρική είναι περίπου 4.

Οι τεχνολογίες της πυρόλυσης και αεριοποίησης πλεονεκτούν έναντι των μεθόδων καύσης, καθώς το τελικό προϊόν είναι αέριο ή υγρό καύσιμο το οποίο μπορεί να μεταφερθεί ή να αποθηκευτεί. Το παραγόμενο καύσιμο απαλλάσσεται πριν από την καύση του από επικίνδυνους ρύπους (HCl, SO₂, κλπ) σε οικονομικότερες διατάξεις από αυτές που απαιτούνται για τον καθαρισμό των καυσαερίων από την απευθείας καύση της ιλύος. Η χρήση του καυσίμου σε μονάδες συνδυασμένου κύκλου, επιτρέπει την επίτευξη υψηλών βαθμών απόδοσης ηλεκτροπαραγωγής (~ 40%), σε σύγκριση με το βαθμό απόδοσης των συστημάτων καύσης (25 - 30%).

Εφαρμογή σε άλλες χώρες

Όσον αφορά την εφαρμογή της μεθόδου της αποτέφρωσης σημειώνεται ότι:

- Η τεχνολογία της υγρής οξείδωσης αναπτύχθηκε, αρχικά, στη Νορβηγία για τη βιομηχανία χάρτου, ενώ εφαρμόσθηκε σε διαχείριση ιλύος στις ΗΠΑ από τη δεκαετία του '60. Παρά τις αισιόδοξες προοπτικές της, η χρήση της περιορίστηκε σε περιπτώσεις βιομηχανικών ιλύων, ή αστικών ιλύων που είναι ιδιαίτερα υδαρείς για να αποτεφρωθούν ή σημαντικά επιβαρυνμένες με τοξικές ουσίες για να υποστούν βιολογική επεξεργασία. Μειονέκτημά της είναι ο πολύπλοκος σχεδιασμός και η απαίτηση εξειδικευμένου προσωπικού για τη λειτουργία και τη συντήρηση της εγκατάστασης. Όλα τα υλικά του αντιδραστήρα πρέπει να είναι κατασκευασμένα από ανοξείδωτο ατσάλι, για προστασία διάβρωσης από τα παραγόμενα οξέα.

Η υγρή οξείδωση έχει εφαρμοσθεί σε αρκετές περιπτώσεις σε συμβατικά συστήματα ενεργού ιλύος, με την τεχνολογία βαθέος φρέατος. Στις εγκαταστάσεις αυτές οι αντιδραστήρες βρίσκονται σε βάθος μέχρι 1,6 km, και εξοπλισμοί, όπως αντλίες, εναλλάκτες θερμότητας και αντιδραστήρες υψηλής πίεσης θεωρούνται περιττοί, με αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά το κόστος τα εγκατάστασης. Τέτοια συστήματα συνιστώνται όταν η αξία των εκτάσεων είναι υψηλή. Η πιο σημαντική τέτοια εγκατάσταση λειτουργεί στην Ολλανδία.

- Για τη μέθοδο της πυρόλυσης υπάρχουν διαφορετικές διαθέσιμες τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί από γερμανικές και γαλλικές εταιρίες (πυρόλυση, πυρόλυση + αεριοποίηση, πυρόλυση + καύση). Η βιβλιογραφία δίνει 16 μονάδες πυρόλυσης σε Ευρώπη και Ιαπωνία, πολλές από τις οποίες είναι πιλοτικές, με δυναμικότητες 0,5 – 25 t DS/h.
- Παρά το γεγονός ότι σε εγκαταστάσεις μέχρι 200.000 t/έτος και διεσπαρμένους κατοίκους, η πυρόλυση απορριμμάτων έχει σημαντική

εφαρμογή σε σχέση με την καύση, εντούτοις δεν έχει επιβεβαιωθεί η εφαρμογή της και στην ιλύ.

- Τέλος, η μέθοδος της πυρόλυσης πλάσματος εφαρμόζεται ευρέως στη μεταλλουργία εδώ και πολλές δεκαετίες, ενώ από το '80 εφαρμόζεται και στη διαχείριση αποβλήτων σε Ευρώπη και ΗΠΑ.

9.2 Κύριοι τρόποι Διάθεσης της Ιλύος

Η βιολογική ιλύς, συνήθως, υποβάλλεται σε επεξεργασία πριν τη διάθεση ή επαναχρησιμοποίησή της για να μειωθεί η υγρασία, να σταθεροποιηθεί, και να μειωθεί η παρουσία παθογόνων, της παρουσιάστηκε της προηγούμενες ενότητες. Ο τρόπος τελικής διάθεσης της ιλύος από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, καθορίζει σε μεγάλο βαθμό και την απαιτούμενη επεξεργασία της ιλύος. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται δυνητικοί τρόποι διάθεσης του τελικού προϊόντος της επεξεργασμένης ιλύος.

9.2.1 Υγειονομική ταφή

Οι κύριες μέθοδοι της υγειονομικής ταφής της ιλύος περιλαμβάνουν την ταφή της σε τεχνητή τάφρο που καλύπτεται με χώμα και την εναπόθεση αυτής πάνω στην επιφάνεια του εδάφους και στη συνέχεια, κάλυψη αυτής με χώμα.

Για την υγειονομική ταφή της ιλύος υπάρχουν δυο επιλογές:

- Διάθεση σε ΧΥΤΑ που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για την υγειονομική ταφή βιολογικής ιλύος και
- Διάθεση σε ΧΥΤΑ που χρησιμοποιούνται και για την απόθεση αστικών στερεών αποβλήτων, που είναι η πιο συνήθης μέθοδος.

Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η υγειονομική ταφή της ιλύος προκαλεί σημαντική «παράπλευρη» ρύπανση από τα οχήματα μεταφοράς της ιλύος και διάφορα ανεπιθύμητα παράγωγα, όπως το διήθημα και το βιοαέριο. Αυτή η μέθοδος τελικής διάθεσης δεν περιλαμβάνει καμία αξιοποίηση του προϊόντος και με βάση τη διεθνή περιβαλλοντική πρακτική και νομοθεσία αποτελεί προς το παρόν «αναγκαστική» λύση, στην περίπτωση που αποκλειστούν όλες οι δυνατές ωφέλιμες χρήσεις που θα δούμε παρακάτω, ενώ στο μέλλον προβλέπεται ότι θα εξαλειφθεί εντελώς αυτή η μέθοδος διάθεσης της ιλύος.

9.2.2 Εφαρμογή στο έδαφος

Σε γενικές γραμμές, η χρησιμοποίηση της ιλύος στη γεωργία και στην αποκατάσταση υποβαθμισμένων εδαφικών εκτάσεων, μπορεί να θεωρηθεί, ως εξαιρετική περιβαλλοντική εναλλακτική δυνατότητα, υπό την απαραίτητη προϋπόθεση ότι αυτή δεν συνεπάγεται οποιουδήποτε κινδύνους για το περιβάλλον ή την ανθρώπινη υγεία.

Διάθεση σε αγροτικές εκτάσεις

Από παραγωγική άποψη, η χρησιμοποίηση της ιλύος στη γεωργία δεν πρέπει να θεωρείται ως απόβλητο, ούτε καν ως παραπροϊόν της επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, αλλά ως δευτερογενές προϊόν του κάθε κέντρου επεξεργασίας λυμάτων, το οποίο σε όλες τις περιπτώσεις μπορεί να αξιοποιηθεί.

Προκειμένου να επιτευχθούν συνθήκες ορθολογικής αξιοποίησης της ιλύος στη γεωργία, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα εξής:

- Η ιλύς πρέπει να εφαρμόζεται ορθολογικά και η χρησιμοποίησή της να ρυθμίζεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να αποφεύγονται επιβλαβείς επιπτώσεις στα εδάφη, στη βλάστηση και στους οργανισμούς.
- Η ιλύς πρέπει να εμπλουτίζει το έδαφος με πληθώρα θρεπτικών συστατικών και χουμικών ενώσεων.
- Είναι αναγκαία η λήψη κατάλληλων μέτρων, ώστε τα εδάφη και οι υδροφορείς να προστατεύονται από τυχόν ρύπανση.
- Η χρήση της ιλύος σε γεωργικές εκτάσεις πρέπει να μην επηρεάζει, δυσμενώς, τη χρήση των παραγόμενων αγροτικών προϊόντων.
- Αναγκαία καθίσταται η διαδικασία μετ-επεξεργασίας της ιλύος, όταν προορίζεται για εδαφική εφαρμογή.
- Πρέπει να τηρούνται τα απαραίτητα χρονικά περιθώρια μεταξύ της εδαφικής εφαρμογής και της βόσκησης των λειμώνων ή της συγκομιδής της φυτικής μάζας κτηνοτροφικών καλλιεργειών.
- Να γίνεται τακτικός έλεγχος των ποιοτικών χαρακτηριστικών των ιλύων και των εδαφών, στα οποία αυτές εφαρμόζονται. Επομένως, συνίσταται η λεπτομερής εκτέλεση αναλύσεων εδαφών και ιλύων.
- Υποχρεωτική τήρηση, είτε από τις Μονάδες Επεξεργασίας Λυμάτων είτε από τις αρμόδιες υπηρεσίες, των προβλεπόμενων πιστοποιητικών εφαρμογής, των στοιχείων, αναφορικά με τα σχετικά δεδομένα για την αξιοποίηση της ιλύος (ποσότητες της ιλύος, σχετικοί περιβαλλοντικοί παράμετροι κ.α.).
- Η εδαφική χρήση ανεπεξέργαστης ιλύος, που προέρχεται από Μονάδες Επεξεργασίας Λυμάτων με υψηλά επίπεδα βαρέων μετάλλων ή άλλων επιβλαβών ουσιών, πρέπει να απαγορεύονται.
- Η ιλύς πρέπει να χρησιμοποιείται, κατά προτίμηση, σε περιοχές εγγύς του τόπου παραγωγής της, προκειμένου να ελαχιστοποιούνται όσον το δυνατόν ενδεχόμενες διαρροές αζώτου στο περιβάλλον. Επιπρόσθετα, η εφαρμογή της ιλύος σε μακρινές περιοχές δεν πρέπει να ενθαρρύνεται, λόγω πιθανών ατυχημάτων κατά τη διάρκεια της μεταφοράς της.
- Σε ευπαθείς περιοχές, όπως αυτών που έχουν πληγεί από πλημμύρες ή σε εδάφη που καλύπτονται συχνά με νερά, δεν πρέπει να ευνοείται η εφαρμογή της ιλύος.

- Η ιλύς δεν συνιστάται να εφαρμόζεται σε εδάφη που ευρίσκονται σε κοντινή απόσταση σε ταμιευτήρες επιφανειακών νερών, όπως ποτάμια, λίμνες, υδατοφράκτες, κλπ., με στόχο τον περιορισμό κινδύνου της επιβάρυνσης της ποιότητας των νερών. Ομοίως, η ιλύς δεν πρέπει να εφαρμόζεται σε εδάφη που ευρίσκονται κοντά σε φρεάτια και καρστικούς σχηματισμούς.
- Όσο μεγαλύτερη η κλίση του εδάφους, τόσο μεγαλύτερος παρουσιάζεται ο κίνδυνος της έκπλυσης του υλικού και της διαφυγής του προς τις κατώτερες περιοχές. Συγκεκριμένα, σε εκτάσεις με κλίσεις μεγαλύτερες από 8%, είναι σημαντικό να αποφεύγεται η χρήση της, ή να εφαρμόζεται με μεγάλες επιφυλάξεις.
- Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να καταβάλλεται σε περιπτώσεις εφαρμογής της ιλύος σε εδάφη που ευρίσκονται εντός των αστικών περιοχών ή σε περιοχές όπου το κοινό έχει πρόσβαση για συλλογή πρώτων υλών, διασκέδαση κ.α.
- Ομοίως, η εφαρμογή της ιλύος είναι σημαντικό να αποφεύγεται στις προστατευόμενες περιοχές, και γενικότερα σε εδάφη που συγκαταλέγονται στο δίκτυο Natura 2000.

Γενικότερα, η χρησιμοποίηση της ιλύος στη γεωργία μπορεί να συνεισφέρει σε σημαντικό βαθμό στη βελτίωση των φυσικών, χημικών και βιολογικών ιδιοτήτων στο έδαφος. Ερευνητικά αποτελέσματα έχουν συμπεράνει ότι η εδαφική εφαρμογή της ιλύος έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της παραγωγικότητας των εδαφών σε θρεπτικά στοιχεία, ιχνοστοιχεία και χουμικές ενώσεις, τη ρύθμιση του pH, τη βελτίωση διαφόρων φυσικών του ιδιοτήτων (υδατοχωρητικότητα, σταθερότητα, αερισμός κλπ.), καθώς επίσης και τη βελτίωση της βιολογικής δραστηριότητας των εδαφών, που προωθούν την αύξηση των ριζών και την αύξηση των πληθυσμών της χλωρίδας και της πανίδας του εδάφους.

Πριν την εναπόθεση της ιλύος σε γεωργικές εκτάσεις, αναγκαία καθίσταται η διερεύνηση της χημικής σύστασης της ιλύος. Η επιλογή της για γεωργική χρησιμοποίηση, πρέπει να είναι αποτέλεσμα συνεκτίμησης των θετικών και αρνητικών χαρακτηριστικών της. Ο προβληματισμός αυτός δεν είναι καινούργιος, δεδομένου ότι άλλες δραστηριότητες, όπως η προσθήκη κόπρου στα εδάφη, η εφαρμογή φυτοπροστατευτικών ουσιών και χημικών λιπασμάτων ενδέχεται να προκαλέσουν φαινόμενα μόλυνσης εδαφών. Τέλος, οι ιλύες με υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων επιφυλάσσουν κινδύνους, όσον αφορά στη ρύπανση του εδάφους, και κατ' επέκταση στους καρπούς που αναπτύσσονται σε αυτό.

Διάθεση σε δασικές εκτάσεις

Η εναπόθεση της ιλύος σε δασικές εκτάσεις μοιάζει να είναι μία εναλλακτική της επαναχρησιμοποίησης στη γεωργία, ωστόσο υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις, οι οποίες οφείλονται, μεταξύ άλλων παραγόντων, και στην

ιδιαιτερότητα των ειδών που αναπτύσσονται σε κάθε περίπτωση. Από οικονομική άποψη, η μέθοδος αυτή είναι δελεαστική σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν διαθέσιμες εκτάσεις πλησίον των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων. Επισημαίνεται πάντως, ότι είναι σχετικά μικρές οι ποσότητες της ιλύος που μπορούν να εφαρμοστούν με μέσο ρυθμό εφαρμογής 3t DS/ha/έτος. Σε δασικές εκτάσεις, μετά την εφαρμογή ιλύος από την επεξεργασία των λυμάτων, έχει παρατηρηθεί βελτίωση της απόδοσης. Γενικά, παρατηρείται μία αύξηση στο ύψος, διάμετρο και στην επιφάνεια κάλυψης των δένδρων. Ωστόσο, τα αποτελέσματα εξαρτώνται από τα είδη, καθώς και από τις τοπικές συνθήκες.

Αποκατάσταση εδαφών

Η ιλύς μπορεί να θεωρηθεί ως «θεραπευτικό υλικό» για την αποκατάσταση εγκαταλελειμμένων ή/και καμένων εκτάσεων, με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας των εδαφών, τη συντήρηση και αναγέννηση τους, την προστασία τους από τη διάβρωση και τον εμπλουτισμό τους με θρεπτικά και οργανική ύλη.

Αν και οι μηχανικές ιδιότητες της αφυδατωμένης ιλύος είναι ένας ανασταλτικός παράγοντας για τη χρήση της ως υλικό πλήρωσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποκατάσταση των λατομείων, σε διαδοχικές στρώσεις, με προϊόντα εκσκαφής ή μπάζα και στη διαμόρφωση επιφανειακής εδαφικής στρώσης για την ανάπτυξη της βλάστησης.

Περιορισμοί στην αξιοποίηση της ιλύος

Ελάχιστες πληροφορίες είναι διαθέσιμες σχετικά με τις επιπτώσεις της ιλύος στην υγεία ανθρώπων και ζώων, όπως επίσης, σχετικά με τις ενδεχόμενες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διάφορων ανόργανων ή/και οργανικών ρύπων, παθογόνων και άλλων βιολογικών παραγόντων, οι οποίες προέρχονται από την ιλύ. Σε διεθνή κλίμακα, έχουν διαπιστωθεί σοβαρές επιφυλάξεις, αναφορικά με τη σκοπιμότητα της γεωργικής χρησιμοποίησης μη σταθεροποιημένων ιλύων, εξαιτίας των κινδύνων για την υγεία ανθρώπων και ζώων.

Επιπρόσθετα, με την εδαφική εφαρμογή της ιλύος, οι επιβλαβείς ουσίες που περιέχονται σε αυτή, μπορούν, με την πάροδο του χρόνου, να εκπλυθούν υποβιβάζοντας την ποιότητα του εδάφους και επιβαρύνοντας τους υδροφορείς. Ακολούθως, η κακή διαχείριση της ιλύος, είναι πιθανό, υπό συγκεκριμένες συνθήκες, να οδηγήσει στην έκλυση μεγάλων ποσοτήτων θρεπτικών ουσιών (άζωτο και φώσφορο), προκαλώντας σημαντικά προβλήματα στο περιβάλλον, όπως ευτροφισμό στα θαλάσσια ύδατα και κατ' επέκταση, θανάτωση πολυκύτταρων οργανισμών και ψαριών στη ευφωτική ζώνη.

Στο γενικότερο πλαίσιο, για την αξιολόγηση και αξιοποίηση της ιλύος, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα πλεονεκτήματα και το οικονομικό όφελος που προέρχεται από τη χρήση της. Παρόλα αυτά, αναπόσπαστο κομμάτι αποτελεί και η συνεκτίμηση της ρύπανσης, που μπορεί αυτή να προκαλέσει, οπότε τα προληπτικά μέτρα, που

λαμβάνονται για την αποτροπή αυτού του ενδεχομένου, πρέπει να αξιολογούνται με μεγάλη έμφαση. Σε αυτό το σημείο, η συνεκτίμηση και άλλων δυνητικών πηγών ρύπανσης πρέπει να λαμβάνει χώρα, που καταλήγουν στο έδαφος, είτε με άμεσο (φυτοφάρμακα, χημικά λιπάσματα), είτε με έμμεσο τρόπο (σιτηρέσια ζώων, μέσω της κόπρου ζώων).

9.2.3 Βιομηχανική χρήση

Η αξιοποίηση της επεξεργασμένης ιλύος στη βιομηχανία επιτυγχάνεται με καύση της σε θερμικά εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, μαζί με τα ορυκτά καύσιμα, ή σε εργοστάσια παραγωγής τσιμέντου, υποκαθιστώντας τον ορυκτό άνθρακα. Για τη χρήση της ιλύος σαν καύσιμο, προαιρετική καθίσταται η σταθεροποίησή της, αφού η μη σταθεροποιημένη ιλύς έχει μεγαλύτερη θερμική αξία. Παρότι είναι εφικτό η ιλύς να έχει υποστεί μόνο αφυδάτωση στην εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων, πολλές φορές δεν γίνεται αποδεκτή από τη βιομηχανία. Λόγω του πολύ μεγάλου όγκου της ιλύος, επιβαρύνονται σημαντικά οι μεταφορές, ενώ η υψηλή υγρασία επιδρά αρνητικά κατά τη διαδικασία της καύσης. Επίσης, δεν μπορεί να αποκλειστεί το ενδεχόμενο μόλυνσης κατά το χειρισμό του υλικού. Για το λόγο αυτό, η βέλτιστη επεξεργασία της ιλύος για επαναχρησιμοποίηση στη βιομηχανία είναι η θερμική ξήρανση μη σταθεροποιημένης λάσπης, αφού έτσι εξασφαλίζεται μικρός όγκος μεταφερόμενου υλικού και υψηλή καθαρή θερμική αξία της ιλύος.

Η χρήση της ιλύος στη βιομηχανία έχει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως η αποκατάσταση των φυσικών διαθέσιμων ορυκτών καυσίμων, ο περιορισμός των συνολικών εκπομπών CO₂ και CO₄, συμβάλλοντας στην αντιμετώπιση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Συγκεκριμένα, η χρήση της ιλύος σε τσιμεντοβιομηχανία προσδίδει επιπρόσθετα πλεονεκτήματα, όπως η μείωση της στάχτης και άλλων υπολειμμάτων, αφού το μη πτητικό μέρος της ιλύος ενσωματώνεται στο παραγόμενο τσιμέντο και η μείωση της εναπόθεσης βαρέων μετάλλων στο περιβάλλον, αφού οξειδώνονται στις υψηλές θερμοκρασίες της καύσης, με αποτέλεσμα τη δημιουργία αδιάλυτων συστατικών στο τσιμέντο.

9.2.4 Χρήση στη παραγωγή

Η ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση της ιλύος με χρήση της στην παραγωγή περιλαμβάνει:

- Την ανάκτηση οργανικής ύλης φωσφόρου, αζώτου όπως παραγωγή φωσφορικών λιπασμάτων έπειτα από εκχύλιση αυτών από ιλύ, κατά προτίμηση μετά από διαδικασίες κρυστάλλωσης ή θερμικής επεξεργασίας,
- Την απόληψη εκχυλίσμων υλικών, όπως λίπος, πρωτεΐνες, ευγενή μέταλλα κλπ., βέβαια σε πολύ μικρές ποσότητες για θεωρητικό ενδιαφέρον,
- Την παραγωγή άνθρακα,
- Την παραγωγή κροκιδωτικών (άργιλο ή/και σίδηρο),

- Την παραγωγή εξειδικευμένων προσθετικών υλών για οικοδομική χρήση , που προέρχεται από την τέφρα των βιοστερεών μέσω θερμικής επεξεργασίας της ιλύος, όπως τούβλα και κεραμικά υλικά,
- Την παραγωγή δομικών υλικών από αφυδατωμένες ιλύες όπως ασφαλτικά μίγματα, τσιμέντο, υλικά υπόβασης στην οδοποιία κ.α.,
- Την παραγωγή βιοκαυσίμων όπως βιο-έλαιο, που έχει θερμογόνο δύναμη σχεδόν ισάξια με του ντίζελ και υπάρχει δυνατότητα πώλησης σε εξωτερικούς χρήστες ή διυλιστήρια και
- Την παραγωγή υδρογόνου, όπου το μεικτό αέριο, επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με απόδοση έως 30%.

9.3 Συμπεράσματα

Από τα παραπάνω καθίσταται σαφής η άμεση και αμφίδρομη εξάρτηση που υπάρχει μεταξύ των μεθόδων επεξεργασίας και της διάθεσης της βιολογικής ιλύος. Η επιλογή της μεθόδου επεξεργασίας της ιλύος, λαμβάνει υπόψη τις απαιτήσεις για τον εκάστοτε τρόπο διάθεσης της ιλύος, αλλά και ο τρόπος επεξεργασίας της ιλύος καθορίζει τις πιθανές χρήσεις, που δύναται να έχει το τελικό προϊόν. Με αυτό τον τρόπο, γίνεται κατανοητό ότι η ολοκληρωμένη διαχείριση της ιλύος αποτελεί ένα πολυπαραγοντικό ζήτημα, για το οποίο θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη διάφορες παράμετροι, με κύριο στόχο τη βέλτιστη απόδοση και την αειφορία του σχεδιασμού διαχείρισης.

10. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΙΛΥΟΣ ΣΕ ΧΩΡΕΣ ΤΗΣ Ε.Ε. ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Πίνακας 49. Τρόποι διάθεσης της παραγόμενης ιλύος (σε 10³ t) σε ευρωπαϊκές χώρες για το έτος 2016. [Πηγή: Eurostat]

ΕΤΟΣ	2016					
	ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΧΡΗΣΗ	ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ Κ.Α.	ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΤΑΦΗ	ΑΠΟΤΕΦΡΩΣΗ	ΆΛΛΟ	ΣΥΝΟΛΟ
Βέλγιο	26	0	0	129	3	157
Βουλγαρία	26	3	6	0	11	47
Τσεχία	99	68	22	19	:	207
Γερμανία	423	201	0	1.143	6	1.773
Εσθονία	0	15	3	:	:	18
Ιρλανδία	45	10	0	0	1	56
Ελλάδα	22	:	34	38	26	120
Ισπανία	942	:	121	112	:	1.174
Γαλλία	351	287	6	136	21	801
Κροατία	1	0	7	0	0	8
Κύπρος	2	0	0	1	5	7
Λετονία	4	8	0	0	13	25
Λιθουανία	10	14	6	0	0	29
Λουξεμβούργο	2	3	:	1	4	9

«Ανάλυση βιωσιμότητας μέσω πολυκριτηριακής ανάλυσης εναλλακτικών δυνατοτήτων και τεχνολογιών διαχείρισης υλούς στην Ελλάδα» | Διπλωματική εργασία- Τσόμπος Αλέξανδρος

ΕΤΟΣ	2016					
Ουγγαρία	26	128	2	61	0	217
Μάλτα	0	0	11	0	0	11
Ολλανδία	0	4	1	320	0	325
Αυστρία	48	48	0	127	14	238
Πολωνία	116	32	21	101	299	568
Πορτογαλία	14	:	5	:	100	119
Ρουμανία	18	0	178	0	44	240
Σλοβενία	1	1	0	16	15	33
Σλοβακία	0	25	7	11	10	53
Σουηδία	70	56	3	4	59	191
Νορβηγία	66	28	14	0	6	114
Σύνολο	2.309	929	447	2.219	638	6.542
Ποσοστό μεθόδου	35%	14%	7%	34%	10%	100%

Πίνακας 50. Τρόποι διάθεσης της παραγόμενης υλός στην Ελλάδα για το διάστημα 2012-2016
[Πηγή δεδομένων: Eurostat].

ΕΤΟΣ	ΔΙΑΘΕΣΗ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΥΛΟΣ (10 ³ T)
2012	Γεωργική χρήση	14
	Κομποστοποίηση κ.α	8
	Υγειονομική ταφή	40
	Αποτέφρωση	39
	Άλλο	17
	Σύνολο	119
2013	Γεωργική χρήση	23
	Κομποστοποίηση κ.α	9
	Υγειονομική ταφή	37
	Αποτέφρωση	42
	Άλλο	2
	Σύνολο	113
2014	Γεωργική χρήση	23
	Κομποστοποίηση κ.α	9
	Υγειονομική ταφή	39
	Αποτέφρωση	39
	Άλλο	7
	Σύνολο	116
2015	Γεωργική χρήση	22
	Κομποστοποίηση κ.α	:
	Υγειονομική ταφή	34
	Αποτέφρωση	38
	Άλλο	26
	Σύνολο	120
2016	Γεωργική χρήση	22
	Κομποστοποίηση κ.α	:
	Υγειονομική ταφή	34

«Ανάλυση βιωσιμότητας μέσω πολυκριτηριακής ανάλυσης εναλλακτικών δυνατοτήτων και τεχνολογιών διαχείρισης ιλύος στην Ελλάδα» | Διπλωματική εργασία- Τσόμπος Αλέξανδρος

ΕΤΟΣ	ΔΙΑΘΕΣΗ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΙΛΥΟΣ (10 ³ T)
	Αποτέφρωση	38
	Άλλο	26
	Σύνολο	120

11. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

11.1 Πολυκριτηριακή ανάλυση

Η εύρεση του βέλτιστου τρόπου επίλυσης ενός διαχειριστικού προβλήματος αποτελεί μια πολύπλοκη διαδικασία, δεδομένου ότι κάθε μέθοδος / σύστημα διαχείρισης παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, τεχνικά, οικονομικά, περιβαλλοντικά κ.λπ., καθώς και η καταλληλότητα κάθε συστήματος διαχείρισης εξαρτάται από τις τοπικές ιδιαιτερότητες και τα χαρακτηριστικά κάθε περιοχής, οι οποίες θέτουν ένα σύνολο φυσικών και τεχνικών περιορισμών.

Η πολυκριτηριακή λήψη αποφάσεων αποτελεί τόσο μια προσέγγιση, όσο και μια σειρά τεχνικών, οι οποίες αποσκοπούν στην εύρεση της βέλτιστης λύσης, μέσα από ένα σύνολο διακριτών επιλογών. Τα κριτήρια που ορίζονται για ένα πρόβλημα απόφασης, ανάλογα τον αριθμό τους, ομαδοποιούνται, και ιεραρχούνται σε υποκριτήρια. Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η πολυκριτηριακή προσέγγιση, αφορούν τη δυνατότητα διαχείρισης πολλών δεδομένων, συχνά αντικρουόμενων κριτηρίων, αποδίδοντας μέσα από μια σειρά υπολογισμών την ιεράρχηση των επιμέρους στοιχείων απόφασης και την ανάδειξη της βέλτιστης λύσης.

Η Πολυκριτηριακή Ανάλυση μπορεί να ορισθεί ως μία συστηματική και μαθηματικά τυποποιημένη προσπάθεια επίλυσης προβλημάτων που προκύπτουν από αντικρουόμενους στόχους. Η ικανοποίηση των στόχων αυτών δεν μπορεί να είναι πλήρης και οι διαθέσιμες επιλογές σε ένα τέτοιο πρόβλημα παρουσιάζουν άριστη επίδοση μόνο ως προς έναν ή περισσότερους, αλλά ποτέ ως προς όλους τους στόχους, γιατί στην περίπτωση αυτή δε θα υπήρχε πρόβλημα απόφασης. Είναι αναγκαίος λοιπόν ένας συμβιβασμός μεταξύ των αλληλοσυγκρουόμενων στόχων. Έτσι κατά την επίλυση ενός προβλήματος με περισσότερα από ένα κριτήρια το πλέον σύνηθες είναι η βέλτιστη λύση ενός κριτηρίου να μην είναι βέλτιστη για όλα τα άλλα κριτήρια. Σε αυτές τις περιπτώσεις η επίλυση εστιάζεται στην αναζήτηση του συνόλου των ικανοποιητικών λύσεων δηλαδή εκείνων των λύσεων στις οποίες δεν είναι δυνατό να βελτιωθεί κανένα κριτήριο χωρίς να χειροτερέψει η τιμή σε κάποιο από τα υπόλοιπα κριτήρια.

11.2 Γενική μεθοδολογία

Μέσω της πολυκριτηριακής ανάλυσης διευκολύνεται η αναπαράσταση πολυδιάστατων προβλημάτων καθώς είναι ιδιαίτερα ευέλικτη και επιτρέπει τη διαφορετική επίδραση των παραγόντων στο τελικό αποτέλεσμα δίνοντας με αυτό τον τρόπο τη δυνατότητα απλοποίησης της διαδικασίας όταν είναι αναγκαία η αξιολόγηση μη μετρήσιμων μεγεθών (όπως είναι οι περιβαλλοντικοί και οι κοινωνικοί παράγοντες). Η γενική μεθοδολογία που ακολουθείται κατά την εφαρμογή της πολυκριτηριακής ανάλυσης περιλαμβάνει τα κάτωθι στάδια:

1. Καθορισμός του προβλήματος και των πιθανών εναλλακτικών σεναρίων επίλυσής του.
2. Επιλογή και ταξινόμηση των κριτηρίων.
3. Μαθηματική περιγραφή των κριτηρίων.
4. Εκτίμηση της βαρύτητας του κάθε κριτηρίου.
5. Δημιουργία του μοντέλου (μήτρας) αξιολόγησης.
6. Καθορισμός των πιθανών περιοριστικών παραμέτρων ανάλογα με το αντικείμενο του εκάστοτε προβλήματος.
7. Ταξινόμηση των εξεταζόμενων σεναρίων σύμφωνα με την τελική βαθμολογία τους.
8. Ανάλυση αποτελεσμάτων
9. Ανάλυση ευαισθησίας της λύσης.
10. Προσδιορισμός της σύγκρουσης των κριτηρίων.

Ένα από τα βασικά στοιχεία του προβλήματος είναι η δημιουργία της μήτρας αξιολόγησης που περιλαμβάνει ένα σύνολο διακριτών επιλογών, ένα σύνολο κριτηρίων αξιολόγησης και την επίδοση της κάθε επιλογής στο αντίστοιχο κριτήριο και το σύστημα προτιμήσεων του αποφασίζοντα που εμπεριέχει τη σχετική βαρύτητα των κριτηρίων και την κατεύθυνση προτίμησης των επιδόσεων (ελάχιστο ή μέγιστο). Η επιλογή των κατάλληλων κριτηρίων αξιολόγησης είναι ιδιαίτερα σημαντική για την εξαγωγή των βέλτιστων συμπερασμάτων ενώ το είδος των κριτηρίων εξαρτάται άμεσα από την ιδιομορφία του προς επίλυση προβλήματος καθώς διαφορετικές πλευρές του προβλήματος περιγράφονται με διαφορετικά κριτήρια. Τα κριτήρια εξαρτώνται όμως εμμέσως και από τη στάση των διαφόρων ενδιαφερόμενων που πρόκειται να λάβουν αποφάσεις επί του ζητήματος καθώς ο καθένας από αυτούς ανάλογα με τους στόχους του, θα έχει και διαφορετικά κριτήρια αξιολόγησης.

Ο καθορισμός των συντελεστών βαρύτητας ορίζει το βαθμό σπουδαιότητας των εφαρμοζόμενων κριτηρίων για την αξιολόγηση των διαφόρων εναλλακτικών σεναρίων. Ανάλογα με την περίπτωση, χρησιμοποιούνται είτε άμεσοι συντελεστές βαρύτητας είτε έμμεσοι. Οι άμεσοι συντελεστές βαρύτητας χρησιμοποιούνται στην περίπτωση που ο αριθμός των κριτηρίων είναι μικρός και είναι δυνατή η επιλογή συντελεστών βαρύτητας. Οι έμμεσοι συντελεστές βαρύτητας προσδιορίζονται με την ταξινόμηση των κριτηρίων κατά σειρά σπουδαιότητας, την απόδοση ενός συνολικού συντελεστή βαρύτητας ή ενός μέγιστου συντελεστή βαρύτητας και στη συνέχεια τον προσδιορισμό των συντελεστών βαρύτητας σε σχέση με το άθροισμα όλων των συντελεστών βαρύτητας ή σε σχέση με το μεγαλύτερο συντελεστή. Επιπλέον, είναι δυνατή η χρήση κριτηρίων, στα οποία δεν έχει αποδοθεί συντελεστής βαρύτητας.

Οι συντελεστές βαρύτητας αντικατοπτρίζουν το σύστημα αξιών και προτιμήσεων του αποφασίζοντα. Δηλαδή, ο προσδιορισμός της σπουδαιότητας του κάθε κριτηρίου βασίζεται στην ιδιαίτερη σημασία που δίνουν οι ενδιαφερόμενοι φορείς για κάθε

κριτήριο. Συνεπώς, ανάλογα με το είδος του προβλήματος είναι δυνατό να παρουσιάζουν μεγαλύτερη σημασία για τους ενδιαφερόμενους φορείς τα περιβαλλοντικά κριτήρια σε σχέση με τα οικονομικά ή και το αντίστροφο. Για το λόγο αυτό, ο προσδιορισμός των συντελεστών βαρύτητας απαιτεί την προσεκτική ιεραρχική ταξινόμηση των διαφόρων κριτηρίων από τους ενδιαφερόμενους φορείς.

Τέλος, πραγματοποιείται η επιλογή του βέλτιστου σεναρίου. Όπως παρουσιάζεται στη συνέχεια, έχει αναπτυχθεί ένας μεγάλος αριθμός μεθόδων και υπολογιστικών προγραμμάτων τα οποία είναι δυνατό να προσδιορίσουν το βέλτιστο σενάριο για κάθε διαχειριστικό πρόβλημα.

11.3 Μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης

Στη βιβλιογραφία συναντώνται διάφορα είδη μεθόδων πολυκριτηριακής ανάλυσης, οι οποίες μπορούν να χωριστούν σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τη μορφή του μοντέλου ολικής προτίμησης που χρησιμοποιούν, αλλά και τη διαδικασία ανάπτυξης του μοντέλου, όλες όμως στηρίζονται στην ίδια βασική αρχή: την ανά δύο σύγκριση των τιμών που αντιστοιχούν στις εναλλακτικές περιπτώσεις για κάθε ένα κριτήριο. Οι μέθοδοι αυτοί δεν έχουν στόχο να προσδιορίσουν την "απόλυτη" ποιότητα μιας εναλλακτικής, αλλά τη θέση που αυτή καταλαμβάνει σε σχέση με τις υπόλοιπες που εξετάζονται ταυτοχρόνως. Αν και η ταξινόμηση των προσεγγίσεων αυτών σε ιδιαίτερες κατηγορίες δεν είναι αυστηρή, δύναται να διακριθούν τέσσερις βασικές ομάδες:

- Πολυκριτηριακός μαθηματικός προγραμματισμός
- Πολυκριτηριακή θεωρία χρησιμότητας
- Θεωρία των σχέσεων υπεροχής
- Αναλυτική-συνθετική προσέγγιση

Το κυριότερο χαρακτηριστικό, που καθορίζει την επιλογή μιας από τις παραπάνω κατηγορίες, είναι το είδος του συνόλου των εναλλακτικών επιλογών και πιο συγκεκριμένα, η ιδιότητά του να χαρακτηριστεί είτε ως ένα διακριτό είτε ως ένα συνεχές σύνολο. Στις περιπτώσεις, λοιπόν, που το σύνολο των εναλλακτικών επιλογών προσδιορίζεται από το σύνολο των περιορισμών ενός προβλήματος επιλέγεται, συνήθως, μια μέθοδος που στηρίζεται στον πολυκριτηριακό μαθηματικό προγραμματισμό, ο οποίος αποτελεί μια γενίκευση της μεθοδολογίας του μαθηματικού προγραμματισμού, όταν επιζητείται η ταυτόχρονη βελτιστοποίηση πολλαπλών αντικειμενικών συναρτήσεων. Έτσι, κατ' αναλογία με τα προβλήματα γραμμικού (μονοκριτηριακού) προγραμματισμού, οι μεταβλητές απόφασης είναι δυνατόν να πάρουν οποιοσδήποτε τιμές εντός ενός καθορισμένου πεδίου τιμών. Όσον αφορά τα προβλήματα όπου είναι εφικτή η πλήρης καταγραφή όλων των εναλλακτικών επιλογών (διακριτά προβλήματα), επιλέγεται εναλλακτικά μία από τις υπόλοιπες τρεις μεθοδολογίες, οι οποίες στοχεύουν στη σύνθεση όλων των

κριτηρίων με τρόπο που να καθιστά δυνατή την αξιολόγηση ενός πεπερασμένου αριθμού δυνητικών επιλογών.

Επισημαίνεται, όμως, ότι η συγκεκριμένη διάκριση δεν είναι απόλυτη, καθώς οποιαδήποτε από τις τέσσερις κατηγορίες μπορεί, υπό προϋποθέσεις και με την κατάλληλη διαμόρφωση του μοντέλου, να χρησιμοποιηθεί, τόσο για συνεχή, όσο και για διακριτά προβλήματα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η πολυκριτήρια θεωρία χρησιμότητας η οποία στηρίζεται στη λογική της αναγωγής ενός πολυκριτηριακού προβλήματος σε μονοκριτηριακό. Η αναγωγή αυτή γίνεται μέσω της εκτίμησης μιας συνολικής συνάρτησης χρησιμότητας που συνθέτει τα επιμέρους κριτήρια του αποφασίζοντα σ' ένα ενιαία μέτρο λήψης απόφασης. Ανάλογα, λοιπόν, με το είδος των κριτηρίων (ποιοτικά ή ποσοτικά) καθορίζεται το είδος των δυνητικών επιλογών και επομένως, είναι δυνατή η προσαρμογή και εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου και στα δύο είδη προβλημάτων.

11.4 Επιλογή βέλτιστης μεθόδου για εφαρμογή

Σύμφωνα με τα λειτουργικά χαρακτηριστικά αλλά και τις δυνατότητες που εμφανίζουν οι δύο βασικότερες ομάδες μεθόδων πολυκριτηριακής ανάλυσης, δηλαδή τα σύστημα λήψης αποφάσεων με χρήση αθροιστικής συνάρτησης ομάδων κριτηρίων (Πολυκριτηριακή Θεωρία Αξίας ή Χρησιμότητας), και τα σύστημα λήψης αποφάσεων με καθορισμό μεμονωμένων κριτηρίων και σύγκριση σεναρίων ανά ζεύγη σε κάθε κριτήριο (Μέθοδοι Προσέγγιση Σχέσεων Υπεροχής), παρατηρείται ότι η δεύτερη ομάδα μεθόδων παρουσιάζει συγκριτικά πλεονεκτήματα σε σχέση με την πρώτη.

Έτσι, σύμφωνα με τα παραπάνω, για την ανάπτυξη και εφαρμογή της εξέτασης των εναλλακτικών σεναρίων διαχείρισης, της παρούσας εργασίας, επιλέχθηκε η εφαρμογή της μεθόδου PROMETHEE η οποία ανήκει στις Μεθόδους Προσέγγισης Σχέσεων Υπεροχής.

11.5 Συνοπτική περιγραφή της μεθόδου PROMETHEE

Η επίλυση του πολυκριτηριακού προβλήματος με τη μέθοδο PROMETHEE, περιλαμβάνει τα εξής διαδοχικά στάδια:

1^ο Στάδιο: Επιλογή των κριτηρίων, τα οποία θα πρέπει να καλύπτουν όλες τις πλευρές του εξεταζόμενου προβλήματος και να μπορούν να βαθμολογηθούν σε κατάλληλη κλίμακα.

2^ο Στάδιο: Καθορισμός σπουδαιότητας κριτηρίων αξιολόγησης με τη βοήθεια κατάλληλων συντελεστών βαρύτητας. Το άθροισμα των συντελεστών βαρύτητας των κριτηρίων πρέπει να είναι 100%, ενώ ο χρήστης μπορεί να θέσει τη βαρύτητα κάθε κριτηρίου αναλογικά με τις βαρύτητες των υπολοίπων, και η ίδια η μέθοδος αναγάγει τις βαρύτητες σε ποσοστό.

3^ο Στάδιο: Ανάλυση όλων των εναλλακτικών χαρακτηριστικών (υποκριτηρίων) κάθε επιμέρους κριτηρίου τα οποία στη συνέχεια ποσοτικοποιούνται είτε με απόλυτες τιμές, είτε βάσει συγκεκριμένης κλίμακας (π.χ. 1-10), ενώ παράλληλα ορίζονται και οι κατευθύνσεις προτίμησης των επιδόσεων (ελάχιστο ή μέγιστο).

4^ο Στάδιο: Ορισμός ψευδοκριτηρίων με τον καθορισμό της συνάρτησης προτίμησης και των ορίων ανοχής (κατώφλια) κάθε κριτηρίου / υποκριτηρίου. Το βήμα αυτό, οδηγεί στη δημιουργία μιας πολύπλοκης μήτρας αξιολόγησης, όπου γίνεται συσχέτιση των εναλλακτικών σεναρίων και των κριτηρίων/ υποκριτηρίων.

5^ο Στάδιο: Ανάπτυξη και εφαρμογή του μοντέλου πολυκριτηριακής ανάλυσης. Το συγκεκριμένο στάδιο περιλαμβάνει τα εξής διακριτά επιμέρους βήματα:

- Δυαδική σύγκριση επιλογών ανά κριτήριο.
- Υπολογισμός συνολικών δεικτών προτίμησης.
- Υπολογισμός θετικών και αρνητικών ροών
- Μερική κατάταξη των επιλογών
- Πλήρης κατάταξη των επιλογών