



# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ  
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ  
ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

«ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ  
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΙΛΥΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ  
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ  
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΚΟΡΙΝΘΟΥ-  
ΛΟΥΤΡΑΚΙΟΥ»

Σακέλλης Άνθιμος-Ευάγγελος

Επιβλέπων : Αν. Καθηγητής Μαμάης Δανιήλ

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ &  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ  
ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

Αθήνα, Δεκέμβριος 2013



## Ευχαριστίες

Η εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας στηρίζεται, πέρα από την ατομική εργασία, στη βοήθεια και συνεργασία ορισμένων ατόμων, τα οποία δε θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω.

Αρχικά λοιπόν, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου, κ. Δανιήλ Μαμάη, ο οποίος ανέλαβε την επίβλεψη αυτής της εργασίας, καθοδηγώντας με με ιδιαίτερη κατανόηση και υπομονή, καθ' όλη τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας.

Οφείλω επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ στον διευθυντή της ΔΕΥΑ Λουτρακίου-Αγίων Θεοδώρων κ. Μαστραντωνάκη Αναστάσιο για τη στήριξη του στην προσπάθεια για την ολοκλήρωση των μεταπτυχιακών σπουδών μου.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω όλους τους συνεργάτες, κατασκευαστές, αντιπροσώπους, πωλητές και εργολάβους που μου παρείχαν όλα τα απαραίτητα τεχνικοοικονομικά στοιχεία για τις λύσεις που εξετάζονται στην εργασία.

Ολοκληρώνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τη μέλλουσα σύζυγο μου Αθηνά, που με στηρίζει με όλες της τις δυνάμεις σε κάθε μου προσπάθεια.

Σακέλλης Άνθιμος-Ευάγγελος



## Περιεχόμενα

---

Περιεχόμενα .....	v
Ευρετήριο πινάκων .....	ix
Ευρετήριο εικόνων .....	xi
Ευρετήριο γραφημάτων .....	xii
Ευρετήριο σχημάτων .....	xii
Περίληψη .....	xiii
Extended abstract .....	xvii
1. Εισαγωγή.....	1
1.1. Σκοπός της εργασίας.....	1
1.2. Δομή της εργασίας.....	1
2. Διαχείριση παραγόμενης ιλύος από ΕΕΛ .....	3
2.1. Παραγωγή ιλύος και μέθοδοι διαχείρισης πριν την αφυδάτωση.....	3
2.1.1. Ιστορική αναδρομή.....	3
2.1.2. Επεξεργασία λυμάτων και παραπροϊόντα .....	3
2.1.3. Μείωση της παραγόμενης ιλύος μέσα στο βιολογικό αντιδραστήρα....	4
2.1.4. Προ-επεξεργασία ιλύος .....	7
2.2. Αφυδάτωση και επεξεργασία αφυδατωμένης ιλύος.....	10
2.2.1. Μέθοδοι Αφυδάτωσης.....	10
2.2.2. Μέθοδοι ξήρανσης της αφυδατωμένης ιλύος.....	12
2.2.3. Άλλες μέθοδοι επεξεργασίας μετά την αφυδάτωση .....	15
2.3. Δυνατότητες διάθεσης ιλύος.....	17
2.3.1. Γεωργική Διάθεση.....	17

vi	Διερεύνηση εναλλακτικών μεθόδων επεξεργασίας ιλύος για την περίπτωση της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων Κορίνθου-Λουτρακίου	
2.3.2.	Διάθεση στο έδαφος.....	17
2.3.3.	Διάθεση σε εδάφη για αποκατάσταση κλπ .....	18
2.3.4.	Καύση.....	18
2.3.5.	Καύσιμο .....	19
2.3.6.	Χρήση ως λίπασμα.....	19
2.3.7.	Θαλάσσια Διάθεση .....	19
2.3.8.	Εναλλακτικές χρήσεις .....	19
2.3.9.	Μεταφορά σε μεγαλύτερη εγκατάσταση .....	20
2.4.	Επισκόπηση Νομοθεσίας εδαφικής διάθεσης .....	21
2.4.1.	Νομοθεσία ΗΠΑ.....	21
2.4.2.	Ευρωπαϊκή Νομοθεσία.....	21
2.4.3.	Ελληνική Νομοθεσία.....	23
3.	Παρουσίαση της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων Κορίνθου-Λουτρακίου	25
3.1.	Γενική περιγραφή της Ε.Ε.Λ. Κορίνθου-Λουτρακίου .....	25
3.2.	Φορτία και παροχές σχεδιασμού .....	25
3.3.	Στάδια επεξεργασίας .....	27
3.3.1.	Σταθμός υποδοχής βοθρολυμάτων.....	27
3.3.2.	Έργα προεπεξεργασίας.....	27
3.3.3.	Δευτεροβάθμια επεξεργασία .....	28
3.3.4.	Επεξεργασία ιλύος.....	29
3.3.5.	Διάθεση ιλύος και παραπροϊόντων προεπεξεργασίας λυμάτων .....	30
3.4.	Έλεγχος διεργασιών .....	30
3.4.1.	Εγκατεστημένα Όργανα.....	30
3.4.2.	Εργαστηριακές Αναλύσεις .....	30

3.5.	Εισερχόμενα φορτία .....	31
3.6.	Ποιότητα εκροής .....	33
3.7.	Παραγωγή και επεξεργασία ιλύος.....	36
3.8.	Έλεγχος Λοιπών Παραμέτρων.....	36
3.9.	Παρακολούθηση ποιότητας αποδέκτη.....	37
4.	Μελέτη μεθόδων διαχείρισης της ιλύος της ΕΕΛ Κορίνθου - Λουτρακίου.....	39
4.1.	Μέθοδοι διαχείρισης πριν την αφυδάτωση.....	39
4.1.1.	Μείωση της παραγόμενης ιλύος μέσα στο βιολογικό αντιδραστήρα..	39
4.1.2.	Σταθεροποίηση ιλύος .....	40
4.1.3.	Αφυδάτωση ιλύος.....	40
4.2.	Στοιχεία αφυδατωμένης ιλύος .....	41
4.3.	Μέθοδοι ξήρανσης και υγειονομποίησης ιλύος κατάλληλοι για την ΕΕΛ Κ-Λ 44	
4.4.	Προχωρημένες Μέθοδοι Επεξεργασίας .....	46
4.4.1.	Θερμική Ξήρανση .....	46
4.4.2.	Ξήρανση με χρήση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.....	52
4.4.3.	Ασβεστοποίηση.....	57
4.5.	Συμβατικές Μέθοδοι Επεξεργασίας .....	63
4.5.1.	Ηλιακή ξήρανση .....	63
4.5.2.	Κομποστοποίηση .....	68
4.5.3.	Βιολογική Ξήρανση .....	74
4.5.4.	Ανάμιξη με χώμα .....	78
4.5.5.	Μηδενική Λύση.....	83
4.6.	Συνδυασμός Μεθόδων Επεξεργασίας Ιλύος .....	84
4.7.	Συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων επεξεργασίας της ιλύος .....	88
5.	Μελέτη τρόπων διάθεσης της ιλύος της ΕΕΛ Κορίνθου-Λουτρακίου.....	104

5.1.	Γεωργική Διάθεση .....	106
5.2.	Διάθεση στο έδαφος .....	115
5.3.	Διάθεση σε εδάφη για αποκατάσταση κλπ .....	117
5.4.	Καύση .....	118
5.5.	Εξαγωγή σε άλλες χώρες.....	118
6.	Συμπεράσματα.....	120
	Βιβλιογραφικές Αναφορές.....	126



## Ευρετήριο πινάκων

---

Πίνακας 1: Μέθοδοι συμβατικής προεπεξεργασίας - υγειονοποίησης ιλύος.....	9
Πίνακας 2: Μέθοδοι προχωρημένης προεπεξεργασίας - υγειονοποίησης ιλύος.....	10
Πίνακας 3: Δεδομένα σχεδιασμού γραμμής Λουτρακίου.....	26
Πίνακας 4: Δεδομένα σχεδιασμού γραμμής Κορίνθου.....	26
Πίνακας 5: Εισερχόμενα φορτία γραμμής Λουτρακίου 2012.....	31
Πίνακας 6: Εισερχόμενα φορτία γραμμής Κορίνθου 2012.....	32
Πίνακας 7: Συνολικά εισερχόμενα φορτία της εγκατάστασης.....	32
Πίνακας 8: Όρια παραμέτρων ποιότητας επεξεργασμένων λυμάτων.....	33
Πίνακας 9: Τιμές παραμέτρων και φορτία εκροής γραμμής Λουτρακίου 2012.....	34
Πίνακας 10: Τιμές παραμέτρων και φορτία εκροής γραμμής Κορίνθου 2012.....	34
Πίνακας 11: Συνολικά εξερχόμενα φορτία (εκτός ιλύος και άμμου).....	35
Πίνακας 12: Παραγωγή ιλύος στη ΕΕΛ Κ-Λ.....	41
Πίνακας 13: Ανάλυση ιλύος ΕΕΛ Κ-Λ (ΕΥΤ ΕΜΠ , 2007).....	43
Πίνακας 14: Κόστος θερμικής ξήρανσης.....	51
Πίνακας 15: Κόστος ξήρανσης με χρήση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας για DS 90%.....	55
Πίνακας 16: Κόστος ξήρανσης με χρήση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας για DS 55%.....	56
Πίνακας 17: Κόστος ασβεστοποίησης ιλύος με δόση CaO 4%.....	61
Πίνακας 18: Κόστος ασβεστοποίησης ιλύος με δόση CaO 10%.....	62
Πίνακας 19: Κόστος ηλιακής ξήρανσης.....	67
Πίνακας 20: Κόστος κομποστοποίησης χωρίς τεμαχιστή και με πληρωτικό υλικό ιλύ.....	72

x | Διερεύνηση εναλλακτικών μεθόδων επεξεργασίας υλός για την περίπτωση της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων Κορίνθου-Λουτρακίου

Πίνακας 21: Κόστος κομποστοποίησης με τεμαχιστή και πληρωτικό υλικό βιομάζα	73
Πίνακας 22: Κόστος βιολογικής ξήρανσης .....	77
Πίνακας 23: Συγκεντρώσεις στερεών κατά την ανάμιξη με χώμα .....	80
Πίνακας 24: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων και λοιπών στοιχείων της υλός αυξανόμενου του αριθμού επαναχρησιμοποιήσεων του ίδιου μίγματος.....	80
Πίνακας 25: Κόστος ανάμιξης με χώμα .....	82
Πίνακας 26: Κόστος συνδυασμού βιολογικής και θερμικής ξήρανσης (DS13%-->70% -> 90%) .....	87
Πίνακας 27.Συγκριτικά δεδομένα των μεθόδων επεξεργασίας .....	90
Πίνακας 28. Κατάταξη των μεθόδων με βάση το κριτήριο της τελικής συγκέντρωσης στερεών της υλός και με βάση την τελική ποσότητα επεξεργασμένου υλικού που παράγεται .....	91
Πίνακας 29. Κατάταξη των μεθόδων με βάση το κόστος ανά κιλό ξηράς ουσίας.....	94
Πίνακας 30. Αξιολόγηση-Βαθμολόγηση των μεθόδων επεξεργασίας.....	99
Πίνακας 31. Κατάταξη των μεθόδων με βάση τη βαθμολογία.....	100
Πίνακας 32. Η κατηγοριοποίηση των μεθόδων επεξεργασίας που εξετάστηκαν , σύμφωνα με το σχέδιο της νέας ΚΥΑ .....	105
Πίνακας 33. Η κατανομή μέρους εκ των καλλιεργήσιμων εκτάσεων στον Ν. Κορινθίας .....	106
Πίνακας 34. Οι μέγιστες επιτρεπόμενες φορτίσεις βαρέων μετάλλων του εδάφους ανά έτος για την υλός της περίπτωσης.....	107
Πίνακας 35. Οι απαιτούμενες εκτάσεις ανάλογα με τη συγκέντρωση στερεών της υλός και την οριακή περιοριστική τιμή του Zn . Δόση 22,6 kg DS/ha-έτος.....	108
Πίνακας 36.Οι μέγιστες επιτρεπόμενες φορτίσεις βαρέων μετάλλων του εδάφους ανά έτος για την υλός της περίπτωσης σύμφωνα με το σχέδιο της νέας ΚΥΑ.....	109

Πίνακας 37. Οι απαιτούμενες εκτάσεις ανάλογα με τη συγκέντρωση στερεών της ύλης και την οριακή περιοριστική τιμή του Zn όπως προέκυψε από τα όρια του σχεδίου της νέας ΚΥΑ . Δόση 5,6 kg DS/ha/έτος, .....	109
Πίνακας 38.Οι ανάγκες ξηρικών καλλιεργειών σύμφωνα με την Δ/ση Αγροτικής Ανάπτυξης Φθιώτιδας .....	111
Πίνακας 39. Κάλυψη των αναγκών θρεπτικών στοιχείων των καλλιεργειών για δοσολογίες ώστε να μην γίνεται παραβίαση των ορίων ετήσιας φόρτισης βαρέων μετάλλων σύμφωνα με την ΚΥΑ 80586/4225/22-03-1991 .....	113
Πίνακας 40. Κάλυψη των αναγκών των καλλιεργειών σε θρεπτικά για δοσολογίες ώστε να μην γίνεται παραβίαση των ορίων της ετήσιας φόρτισης βαρέων μετάλλων σύμφωνα με το σχέδιο της νέας ΚΥΑ .....	114
Πίνακας 41: Οριακές τιμές για αποδοχή στους ΧΥΤΑ (Οδηγία 2003/33/EC).....	116
Πίνακας 42: Κόστος μεταφοράς στον ΧΑΔΑ (μελλοντικό ΧΥΤΑ) .....	117

## Ευρετήριο εικόνων

Εικόνα 1:Δορυφορική εικόνα της ΕΕΛ Κορίνθου-Λουτρακίου όπου διακρίνονται οι διαθέσιμες εκτάσεις εντός αυτής. Κόκκινη : 6500-7000 m <sup>2</sup> , Μωβ: 1.100 m <sup>2</sup> , Μπλέ : 350 m <sup>2</sup> .....	45
Εικόνα 2 : Η ελληνικής κατασκευής διάταξη 'AKDRY' της εταιρείας Αθανάσιος Κουτσούκος Α.Ε. ....	46
Εικόνα 3: Μονάδα ξήρανσης με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία .....	52
Εικόνα 4: Η μονάδα ηλιακής ξήρανσης του ΧΥΤΑ Χερσονήσου , δυναμικότητας 2000 τόνων/έτος,.....	63
Εικόνα 5. Βιολογική ξήρανση εντός θερμοκηπίου με αυτοκινούμενο αναστροφέα .	74
Εικόνα 6. Αριστερά παρθένο χώμα , δεξιά χώμα με ιλύ ύστερα από 3 φορές επαναχρησιμοποίηση και άρα τελική περιεκτικότητα ιλύος της τάξεως του 12% ....	79

## Ευρετήριο γραφημάτων

---

Γράφημα 1: Κόστος επεξεργασίας ιλύος.....96

Γράφημα 2: Βαθμολογία λύσεων επεξεργασίας ιλύος.....123

## Ευρετήριο σχημάτων

---

Σχήμα 1: Η ιεραρχία των μεθόδων διαχείρισης αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση  
.....22

## Περίληψη

---

Η επεξεργασία και διάθεση της ιλύος αποτελεί το σημαντικότερο πρόβλημα των περισσότερων εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων τόσο στην Ελλάδα όσο και παγκοσμίως. Η λύση του προβλήματος αυτού δεν είναι μονοσήμαντη, αλλά εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι οποίοι διαφέρουν ανά εγκατάσταση. Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζονται μέθοδοι για τη μείωση της παραγόμενης ιλύος, την κατάλληλη επεξεργασία της και τη διάθεσή της για την εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων Κορίνθου-Λουτρακίου (ΕΕΛ Κ-Λ). Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της εγκατάστασης και της περιοχής, στόχος είναι να αναδειχθούν λύσεις για το πρόβλημα διαχείρισης ιλύος της συγκεκριμένης εγκατάστασης, που όμως θα μπορούσαν να εφαρμοσθούν και σε άλλες μεσαίας δυναμικότητας ΕΕΛ στην Ελλάδα.

Τα πρώτα τρία κεφάλαια περιλαμβάνουν γενικές αναφορές ενώ στα επόμενα τέσσερα γίνεται η διερεύνηση του προβλήματος διαχείρισης ιλύος της ΕΕΛ Κ-Λ βασισμένη στις προηγούμενες γενικές αναφορές, λαμβάνοντας όμως υπόψη τις ιδιαιτερότητες της συγκεκριμένης ΕΕΛ. Το πρώτο κεφάλαιο το οποίο είναι εισαγωγικό ακολουθεί ένα κεφάλαιο στο οποίο γίνεται αναφορά στην παραγωγή της ιλύος και τις μεθόδους μείωσής της πριν αυτή οδηγηθεί στην αφυδάτωση. Στο ίδιο κεφάλαιο γίνεται μία επισκόπηση των μεθόδων αφυδάτωσης της ιλύος καθώς και των μεθόδων επεξεργασίας της. Στο τέλος του τρίτου κεφαλαίου, παρουσιάζονται οι συνηθέστερες μέθοδοι διάθεσης της επεξεργασμένης ή μη ιλύος με κυρίαρχη τη γεωργική διάθεση ενώ ακολουθεί μία επισκόπηση της Νομοθεσίας σε ΗΠΑ, Ευρώπη και Ελλάδα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η ΕΕΛ Κ-Λ. Πρόκειται για μία μεσαίου μεγέθους, κοινή εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων των πόλεων Λουτρακίου και Κορίνθου. Η εγκατάσταση μπορεί να θεωρηθεί ως δίδυμο έργο με λειτουργική αυτοτέλεια των δύο γραμμών ενώ μόνο η επεξεργασία της ιλύος γίνεται από κοινού. Η εγκατάσταση έχει δυναμικότητα 90.000 ισοδυνάμων κατοίκων (45.000 για κάθε γραμμή) ενώ για το έτος 2012 οι ισοδύναμοι κάτοικοι που εξυπηρετήσε η

εγκατάσταση ανήλθαν σε 38.000 ενώ το συνολικό ετήσιο εισερχόμενο φορτίο BOD σε 832 τόνους. Μετά την εσχάρωση (χειρονακτικές 50 mm και αυτόματες bar screen 15 mm) και την εξάμμωση το λύμα εισέρχεται σε οξειδωτικές τάφρους τύπου Carrousel (δύο για κάθε γραμμή). Μετά το διαχωρισμό στις δεξαμενές καθίζησης η εκροή οδηγείται στον αποδέκτη μέσω υποθαλάσσιου αγωγού (Κορινθιακός κόλπος) ενώ η ιλύς ανακυκλοφορείται στις Carrousel. Μέρος της ανακυκλοφορούμενης ιλύος αντλείται προς τους δύο παχυντές βαρύτητας (έναν για κάθε γραμμή) απ' όπου εξέρχεται με 2% DS. Στη συνέχεια αντλείται προς τη μονάδα αφυδάτωσης η οποία αποτελείται από μία τράπεζα πάχυνσης (EMO01064) με απόδοση 5-7% DS και μία ταινιοφιλτρώπρεσσα (Andritz VS 20 IP) με απόδοση 12,5-13,5% DS. Στο πέμπτο κεφάλαιο εξετάζονται οι πιθανές λύσεις διαχείρισης ιλύος που μπορούν να εφαρμοστούν στη συγκεκριμένη ΕΕΛ. Αρχικά εξετάζεται η δυνατότητα εφαρμογής μεθόδων για τη μείωση της ποσότητας παραγόμενης ιλύος πριν την αφυδάτωση όπως ο παρατεταμένος αερισμός, η ηχοβόληση κλπ. καθώς και οι δυνατότητες για βελτίωση της απόδοσης της αφυδάτωσης. Η ιλύς θεωρείται σταθεροποιημένη καθώς η ενδογενής ζήτηση οξυγόνου της βιομάζας (OUR) είναι πάντα μικρότερη από 5 mgO<sub>2</sub>/gMLSS/hr. Η ημερήσια παραγωγή ανέρχεται σε 30 tn αφυδατωμένης ιλύος η οποία συνεπάγεται μέση ετήσια ποσότητα ιλύος 975 τόνους DS ή 7500 tn με 13% DS. Στη συνέχεια, ακολουθεί μία εκτενής τεχνοοικονομική ανάλυση επιλεγμένων μεθόδων για την προχωρημένη επεξεργασία και διαχείριση ιλύος. Ειδικότερα, αναλύονται οι μέθοδοι της θερμικής ξήρανσης, της ξήρανσης με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, της ασβεστοποίησης, της ηλιακής ξήρανσης, της κομποστοποίησης, της βιολογικής ξήρανσης, της ανάμιξης με χώμα, της μηδενικής λύσης και συνδυασμού βιολογικής και θερμικής ξήρανσης. Οι ανωτέρω λύσεις συγκρίνονται ως προς τα βασικά χαρακτηριστικά τους, όπως το ποσοστό υγρασίας του τελικού προϊόντος, την τελική ποσότητα, την τεχνολογία, την περιβαλλοντική επιβάρυνση, την κοινωνική αποδοχή και το κόστος. Στη συνέχεια, βαθμολογούνται και κατατάσσονται ως προς την καταλληλότητα τους για την ΕΕΛ Κ-Λ. Αντικείμενο του πέμπτου κεφαλαίου είναι η μελέτη των δυνατοτήτων διάθεσης της ιλύος λαμβάνοντας υπόψη όλα τα δεδομένα της περιοχής. Μελετάται η δυνατότητα γεωργικής διάθεσης στην Κορινθία, οι δυνατότητες διάθεσης στο έδαφος, διάθεσης

για αποκατάσταση, καύσης και εξαγωγής σε άλλες χώρες. Η εργασία αυτή κλείνει με το έκτο κεφάλαιο, στο οποίο αναφέρονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη μελέτη των δυνατοτήτων επεξεργασίας και διάθεσης της λύσος. Ως άμεση λύση προτείνεται η ασβεστοποίηση ενώ μέχρι να ολοκληρωθεί η προμήθεια των απαιτούμενων παγίων προτείνεται η ανάμιξη με χώμα. Ως μακροπρόθεσμη λύση προτείνεται η βιολογική ξήρανση, ο συνδυασμός βιολογικής-θερμικής ξήρανσης και η κομποστοποίηση ενώ για τη διάθεση προτείνεται ως άμεση λύση η αποθήκευση εντός της ΕΕΛ ή η μεταφορά στον ΧΥΤΑ ενώ με την εφαρμογή της ασβεστοποίησης θα μπορούσε να οδηγηθεί με ασφάλεια προς γεωργική διάθεση. Σημειώνεται ότι για την παρούσα εργασία λήφθηκαν υπόψη όλα τα δεδομένα μέχρι το έτος 2013, και σε περίπτωση αλλαγής των δεδομένων στα οποία έχει βασισθεί η εργασία απαιτείται επαναξιολόγηση των λύσεων.





## Extended abstract

---

The treatment and final disposal of sludge, is the main issue of most wastewater treatment plants both in Greece and worldwide. The solution to this problem is not easy, but depends on many factors that differ per installation. In this paper we explore different methods for reducing, proper processing and disposal of the sludge in the case of wastewater treatment plants Corinth - Loutraki (K-L WWTP ). Taking into account the characteristics of the facility and the region, the aim is to identify solutions to the problem of sludge management of the installation, that could be also applied to other medium capacity WWTP in Greece .

The first three chapters containing general references and the next four are investigating the problem of sludge management at K-L WWTP based on previous general reports but taking into account the specific features of the WWTP. The first chapter, which is an introductory chapter, is followed by a chapter in which reference is made in the production of sludge and methods of reducing it before it led to dewatering. In the same chapter there is an overview of sludge dewatering and processing methods. In the third chapter presents the most common methods of disposal of treated or non sludge, from which the dominant is the agricultural disposal. At the end of this chapter there is an overview of legislation in the U.S., Europe and Greece .

The fourth chapter presents K-L WWTP and the fifth examines the possible solutions that can be implemented in this WWTP . Firstly, it is examined the applicability of methods for reducing the amount of sludge before dewatering and the potential for improving the efficiency of dewatering process. According to the basic principle of the European Union for the management of waste, before all must be exhausted every possibility to minimize the amount of waste produced. The K-L WWTP is a medium-sized facility (832 tn BOD per year, 38.000 I.P.), whose capacity makes it impracticable to apply some popular and proven methods of sludge reducing. Therefore methods such as anaerobic digestion, thermal hydrolysis, wet oxidation, etc. isn't effective to apply in an installation of such capacity as they require

expensive new facilities, qualified staff and some have high operating costs. Other simpler methods such as aerobic stabilization is extremely costly and in some extent can be said that has been already implemented by the high residence times operate bioreactors. Examination of methods for reducing the amount of produced sludge shows that there is a method that can be applied to the installation without the need for new infrastructure. It is the use of ultrasound or sonication. Despite that this method hasn't been widely applied, the results of pilot trials have been encouraging. This method requires low-cost equipment and no new infrastructure or changes to existing ones. However, any application of this method should be investigated further before any decision is taken. The major weakness of the sludge of K-L WWTP is the extremely low solids concentration. First of all, we need to improve the performance of the dewatering unit. Striking a solid concentration of 25%, the volume should be reduced to further treatment or disposal will be reduced by about half. Since they have exhausted all possibilities to improve the efficiency of the existing dewatering unit, the only solution is to install a filter press or a centrifuge (decanter).

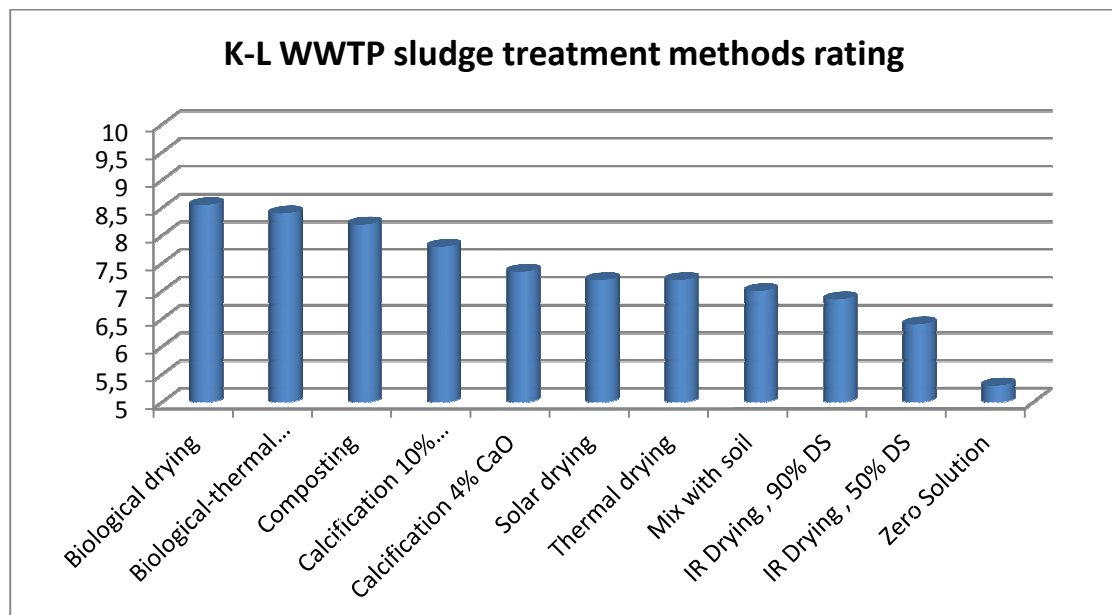
Then follows an extensive techno-economic analysis of selected methods for advanced treatment and sludge management. Specifically analyzed the methods of thermal drying, drying with electromagnetic radiation (IR), calcification, solar drying, composting, biological drying, mixing with dirt, the zero solution and combination of biological and thermal drying. The methods compared in terms of their basic characteristics such as moisture content of the final product, the final amount, the operating cost (€/tnDS) and costs including depreciation, and then scored and ranked for their suitability for the K-L WWTP. The scoring was done according to the following criteria and each of them had a different weighting (in the bracket).

- Final product DS (%). Evaluation according to the percentage of solids in the final product obtained after treatment ( 0.05 )
- Final Quantity (tn). While some methods have a high percentage of solids, produce significantly large amounts due to the addition of other materials, which will exacerbate the problem of disposal. ( 0.15 )

- Ease of Distribution (safety at disposal). The features of the final product is a determining factor for the choice of method in our country since everyone is wary of any technique utilizing sludge. ( 0.2 )
- Complexity method. Complex facilities often end misused in a few years due to lack of expertise and the high cost of maintenance and repairs. Also a complicated process is considered as to not yield the expected product . ( 0.1)
- Cost (operating and depreciation). In today's economic climate the cost is the main criterion for the selection of a sludge treatment process . (0.3)
- Environmental Footprint - social acceptance. Even if a method full feels all the above criteria there is no way to construct a facility that does not have the acceptance of the local community or which would cause environmental degradation in the region. ( 0.2 )

After the techno-economic analysis of the methods for treating sewage and rating them showed how appropriate for the K-L WWTP is that of biological drying, combined biological and thermal drying and composting. First, with a minimum difference, is biological drying. It is a method which has extremely low operating cost, low cost supply of equipment, does not require specialized staff, it is not sensitive process (such as composting), does not burden the environment, produces a quite satisfactory final material while the extent isn't not problem since it is available within the WWTP. Despite these advantages there is an ongoing discussion about the odors and attract insects. Minimum grade difference follows the combination of biological and thermal drying which has the advantage of drastically reducing the mass and volume of the final product. Sludge is first been drying with biological drying and then is drying further at thermal drying unit which uses as fuel the final product. Disadvantage however is concern about the environmental impact of burning sludge and the manner of disposal of ash. In the first triad includes composting, a method widespread in Greece which is preferred by many small and medium-sized facilities around the world. From the methods studied only two can give immediate solution of the sludge management problem. This is mixing with soil

and calcification. The soil is mixed with a solution that is applied immediately simply by delegating the work to a contractor who has diggers. Although it has a fairly high operating costs, can be regarded as a conventional treatment method after the sludge is already stabilized in the bioreactor while the most important advantage is that it gives immediate solution to the problem. The calcification requires the procurement of appropriate equipment which cost is extremely low. Therefore it is a solution that requires a little time to complete the procedures for procurement and installation of equipment, however, is a relatively quick solution which can give a product sufficiently safety for agricultural or other use . Indeed, for a dose of CaO 10% and store for three months the sludge is considered to be absolutely safe and therefore there are no restrictions on the subsequent use or disposal of sludge .



The theme of the fifth chapter is to study the possibility of sludge disposal taking into account all the circumstances of the region. According to the European legislation for the management of waste, they should if possible be reused or recovered and should not lead to land disposition. The possibility of agricultural uses in the region of Corinthia, the outlets on the ground, placing rehabilitation, burn and export to other countries . For the case of agricultural disposal according to the analyzes of the sludge and the maximum permissible concentrations of heavy metals by the European Directive that sufficient area 217 hectares which is easily found within the

limits of the prefecture of the region of Corinth where the facility is located (<1% of total cultivated are of the region). Instead there are currently no prospects for use in restorations uncontrolled landfills or quarries or for use in forests, while its use as a fuel could be a solution only if it has been suitably treated to have minimal moisture. Therefore if applied one of the methods which gives dry sludge without impurities (thermal drying, electromagnetic radiation, aerobic drying) and composting are several alternatives for disposal.

One solution which solves the problem of simultaneously processing and greatly the problem of disposal is to use thermal drying sludge as fuel. With this method the final amount is reduced to 15 % of the initial amount of DS, which for the K-L WWTP amounts to 146 tn / year. The amount is extremely small, but the ash might be a serious problem if this is classified as hazardous waste due to the possible high concentrations of heavy metals and other substances.

As an immediate solution proposed calcification while until the supply of required equipment, mixing with soil is suggested. As a long term solution proposed biological drying, the combination of biological - thermal drying and composting while the store within the WWTP is proposed as an immediate solution following by transport to landfills. The implementation of calcification could drive safely with farm disposal. Note that for this work were taken into account all the data up to the year 2013, and in case of change of data which has been based the work required reassessment of solutions.



# 1. Εισαγωγή

---

## 1.1. Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι να αναδειχθούν οι καταλληλότερες μέθοδοι επεξεργασίας και διάθεσης ιλύος για την περίπτωση της κοινής Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων Κορίνθου-Λουτρακίου (ΕΕΛ Κ-Λ). Η ΕΕΛ Κ-Λ διέθετε την ιλύ στον τοπικό ΧΑΔΑ μέχρι πριν από ένα περίπου χρόνο. Από την στιγμή την απαγόρευσης διάθεσης της ιλύος στον ΧΑΔΑ, η διάθεση της αποτελεί το μείζον πρόβλημα της εγκατάστασης. Παρόλη την πλούσια βιβλιογραφία αλλά και την εμπειρία από άλλες ΕΕΛ, υπήρχε η ανάγκη διερεύνησης των δυνατών τρόπων επεξεργασίας και διάθεσης της ιλύος λαμβάνοντας υπόψη όλα τα πραγματικά δεδομένα και τις ιδιαιτερότητες της εγκατάστασης και της περιοχής για τη δεδομένη χρονική στιγμή. Η δυνατότητα εξεύρεσης άμεσα εφαρμόσιμης λύσης σε ένα πραγματικό και μείζον πρόβλημα αποτέλεσε το ισχυρότερο κίνητρο για την παρούσα εργασία.

## 1.2. Δομή της εργασίας

Η εργασία μπορεί να χωριστεί σε δύο σκέλη. Στο πρώτο σκέλος γίνεται γενική αναφορά για θέματα σχετικά με την ιλύ. Αρχικά, παρουσιάζεται μία σύντομη ιστορική αναδρομή. Στη συνέχεια, στη λογική των ευρωπαϊκών οδηγιών για τη διαχείριση των αποβλήτων, γίνεται μία σύντομη αναφορά σε μεθόδους μείωσης της παραγόμενης ποσότητας ιλύος, στις μεθόδους αφυδάτωσης και τέλος στις μεθόδους διάθεσης.

Στο δεύτερο σκέλος παρουσιάζεται η ΕΕΛ Κ-Λ και επιλέγονται προς εξέταση οι μέθοδοι διαχείρισης ιλύος, που θα μπορούσαν να έχουν εφαρμογή στη συγκεκριμένη μεσαίου μεγέθους εγκατάσταση. Κάθε λύση εξετάζεται τεχνοοικονομικά και αξιολογείται. Τέλος, γίνεται μία συγκριτική αξιολόγηση όλων των μεθόδων ακολουθούμενη από μία μελέτη των δυνατοτήτων διάθεσης του τελικού επεξεργασμένου προϊόντος.





## 2. Διαχείριση παραγόμενης ιλύος από ΕΕΛ

---

### 2.1. Παραγωγή ιλύος και μέθοδοι διαχείρισης πριν την αφυδάτωση

#### 2.1.1. Ιστορική αναδρομή

Ήδη από τα αρχαία χρόνια, με τη δημιουργία των πρώτων οικισμών, άρχισαν να υπάρχουν ανησυχίες σχετικά με τις συνθήκες υγιεινής και κυρίως με τη διάθεση των υγρών αποβλήτων. Υπάρχουν αναφορές για αποχετευτικά δίκτυα σε οικισμούς του Αιγαίου ήδη από το 3500 π.Χ. Στο ανάκτορο της Κνωσού, ήδη από τη δεύτερη χιλιετία προ Χριστού, είχαν κατασκευάσει αποχετευτικό δίκτυο για την απομάκρυνση των υγρών αποβλήτων ενώ στη Θήρα βρέθηκε δίκτυο το οποίο συνέδεε της τουαλέτες με έναν κοινό αγωγό χρονολογούμενο τον 14<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ. (Angelakis et al., 2005). Μέχρι και τον 18<sup>ο</sup> αιώνα στις αστικές περιοχές λειτουργούσαν αποχετευτικά δίκτυα για τη συλλογή και διάθεση των λυμάτων σε κάποιον αποδέκτη χωρίς καμία επεξεργασία. Ωστόσο, τα πρώτα συστήματα πρωτοβάθμιας επεξεργασίας, τα οποία αποτελούνταν από μία απλή δεξαμενή καθίζησης, έχει βρεθεί ότι λειτουργούσαν ήδη στην αρχαία Κρήτη ( Chatzakis et al., 2006).

Η πρώτη εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων χρονολογείται το 1893 στο Salford, μία πόλη κοντά στο Manchester της Αγγλίας, και επρόκειτο για μία εγκατάσταση προσκολλημένης βιομάζας με απομάκρυνση περίσσειας ιλύος (Lofrano et al, 2010). Η ιλύς αυτή χρησιμοποιούταν κυρίως στη γεωργία ως λίπασμα, την πιο διαδομένη χρήση έως σήμερα, ενώ η πρώτη οδηγία για τη γεωργική χρήση εκδόθηκε στην Ευρώπη το 1986 (CEC, 1986) και ο πρώτος ολοκληρωμένος κανονισμός για τη διάθεση ιλύος το 1992 από την ΕΡΑ (ΕΡΑ, 1992).

#### 2.1.2. Επεξεργασία λυμάτων και παραπροϊόντα

Τα λύματα αποτελούν, ένα υδατικό διάλυμα αποτελούμενο από οργανικό άνθρακα, άζωτο, φώσφορο καθώς και πλήθος άλλων στοιχείων, βαρέων μετάλλων και επιβλαβών ενώσεων (φαρμακευτικές ουσίες κλπ). Στόχος της επεξεργασίας των λυμάτων είναι η απομάκρυνση του οργανικού άνθρακα και κατά περίπτωση των

θρεπτικών στοιχείων (N,P). Τα πιο διαδομένα συστήματα επεξεργασίας λυμάτων είναι αυτά της ενεργού ιλύος. Βασική αρχή των συστημάτων αυτών είναι η επεξεργασία των λυμάτων σε βιολογικούς αντιδραστήρες ώστε να απομακρυνθούν ο άνθρακας και σε κάποιες περιπτώσεις το άζωτο και ο φωσφόρος. Στους βιολογικούς αντιδραστήρες υπάρχουν μικροοργανισμοί (ενεργός ιλύ), οι οποίοι μετατρέπουν τον άνθρακα σε CO<sub>2</sub> και βιομάζα. Το μεγαλύτερο μέρος του αζώτου απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα ως αέριο άζωτο ενώ ένα μέρος του αφομοιώνεται στη βιομάζα. Ο φώσφορος αφομοιώνεται και αυτός στη βιομάζα. Από την παραπάνω διεργασία παράγεται κάθε μέρα μία σημαντική ποσότητα νέας βιομάζας, η οποία πρέπει να απομακρυνθεί από το σύστημα ώστε να μην συσσωρευτεί. Η περίσσεια ιλύος αυτή, αποτελεί το κύριο και πιο δύσκολο ως προς τη διαχείριση παραπροϊόν των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων. Κατά την επεξεργασία των λυμάτων, εκτός από περίσσεια ενεργού ιλύος υπάρχουν και άλλα παραπροϊόντα όπως τα εσχαρίσματα, η άμμος και τα λίπη τα οποία παράγονται κατά την προεπεξεργασία των λυμάτων πριν την είσοδό τους στον αντιδραστήρα. Σε μεγάλες εγκαταστάσεις, πριν την είσοδο των λυμάτων στον αντιδραστήρα, προηγείται πρωτοβάθμια καθίζηση για το διαχωρισμό των στερεών που περιέχουν τα λύματα με συνέπεια τη δημιουργία ενός ακόμη ρεύματος ιλύος γνωστής ως πρωτοβάθμιας ιλύος. Σε κάποιες εγκαταστάσεις γίνεται απομάκρυνση φωσφόρου με κατακρήμνιση και παράγεται χημική ιλύς. Με εξαίρεση τα παραπροϊόντα της προεπεξεργασίας, που αποτελούν αμελητέες ποσότητες, τα υπόλοιπα τρία ρεύματα ιλύος αποτελούν υλικά δύσκολα και κοστοβόρα ως προς τη διαχείριση και διάθεση τους. Σήμερα, το μείζον πρόβλημα των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων, αποτελεί η διαχείριση της παραγόμενης ιλύος, είτε αυτή αποτελείται μόνο από περίσσεια ενεργού ιλύος είτε είναι μίγμα και των άλλων δύο τύπων ιλύος.

### **2.1.3. Μείωση της παραγόμενης ιλύος μέσα στο βιολογικό αντιδραστήρα**

Η βασική αρχή που διέπει τις ευρωπαϊκές οδηγίες για τη διαχείριση όλων των αποβλήτων είναι η ελαχιστοποίηση της παραγόμενης ποσότητας. Επιτυγχάνοντας μείωση της παραγόμενης ποσότητας ιλύος σε μία εγκατάσταση επεξεργασίας

λυμάτων, συμβάλουμε στη μείωση της έντασης του προβλήματος της διαχείρισης της λύος. Η παραγωγή της λύος μπορεί να μειωθεί ήδη από τον βιολογικό αντιδραστήρα με την εφαρμογή κάποιων μεθόδων. Κάποιες εφαρμόζονται σε ορισμένες εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, δεν μπορούν όμως να εφαρμοστούν σε όλες καθώς δεν είναι πάντα συμφέρουσες. Οι κυριότερες από αυτές τις μεθόδους παρουσιάζονται εν συντομία παρακάτω.

*Απομάκρυνση θρεπτικών στοιχείων:* Μία εγκατάσταση η οποία απομακρύνει έκτος από οργανικό άνθρακα και θρεπτικά στοιχεία όπως το άζωτο και ο φώσφορος παράγει μικρότερες ποσότητες λύος. Ωστόσο, αυτό αποτελεί κάτι δεδομένο στις μέρες μας αφού όλες οι σύγχρονες εγκαταστάσεις επιτυγχάνουν απομάκρυνση αζώτου και οι περισσότερες και φωσφόρου.

*Αύξηση χρόνου παραμονής :* Με την αύξηση του χρόνου παραμονής στο βιολογικό αντιδραστήρα όλο και περισσότερη οργανική ύλη οξειδώνεται προς διοξείδιο του άνθρακα. Μία αύξηση του χρόνου παραμονής (SRT) από 5 σε 30 ημέρες έχει σαν αποτέλεσμα μείωση παραγωγής στερεών κατά 25% TSS/kg COD (Yves Comeau et al, 2010). Σύμφωνα με τους ίδιους, μία αύξηση του χρόνου παραμονής από 5 σε 20 ημέρες αυξάνει τη συγκέντρωση στερεών κατά τρεις φορές, η ενεργή βιομάζα, ωστόσο, μειώνεται από 48 σε 16% σε σχέση με το σύνολο των αιωρούμενων στερεών. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να λυθεί με απομάκρυνση των υπολοίπων κλασμάτων στερεών που δεν αποτελούν ενεργή βιομάζα (ανόργανα στερεά, μεγάλους μεγέθους οργανικά και μη στερεά) μέσω μικροεσχάρωσης και υδροκυκλώνων. Η διεργασία της οξείδωσης είναι πολύ αργή σε σχέση με την παραγωγή νέας βιομάζας με αποτέλεσμα ο αντιδραστήρας να πρέπει να λειτουργεί με υψηλή φόρτιση στερεών, η οποία δημιουργεί ποικίλα προβλήματα. Υψηλές φορτίσεις στερεών μπορούν όμως να επιτευχθούν σε αντιδραστήρες μεμβρανών (MBR, TSSέως 25g/l). Σε αντιδραστήρες MBR με χαμηλή οργανική φόρτιση (0,07 l/day) μπορεί να επιτευχθεί πλήρης οξείδωση του οργανικού άνθρακα (EC, 2001). Σε κάθε όμως περίπτωση με την αύξηση του χρόνου παραμονής και της συγκέντρωσης της βιομάζας αυξάνονται οι απαιτήσεις για οξυγόνο και άρα η ενεργειακή κατανάλωση.

*Διαλυτοποίηση του οργανικού κλάσματος της ενεργού ιλύος.* Η διεργασία της διαλυτοποίησης μπορεί να γίνει είτε με χρήση χημικών (όξινα ή αλκαλικά) είτε με θερμότητα. Οι διεργασίες αυτές βασίζονται στη λύση των κυττάρων και την απελευθέρωση του περιεχόμενου τους ώστε αυτό να οξειδωθεί στη συνέχεια στο βιολογικό αντιδραστήρα. Συνήθως τέτοιες διατάξεις εφαρμόζονται στην ανακυκλοφορία ιλύος. Μία τέτοια διεργασία μπορεί να γίνει σε αλκαλικό περιβάλλον και στη συνέχεια τα διαλυτοποιημένα συστατικά να οξειδωθούν στο βιολογικό αντιδραστήρα. Τέτοια συστήματα μπορεί να επιτυγχάνουν έως και 50% μείωση της παραγόμενης ιλύος (Yamaguchi T, 2006). Μία θερμική επεξεργασία βασίζεται στη θέρμανση του ανάμικτου υγρού ανακυκλοφορίας ακόμη και σε χαμηλές θερμοκρασίες (90-100°C). Μία άλλη τεχνική για τη λύση των κυττάρων είναι η οξείδωση με χρήση κάποιου ισχυρού οξειδωτικού παράγοντα. Τέτοιοι μπορεί να είναι το όζον, το υπεροξείδιο του υδρογόνου, το χλώριο κλπ. (E. Pauletal, 2006). Ειδικότερα, το όζον φαίνεται να είναι το πλέον αποτελεσματικό μέσω για τη δραστική μείωση της ιλύος, επιτυγχάνοντας μείωση της περίσσειας ιλύος ακόμη και σε ποσοστό 100% σε δόσεις της τάξεως  $0.04 \text{ kg O}_3 \cdot (\text{kg SS})^{-1}$ . Η τεχνική αυτή έχει εφαρμοσθεί σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων πλήρους κλίμακας για αρκετούς μήνες με μηδενική ποσότητα ιλύος προς επεξεργασία (H. Yasuietal, 1996).

*Ηχοβόληση.* Μια άλλη αρκετά διαδεδομένη τεχνική είναι η εφαρμογή υπερήχων στην ιλύ. Ο υπέρηχος, ένα μηχανικό κύμα με υψηλή συχνότητα, μεταφέρει τεράστια ποσά ενέργειας τα οποία δημιουργούν φυσαλίδες οι οποίες εκρήγνυνται βίαια προκαλώντας έτσι λύση των μικροοργανισμών της ενεργού ιλύος. Συνήθως αυτό γίνεται με μία διεργασία ενός αντιδραστήρα διαλείποντος έργου και έπειτα η ηχοβολημένη ιλύς επιστρέφει στο βιολογικό αντιδραστήρα. Πειράματα έχουν δείξει ότι με την τεχνική αυτή για παρεχόμενη ενέργεια της τάξεως των 200 MJ/kg MLSS μπορεί να επιτευχθεί μηδενική περίσσεια ιλύος (Seong-HoonYoon et al, 2003).

*Αποσύνδεση Μεταβολισμού (Uncoupling metabolism).* Οι μικροοργανισμοί της ενεργού ιλύος διασπούν οργανική ύλη μέσω του καταβολισμού και παράγουν ελεύθερη ενέργεια με τη μορφή ATP, η οποία αξιοποιείται στη συνέχεια από τον αναβολισμό για την παραγωγή νέου κυτταρικού υλικού. Κάποιες χημικές ουσίες

(Uncouplers) μειώνουν την παραγωγή ATP με αποτέλεσμα να καταναλώνεται οργανική ύλη αλλά να μη παράγεται νέα. Η πιο αποτελεσματική χημική ένωση είναι η 2,4,5-trichlorophenol (TCP), η οποία επιτυγχάνει μείωση της παραγόμενης ιλύος έως και 50% (Yuansong et al,2013).

#### **2.1.4. Προ-επεξεργασία Ιλύος**

Μετά την αφαίρεση της περίσσειας ιλύος από τον βιολογικό αντιδραστήρα, αυτή μπορεί να υποστεί επεξεργασία με στόχο τη σταθεροποίηση και τη μείωση της ποσότητάς της. Η προ-επεξεργασία της ιλύος πραγματοποιείται πριν την αφυδάτωση και στόχο έχει τη σταθεροποίησή της, τη μείωση του όγκου της μέσω παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα (αερόβια χώνευση) ή μέσω παραγωγής μεθανίου (αναερόβια χώνευση), καθώς και τη μείωση του μικροβιακού φορτίου. Η προ-επεξεργασία της ιλύος είναι ένας ακόμη τρόπος να μειωθεί η ποσότητα που τελικά θα οδηγηθεί προς αφυδάτωση, επεξεργασία και διάθεση.

##### *- Αναερόβια Χώνευση*

Αναερόβια χώνευση καλείται μία βιολογική διεργασία η οποία πραγματοποιείται απουσία οξυγόνου. Η διεργασία αυτή μπορεί να είναι είτε θερμοφιλική (θερμοκρασίες περί τους 55°C) ή μεσοφιλική (θερμοκρασίες περί τους 36 °C). Αποτελεί την πιο συνηθισμένη μέθοδο σταθεροποίησης της ιλύος σε μεγάλες εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων καθώς κρίνεται συμφέρουσα για εγκαταστάσεις που επεξεργάζονται περισσότερα από 12.000m<sup>3</sup>/d(BCS,2013). Η ιλύς διοχετεύεται σε μία κλειστή μονωμένη δεξαμενή (αναερόβιος χωνευτής) απουσία οξυγόνου. Εκεί λαμβάνουν χώρα τρεις διεργασίες: η υδρόλυση (εξωκυτταρικά ένζυμα διασπούν τα μεγάλα σύνθετα οργανικά μόρια σε απλούστερα), η οξεογένεση (μικροοργανισμοί μετατρέπουν τα υδρολυμένα μόρια σε οργανικά οξέα, διοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο) και η μεθανογένεση (μεθονογόνα βακτήρια συνθέτουν με τη χρήση του υδρογόνου και του διοξειδίου του άνθρακα μεθάνιο). Ποσότητα ιλύος σε ποσοστό έως και 50% μετατρέπεται σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Το παραγόμενο βιοαέριο χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του χωνευτή και τυχόν περίσσεια του για ηλεκτροπαραγωγή. Η λύση αυτή έχει χαμηλό λειτουργικό κόστος καθώς δεν απαιτεί την παροχή πρόσθετης ενέργειας για

αερισμό ή θέρμανση, καθώς για την θέρμανση του χωνευτή αρκεί συνήθως η ποσότητα που παράγεται από την καύση του παραγόμενου βιοαερίου. Παρόλα αυτά πρόκειται για μία ευαίσθητη διεργασία η οποία μπορεί εύκολα να διαταραχθεί ανάλογα με τη σύσταση της ιλύος και τη θερμοκρασία.

- *Αερόβια Σταθεροποίηση*

Αερόβια σταθεροποίηση, καλείται η βιολογική διεργασία κατά την οποία μικροοργανισμοί παρουσία επαρκούς συγκέντρωσης οξυγόνου οξειδώνουν την οργανική ύλη προς διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Πρόκειται για την πιο συνηθισμένη μέθοδο ιδιαίτερα στις μικρές εγκαταστάσεις, η οποία είναι απλή, σταθερή, και προβλέψιμη. Κατά τη διαδικασία αυτή η ιλύς αερίζεται για μεγάλο χρονικό διάστημα (~ 20 ημέρες). Υπολογίζεται ότι το 30% περίπου της ιλύος οξειδώνεται προς διοξείδιο του άνθρακα και νερό και απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα μειώνοντας την ποσότητα της προς περαιτέρω επεξεργασία ιλύος. Το σημαντικότερο μειονεκτήματα της μεθόδου, είναι το υψηλό ενεργειακό κόστος για την παροχή αέρα και η μικρή ποσότητα ιλύος που οξειδώνεται (Wikipedia, 2013).

- *Άλλες τεχνολογίες*

**Διεργασία CAMBI:** Η διεργασία CAMBI, πατέντα της ομώνυμης εταιρείας, χρησιμοποιεί μία διάταξη χαμηλής πίεσης και υψηλής θερμοκρασίας (6bar/165°C/20 min) για τη θερμική υδρόλυση της ιλύος. Με τη διεργασία αυτή επιτυγχάνεται σημαντική αύξηση της απόδοσης του αναερόβιου χωνευτή (περιεκτικότητα βιοαερίου με CH<sub>4</sub> έως 65%), μείωση της ποσότητας της ιλύος προς διάθεση (50-65%), πλήρης καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών και αύξηση της απόδοσης της αφυδάτωσης (DS έως 40%). Έχει εφαρμοσθεί επιτυχώς σε αρκετές εγκαταστάσεις (Cambii, 2013).

**Διεργασία AFS:** Πρόκειται για μία συνδυασμένη διεργασία αερόβιας θερμοφιλικής χώνευσης και χημικής επεξεργασίας σε ένα καταλυτικό βιοαντιδραστήρα μεμβρανών (CMBR). Η χρήση κατάλληλης διάταξης μετατρέπει τον βιολογικό αντιδραστήρα σε καταλυτικό βιολογικό αντιδραστήρα επιταχύνοντας σημαντικά την ταχύτητα οξείδωσης του οργανικού κλάσματος. Η διεργασία αυτή υπόσχεται

μείωση της ιλύος έως και 100% μέσω της σχεδόν πλήρους μετατροπής του οργανικού κλάσματος σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό (BCS, 2013).

**Υγρή Οξείδωση:** Ιλύς με συγκέντρωση στερεών περί το 5% οξειδώνεται σε θερμοκρασία 200-300 °C και πίεση 30-150bar. Συνήθως χρησιμοποιούνται σωλήνες σε βάθος 1200 μέτρα μέσα στη γη, όπου επικρατούν συνθήκες υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας. Η εξαγόμενη ιλύς περιέχει περισσότερο από 95% μεταλλικά στοιχεία και λιγότερο από 3% χαμηλού μοριακού βάρους οργανικές ενώσεις. Τα στραγγίδια που προκύπτουν μετά την αφυδάτωση έχουν υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνίας και χρειάζονται κατάλληλη επεξεργασία. Η πρώτη πιλοτική μονάδα λειτουργεί ήδη στη Δανία (ΕΕΑ, 1997).

Δεδομένου ότι η ιλύς αποτελεί ένα υλικό με υψηλές συγκεντρώσεις παθογόνων μικροοργανισμών, το βασικό κριτήριο για την αξιολόγησή των μεθόδων προ-επεξεργασίας είναι ο βαθμός μείωσης των παθογόνων που επιτυγχάνουν. Οι μέθοδοι προ-επεξεργασίας της ιλύος μπορούν να διακριθούν σε συμβατικές και προχωρημένες, ανάλογα με το αποτέλεσμα που επιτυγχάνουν ως προς την υγειονομοποίηση της ιλύος.

**Πίνακας 1. Μέθοδοι συμβατικής προεπεξεργασίας - υγειονομοποίησης ιλύος**

<b>Συμβατική προ-επεξεργασία</b>
Μεσοφιλική αναερόβια χώνευση σε θερμοκρασία 35 <sup>0</sup> C με μέσο χρόνο παραμονής τουλάχιστον 15 ημερών
Θερμοφιλική αναερόβια χώνευση σε θερμοκρασία τουλάχιστον 53 <sup>0</sup> C με μέσο χρόνο παραμονής 20 ημερών
Θερμοφιλική αερόβια σταθεροποίηση σε θερμοκρασία τουλάχιστον 55 <sup>0</sup> C με μέσο χρόνο παραμονής 20 ημερών
Αερόβια σταθεροποίηση της ιλύος, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος με χρόνο παραμονής τουλάχιστον 15 ημερών και επίτευξη τιμής ενδογενούς ζήτησης οξυγόνου (OUR) μικρότερης των 5 mg οξυγόνου/g ιλύος / hr

**Πίνακας 2. Μέθοδοι προχωρημένης προεπεξεργασίας - υγειονομοποίησης ιλύος**

<b>Προχωρημένη προ-επεξεργασία</b>
Θερμοφιλική αναερόβια χώνευση σε θερμοκρασία τουλάχιστον 53°C για 20 ώρες, ως μη συνεχής διεργασία (batch) κατά τη διάρκεια της οποίας δεν γίνεται καμία προσθήκη ή αφαίρεση ιλύος.
Θερμοφιλική αερόβια σταθεροποίηση σε θερμοκρασία τουλάχιστον 55°C για 20 ώρες ως μη συνεχής διεργασία (batch) κατά τη διάρκεια της οποίας δε γίνεται καμία προσθήκη ή αφαίρεση ιλύος.
Θερμική επεξεργασία της ιλύος για τουλάχιστον 30 λεπτά σε 70°C, ακολουθούμενη από μεσοφιλική αναερόβια χώνευση σε θερμοκρασία 35°C με μέσο χρόνο παραμονής 12 ημερών.

Σύμφωνα με το σχέδιο για τη νέα Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ), σχετικά με την αξιοποίηση της ιλύος, σε όλες τις περιπτώσεις θα ακολουθεί αφυδάτωση για επίτευξη ποσοστού στερεών τουλάχιστον 18%, ενώ αποτέλεσμα των ως άνω διεργασιών συμβατικής επεξεργασίας θα πρέπει να είναι η μείωση των E.Coli κατά τουλάχιστον 2 τάξεις μεγέθους και αποτέλεσμα των μεθόδων προχωρημένης επεξεργασίας, θα πρέπει να είναι η απουσία Salmonella spp σε δείγμα 50 g ιλύος (υγρό βάρος) και η μείωση των E.Coli κατά τουλάχιστον 6 τάξεις μεγέθους, με τελικές συγκεντρώσεις E Coli μικρότερες από 500 CFU/g.(Opengon,2012).

## **2.2. Αφυδάτωση και επεξεργασία αφυδατωμένης ιλύος**

### **2.2.1. Μέθοδοι Αφυδάτωσης**

Η αφυδάτωση είναι ένα εξαιρετικά κρίσιμο στάδιο της επεξεργασίας της ιλύος. Αφού η ιλύς έχει υποστεί οποιαδήποτε άλλη προ-επεξεργασία, σε αυτό το στάδιο θα πρέπει να αφαιρεθεί όσο το δυνατόν περισσότερο νερό από την ιλύ πριν οδηγηθεί προς περαιτέρω επεξεργασία ή διάθεση. Όσο πιο αποτελεσματική είναι η αφυδάτωση δίνοντας ένα υλικό με τη μέγιστη δυνατή συγκέντρωση στερεών, τόσο μικρότερος θα είναι ο όγκος του τελικού προϊόντος. Εκτός όμως από τη μείωση του όγκου, μία αφυδατωμένη ιλύς με αυξημένη συγκέντρωση στερεών είναι πιο εύκολη



στη διαχείριση. Αυξανόμενου επομένως του βαθμού απόδοσης της αφυδάτωσης, μειώνεται το κόστος των επόμενων σταδίων της ιλύος. Ακόμη και εάν η αφυδατωμένη ιλύς διατεθεί χωρίς άλλη επεξεργασία, η απόδοση της αφυδάτωσης επηρεάζει σημαντικά το κόστος αλλά και τους δυνατούς τρόπους διάθεσης.

Οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι αφυδάτωσης είναι δύο, το φυγόκεντρο και η ταινιοφιλτρόπρεσσα ενώ μία τρίτη λιγότερο διαδεδομένη είναι η φιλτρόπρεσσα με πλάκες.

Τα φυγόκεντρα παράγουν αφυδατωμένη ιλύ υψηλής συγκέντρωσης στερεών (20~25%), απαιτούν λιγότερη συντήρηση και είναι πιο απλά στη λειτουργία. Σε αντίθεση με τις άλλες δύο μεθόδους που συνήθως απαιτούν βαρυτική και μηχανική πάχυνση της ιλύος, με τα φυγόκεντρα δεν υφίσταται τέτοια απαίτηση. Το σημαντικότερο μειονέκτημά τους είναι η υψηλή κατανάλωση ενέργειας, ένας παράγοντας, ο οποίος στις μέρες μας, με το κόστος ενέργειας να αυξάνεται, είναι πλέον βαρύνουσας σημασίας.

Οι ταινιοφιλτρόπρεσες έχουν μικρότερο αρχικό κόστος επένδυσης από τα φυγόκεντρα αλλά είναι πιο πολύπλοκες στη λειτουργία. Απαιτούν συνεχή επίβλεψη κατά τη λειτουργία τους και καταναλώνουν ελάχιστη ηλεκτρική ενέργεια σε σχέση με τα φυγόκεντρα. Μειονέκτημά τους είναι οι χαμηλές συγκεντρώσεις στερεών που επιτυγχάνουν στην αφυδατωμένη ιλύ (12~21%), η συχνή συντήρηση και η απασχόληση εξειδικευμένου προσωπικού.

Λιγότερο διαδομένες είναι οι φιλτρόπρεσες με πλάκες. Σε αντίθεση με τις άλλες δύο μεθόδους που είναι συνεχούς λειτουργίας, οι φιλτρόπρεσες με πλάκες είναι διαλείποντος λειτουργίας. Επιπλέον, έχουν υψηλό κόστος επένδυσης (συγκρίσιμο με αυτό των φυγόκεντρων), απαιτούν τη συνεχή παρουσία ενός τουλάχιστον ανθρώπου κατά τη λειτουργία τους, ενώ συνήθως απαιτούν μεγαλύτερες ποσότητες πολυηλεκτρολύτη. Έχουν μικρή κατανάλωση ενέργειας και το βασικό τους πλεονέκτημά είναι ότι επιτυγχάνουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις στερεών (25~30%) στην αφυδατωμένη ιλύ.

Μετά την αφυδάτωση της ιλύος, και πριν αυτή οδηγηθεί προς περαιτέρω επεξεργασία ή διάθεση, υπάρχει η δυνατότητα μείωσης της υγρασίας με συμπίεση.

Η ιλύς εισέρχεται σε έναν κοχλία μεταβλητής διαμέτρου και καθώς οδηγείται από την είσοδο προς την έξοδο αυξάνεται σημαντικά η πίεση που δέχεται. Έτσι απομακρύνεται ένα ακόμη μέρος της υγρασίας. Οι κοχλιωτές πρέσες αυτές, γνωστές ως 'screwpress', απαιτούν τακτική συντήρηση, αλλά είναι εξαιρετικά απλές στην λειτουργία τους, καταναλώνουν ελάχιστη ενέργεια και επιτυγχάνουν σημαντική αύξηση στερεών ανάλογα με τη συγκέντρωση στερεών της ιλύος που δέχονται.

### 2.2.2. Μέθοδοι ξήρανσης της αφυδατωμένης ιλύος

Η ξήρανση της ιλύος αποτελεί, όταν εφαρμόζεται, το σημαντικότερο βήμα που καθορίζει τη μετέπειτα διάθεση της και έχει τη μεγαλύτερη συμβολή στο κόστος διαχείρισης. Με την ξήρανση της ιλύος ο όγκος της ιλύς μπορεί να μειωθεί περισσότερο από 80% με ταυτόχρονη πλήρη υγειονομοποίηση.

Για την ξήρανση απαιτείται η παροχή ενέργειας στην ιλύ ώστε να εξατμισθεί το νερό και να μειωθεί η υγρασία. Η ξήρανση μπορεί να γίνει είτε με την αξιοποίηση της θερμότητας της ηλιακής ακτινοβολίας (ηλιακή ξήρανση) είτε με την παραγωγή θερμότητας από άλλη πηγή ενέργειας (θερμική ξήρανση με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, ορυκτών καύσιμων, βιομάζας, ξηρής ιλύος κλπ), είτε με τη θερμότητα που παράγουν οι ίδιοι οι μικροοργανισμοί κατά τη βιολογική τους δραστηριότητα στον τελικό σωρό της ιλύος (κομποστοποίηση, βιολογική ξήρανση). Κάποιες μέθοδοι συνδυάζουν παραπάνω από έναν από τους ανωτέρω τρόπους. Στη συνέχεια, αναλύονται εν συντομία οι κυριότερες μέθοδοι ξήρανσης ιλύος.

#### – Θερμική Ξήρανση

Οι μέθοδοι θερμικής ξήρανσης κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- α) Συστήματα άμεσης ξήρανσης
- β) Συστήματα έμμεσης ξήρανσης
- γ) Συνδυασμένα συστήματα

Στα συστήματα άμεσης ξήρανσης η αφυδατωμένη ιλύς έρχεται σε άμεση επαφή με αέριο ρεύμα υψηλής θερμοκρασίας. Τα συστήματα έμμεσης ξήρανσης είναι πιο απλά στο σχεδιασμό, με εξαίρεση, τη δυσκολία σχεδιασμού του συστήματος

επεξεργασίας του ρεύματος εκροής. Για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας οι ατμοί θα πρέπει να απομακρυνθούν από το αέριο ρεύμα εκροής έτσι ώστε αυτό να είναι δυνατόν να επαναχρησιμοποιηθεί. Η συγκέντρωση στερεών στην έξοδο μπορεί να φτάσει ακόμη και το 90%. Τυπικά συστήματα άμεσης ξήρανσης είναι: περιστρεφόμενου τυμπάνου, στιγμιαίας δράσης, κινουμένων ταινιών ενώ υπάρχουν και αρκετά ακόμη μη-διαδεδομένα όπως το Centridry (ταυτόχρονη αφυδάτωση με φυγόκεντρο και ξήρανση), κυκλωνικά συστήματα ξήρανσης και άλλα (Guohua et al, 2002).

Στα συστήματα έμμεσης ξήρανσης η θερμότητα μεταφέρεται στην ιλύ μέσω μίας θερμαινόμενης επιφάνειας. Η ιλύς θα πρέπει να αναδεύεται συνεχώς ώστε να μη δημιουργηθούν προβλήματα επικαθήσεων στη θερμαινόμενη επιφάνεια. Τα συστήματα αυτά παράγουν λιγότερα αέρια ενώ συνήθως αυτά ανακυκλοφορούνται ώστε να επιτυγχάνεται ανάκτηση θερμότητας και απόσπηση. Η ιλύς εισέρχεται με συγκέντρωση στερεών τουλάχιστον 25% και εξέρχεται με συγκέντρωση της τάξεως 55-70%.

Συνδυαστικά συστήματα ξήρανσης είναι οι ξηραντήρες ρευστοποιημένης κλίνης. Στα συστήματα αυτά η ιλύς προστίθεται συνεχώς σε ένα τμήμα το οποίο έχει θερμαινόμενες επιφάνειες, ενώ διατηρείται σε αιώρηση με την παροχή ενός ρεύματος ζεστού αέρα. Στην Ιαπωνία τέτοια συστήματα συνδυάζουν και την καύση της ιλύος ταυτόχρονα με την ξήρανση επιτυγχάνοντας μεγάλες αποδόσεις (Guohua et al, 2002).

– *Ξήρανση με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία*

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία χρησιμοποιείται και σε ορισμένες διατάξεις έμμεσης ξήρανσης ιλύος για τη θέρμανση επιφανειών, ωστόσο η ξήρανση με ακτινοβολία υπερύθρων απευθείας στην ιλύ αποτελεί μία ελληνική καινοτομία, ευρεσιτεχνία ερευνητών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία παράγεται από λαμπτήρες με τη χρήση ηλεκτρικού ρεύματος και μεταφέρει μεγάλα ποσά ενέργειας στην ιλύ. Η θερμότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας διεισδύει μέσα στο υλικό απομακρύνοντας το νερό χωρίς να χρειάζεται προηγούμενη θέρμανση της ιλύος. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

επιτυγχάνει εξαιρετικά γρήγορη εξισορρόπηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας και του εσωτερικού του υλικού. Έτσι, επιτυγχάνεται ο ιδανικός τρόπος θέρμανσης εξοικονομώντας χρόνο. Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται είναι σχετικά χαμηλές, της τάξεως των 50 – 65 °C, ενώ ο χρόνος παραμονής του υλικού στον αντιδραστήρα δεν ξεπερνά τα 10 λεπτά. Η λειτουργία του αντιδραστήρα μπορεί να είναι ακόμη και 24ωρη καθώς απαιτεί ελάχιστη επίβλεψη, ενώ ο καθαρισμός γίνεται αυτόματα. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του συστήματος αυτού είναι ότι η ιλύς που παράγει είναι σχεδόν αποστειρωμένη, με περιεκτικότητα στερεών έως 100%, ενώ κατά τη διεργασία δεν παράγονται ρύποι και οσμές.

Οι τεχνολογίες θερμικής ξήρανσης έχουν υψηλό κόστος κατασκευής αλλά κυρίως έχουν σημαντική κατανάλωση ενέργειας. Το γεγονός αυτό έχει στρέψει το ενδιαφέρον σε άλλες μεθόδους αύξησης της περιεκτικότητας των στερεών και υγειοποίησης της ιλύος. Τέτοιες είναι η ηλιακή ξήρανση, η βιολογική ξήρανση, η κομποστοποίηση και η ανάμιξη με άλλα υλικά.

#### – Ηλιακή ξήρανση

Η ηλιακή ξήρανση αποτελεί μία μέθοδο ξήρανσης της ιλύος αξιοποιώντας τη θερμική ενέργεια της ακτινοβολίας του ήλιου. Αν και πλέον η ηλιακή ξήρανση είναι συνώνυμο της ξήρανσης σε θερμοκήπιο, ως ηλιακή ξήρανση μπορεί να θεωρηθεί και η απλή εναπόθεση της ιλύος σε μια κλίνη και η άμεση έκθεση της στην ηλιακή ακτινοβολία. Η ηλιακή ξήρανση σε θερμοκήπιο είναι αρκετά διαδομένη για χώρες με αρκετή ηλιοφάνεια όπως η Ελλάδα. Στη χώρα μας λειτουργεί, ήδη, η πρώτη τέτοια εγκατάσταση στον ΧΥΤΑ της Χερσονήσου, στην Κρήτη, με πολύ καλά αποτελέσματα. Ήδη, αρκετοί άλλοι φορείς ανά την Ελλάδα περιμένουν την έγκριση της χρηματοδότησης αντίστοιχων έργων. Η ηλιακή ξήρανση δείχνει να είναι η λύση του προβλήματος επεξεργασίας της ιλύος για την ηλιόλουστη χώρα μας.

#### – Κλίνες Ξήρανσης

Οι κλίνες ξήρανσης αποτελούν την πιο απλή και την οικονομικότερη μέθοδο για την ξήρανση της ιλύος. Η μέθοδος αυτή συνίσταται για μικρές εγκαταστάσεις σε περιοχές θερμού και ξηρού κλίματος. Η ιλύς εναποτίθεται στην επιφάνεια

στρώματος άμμου ύψους περίπου 20 cmεντός μίας κλίνης. Τις πρώτες ημέρες η ιλύς αφυδατώνεται με την απομάκρυνση νερού της τάξεως 75 ~ 85 % κυρίως μέσω της αποστράγγισης του από το στρώμα άμμου. Τις επόμενες ημέρες, και με πολύ αργούς ρυθμούς, απομακρύνεται επιπλέον ποσότητα νερού μέσω εξάτμισης, επιτυγχάνοντας τελικά ποσοστά στερεών έως και 40%. Οι κλίνες ξήρανσης δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένες εξαιτίας της μεγάλης έκτασης που απαιτούν και της όχλησης που προκαλείται από τις οσμές.

### **2.2.3. Άλλες μέθοδοι επεξεργασίας μετά την αφυδάτωση**

#### *– Ανάμιξη με χώμα*

Η διαχείριση της ιλύος με υψηλά ποσοστά υγρασίας είναι εξαιρετικά δύσκολη εξαιτίας της υδαρής φύσης του υλικού. Μία απλή και διαχρονική μέθοδος είναι η ανάμιξη της ιλύος με χώμα. Το χώμα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο ξηρό, χαμηλό σε περιεκτικότητα αργίλου, με καλές προσροφητικές ιδιότητες και εύκολο στην ανάμιξη. Ιδανικά χώματα είναι όσα προέρχονται από αμμουδερά εδάφη. Η ιλύς ανακατεύεται με το χώμα, συνήθως με κάποια μπουλντόζα, χωρίς να απαιτείται η εγκατάσταση κάποιας εξειδικευμένης διάταξης. Η αναλογία κυμαίνεται από 1:1 έως 1:4 ανάλογα με την ποιότητα του χώματος και το επιθυμητό αποτέλεσμα. Το προϊόν που παράγεται είναι πολλαπλάσιου όγκου από το αρχικό της αφυδατωμένης ιλύος, ωστόσο, είναι πιο εύκολα διαχειρίσιμο καθώς έχει πλέον μεγάλη περιεκτικότητα σε στερεά. Επίσης, λόγω της αραίωσης, το τελικό προϊόν είναι σταθερό, με μικρές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων και παθογόνων μικροοργανισμών. Η μέθοδος αυτή προτείνεται ιδιαίτερα πριν την εδαφική διάθεση της αφυδατωμένης ιλύος (ΕΡΑ,1979).

#### *– Ανάμιξη με μίγμα ορυκτών*

Ένας άλλος τρόπος αύξησης των στερεών της ιλύος με στόχο τη δημιουργία ενός υλικού πιο συνεκτικού είναι η προσθήκη ορυκτών όπως ο ζεόλιθος. Η μέθοδος βασίζεται στην προσθήκη ξηρών υλικών με προσροφητικές ιδιότητες, τα οποία προσροφούν την υγρασία της αφυδατωμένης ιλύος και έτσι, παράγεται ένα τελικό προϊόν με χαμηλό ποσοστό υγρασίας. Επίσης, ανάλογα με το υλικό που θα

χρησιμοποιηθεί επιτυγχάνεται και η σταθεροποίηση της ιλύος καθώς επίσης, και δέσμευση των βαρέων μετάλλων, όπως στην περίπτωση του ζεόλιθου. (Ecomud, 2013)

– *Ανάμιξη με ιπτάμενη τέφρα - Σβολοποίηση*

Η σβολοποίηση μορφοποιεί την ιλύ σε κοκκώδες υλικό με μορφή παρόμοια με αυτή των λιπασμάτων, με την ταυτόχρονη ανάμιξή της με ιπτάμενη τέφρα. Η ιπτάμενη τέφρα είναι παραπροϊόν των εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύση λιγνίτη. Η ανάμιξη της με την ιλύ αυξάνει το pH, δεσμεύει τα βαρέα μέταλλα, εξουδετερώνει τους μικροοργανισμούς καθώς και τις οσμές και μετατρέπει την ιλύ από υγρή λάσπη σε ένα πιο συνεκτικό υλικό, το οποίο είναι εύκολο στη διαχείριση. Έχει παρατηρηθεί ότι με την προσθήκη ιπτάμενης τέφρας στην ιλύ, σε αναλογίες μεγαλύτερες από 1:1, οι μικροοργανισμοί μειώνονται σε ποσοστό πάνω από 93,5 % (Wang et al, 1997).

– *Κομποστοποίηση*

Η κομποστοποίηση είναι μία αερόβια, ελεγχόμενη διεργασία οξειδωσης των οργανικών ενώσεων της ιλύος από μικροοργανισμούς. Κατά τη διαδικασία αυτή, αερόβιοι μικροοργανισμοί αποδομούν το οργανικό κλάσμα της ιλύος σε απλούστερες ενώσεις, παράγοντας έτσι ένα πλήρως σταθεροποιημένο προϊόν πλούσιο σε χουμικά συστατικά. Συνήθως, απαιτείται η προσθήκη και άλλων υλικών, τα οποία χρησιμεύουν ως διογκωτικά, συμβάλλοντας στον καλύτερο αερισμό του μίγματος και στην άμεση μείωση της υγρασίας. Η αερόβια κομποστοποίηση παράγει ένα υψηλής ποιότητας υγειονοποιημένο οργανοχουμικό προϊόν καθώς, κατά τη διεργασία αυτή, αναπτύσσονται θερμοκρασίες άνω των 45°C για χρονικό διάστημα έως ένα μήνα (YongChen ,2012).

– *Επεξεργασία με ασβέστη*

Ασβέστης, άνυδρος ή ένυδρος, προστίθεται στην ιλύ με κύριο στόχο την αύξηση του pH. Σε αντίθεση με τον ένυδρο ασβέστη, όταν προστίθεται ο άνυδρος (CaO), λόγω της εξώθερμης αντίδρασης ενυδάτωσης του, αυξάνεται σημαντικά η θερμοκρασία

βοηθώντας έτσι στην πιο αποτελεσματική μείωση του μικροβιακού φορτίου και την εξάτμιση μέρους του περιεχόμενου νερού. Σε κάθε περίπτωση όμως, η αύξηση του pH για μεγάλο χρονικό διάστημα ( $\text{pH} > 12$  για διάστημα  $> 3$  μήνες) επιτυγχάνει ικανοποιητική υγειονομοποίηση της ιλύος, ενώ το τελικό μείγμα είναι υψηλότερης συγκέντρωσης στερεών και άρα πιο εύκολα διαχειρίσιμο αλλά και ασφαλές στη χρήση.

### **2.3. Δυνατότητες διάθεσης ιλύος**

Η ιλύς αφού έχει υποστεί πλέον κάθε δυνατή επεξεργασία πρέπει να οδηγηθεί προς διάθεση. Ανάλογα με τον βαθμό επεξεργασίας της, την περιεκτικότητα σε υγρασία και τον βαθμό υγειονομοποίησης της καθορίζονται οι δυνατοί τρόποι διάθεσής της. Ο κυρίαρχος τρόπος διάθεσης της στην Ευρώπη είναι η γεωργική ενώ στην Ελλάδα η διάθεση σε ΧΥΤΑ ή ΧΑΔΑ. Υπάρχουν και άλλοι τρόποι διάθεσης και αξιοποίησης της ιλύος, λιγότερο διαδεδομένοι, οι οποίοι όμως αξίζουν να αναφερθούν.

#### **2.3.1. Γεωργική Διάθεση**

Πρόκειται για μία μέθοδο αρκετά διαδεδομένη σε πολλές χώρες της Ευρώπης καθώς, κατά μέσο όρο το 37% της παραγωγής ιλύος διατίθεται στη γεωργία (Fytilli et al, 2006). Η μέθοδος αυτή, είναι σύμφωνη με την Ευρωπαϊκή αρχή για την διαχείριση αποβλήτων, με βάση την οποία θα πρέπει να εξαντλούνται οι δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης ή αξιοποίησης των αποβλήτων πριν καταφύγουμε σε άλλους τρόπους διαχείρισής τους. Οι νομοθετικές απαιτήσεις που υπάρχουν για την προς γεωργική διάθεση ιλύς αυξάνουν συνήθως το κόστος επεξεργασίας της. Ένα άλλο πρόβλημα για την Ελλάδα, είναι η δυσπιστία των αγροτών και επομένως, η δυσκολία εύρεσης αγρών για τη διάθεση της ιλύος. Η ιλύς προς γεωργική διάθεση μπορεί να είναι ξηραμένη (χύμα ή σε πέλλετ) ή με μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία (αφυδατωμένη αλλά μη ξηραμένη) εφόσον έχει υποστεί κατάλληλη επεξεργασία.

#### **2.3.2. Διάθεση στο έδαφος**

Πρόκειται για την πιο παλιά και οικονομική μέθοδο. Αφορά την ταφή σε ΧΥΤΑ, την απόθεση σε απομακρυσμένα μέρη ή τη διάθεση-διασπορά σε ακαλλιέργητα εδάφη (διαδεδομένη στις ΗΠΑ). Ακόμη και σήμερα στην Ευρώπη, ποσοστό της τάξεως του

40% της παραγόμενης ιλύος, οδηγείται προς εδαφική διάθεση – ταφή (Fyttili et al, 2006). Ουσιαστικά αρκεί να βρεθεί ένας απομονωμένος χώρος σχετικά κοντά στην ΕΕΛ όπου φορτηγά θα μεταφέρουν και θα εναποθέτουν την ιλύ. Σταδιακά, ωστόσο, η μέθοδος αυτή περιορίζεται, καθώς οι διαθέσιμοι χώροι μειώνονται ενώ στην χώρα μας λίγοι είναι οι ΧΥΤΑ που τη δέχονται με αποτέλεσμα σιγά-σιγά να αυξάνει το κόστος και για αυτήν τη μέθοδο αφού μεταφέρεται σε μακρινές τοποθεσίες. Επιπλέον, δεν έχουν ακόμη εκτιμηθεί επαρκώς οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις όπως η μόλυνση του υπόγειου υδροφορέα και η απελευθέρωση ποσοτήτων μεθανίου στην ατμόσφαιρα. Τέλος, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή οδηγία 1999/31 συστήνεται η μείωση των ποσοτήτων βιοαποδομήσιμων αποβλήτων που οδηγούνται σε ΧΥΤΑ καθώς αυτά θα πρέπει να αξιοποιούνται ή να επαναχρησιμοποιούνται.

### **2.3.3. Διάθεση σε εδάφη για αποκατάσταση κλπ**

Μία όχι και τόσο διαδεδομένη λύση είναι η διάθεση ιλύος σε δασικές εκτάσεις (θρέψη των δένδρων), η διάθεση σε υπό αποκατάσταση περιοχές όπως λατομεία, χωματερές, αποτεφρωμένες εκτάσεις κλπ. Η μέθοδος αυτή στην Ευρώπη εφαρμόζεται σε ποσοστό της τάξεως του 12% της παραγόμενης ιλύος (Fyttili et al, 2006). Στην Ελλάδα κάποιες ποσότητες ιλύος αξιοποιούνται τα τελευταία χρόνια στην αποκατάσταση χωματερών.

### **2.3.4. Καύση**

Η καύσης ιλύος σε εγκατάσταση αποτέφρωσης αποτελεί έναν τρόπο δραστηκής μείωσης της ποσότητας προς εδαφική διάθεσή (στάχτη). Το 11% της παραγόμενης ιλύος στην Ευρώπη οδηγείται προς καύση (Fyttili et al, 2006). Οι εγκαταστάσεις καύσης έχουν υψηλό κόστος κατασκευής και λειτουργίας και προτιμούνται από προηγμένες χώρες που δεν έχουν χώρους για άλλο τρόπο διάθεσης ή οι χώροι αυτοί είναι απομακρυσμένοι. Επίσης, υπάρχει γενικά μία δυσκολία στην αδειοδότηση μονάδων καύσης καθώς πέρα από το γεγονός ότι δεν υπάρχει ευρεία αποδοχή της μεθόδου από το κοινό υπάρχουν αρκετοί προβληματισμοί για τις επιπτώσεις των απαερίων στο περιβάλλον.



### 2.3.5. Καύσιμο

Εφόσον η ιλύς έχει ξηρανθεί, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο μαζί με άλλα ορυκτά, συνήθως καύσιμα (συνκαύσιμο). Στην Ελλάδα, ποσότητες ιλύος χρησιμοποιούνται σε μικρά ποσοστά επί του συνόλου της ποσότητας καυσίμου στους φούρνους των τσιμεντοβιομηχανιών. Επίσης, κάποια συστήματα θερμικής ξήρανσης ιλύος χρησιμοποιούν ως καύσιμο την ίδια την ξηραμένη ιλύ που παράγουν. Μειονέκτημα της καύσης της ιλύος είναι τα πρόσθετα μέτρα περιβαλλοντικής προστασίας που πρέπει να ληφθούν σε σχέση τη χρήση άλλου καυσίμου.

### 2.3.6. Χρήση ως λίπασμα

Πέρα από τη γεωργική διάθεση ή τη διάθεση σε περιοχές προς αποκατάσταση, εφόσον η ιλύς έχει υποστεί ικανοποιητική υγειονομοποίηση, χρησιμοποιείται ως εδαφικό υλικό – λίπασμα, το οποίο μπορεί να συσκευασθεί και να διοχετευθεί στην αγορά ή να χρησιμοποιηθεί στο αστικό και περιαστικό πράσινο. Άλλωστε, είναι σύνηθες, τα προϊόντα κομπόστ που διατίθεται ενσασκισμένα στην αγορά να περιέχουν και ένα ποσοστό ιλύος.

### 2.3.7. Θαλάσσια Διάθεση

Ένας τρόπος διάθεσης ο οποίος έχει απαγορευθεί στην Ευρώπη από το 1998 ήταν η διάθεση της ιλύος απ'ευθείας στη θάλασσα. Η ιλύς μεταφερόταν με πλοία στα ανοιχτά, και εκεί την άδειαζαν στη θάλασσα ή την άδειαζαν με φορτηγά στα πρανή πλαγιών και η ιλύς έρεε σιγά-σιγά προς την θάλασσα. Ωστόσο, η περιβαλλοντική επιβάρυνση, ιδιαίτερα με τον δεύτερο τρόπο διάθεσης ήταν σημαντική και έτσι εκδόθηκε οδηγία για την απαγόρευση αυτής της μεθόδου διάθεσης.

### 2.3.8. Εναλλακτικές χρήσεις

Άλλες εναλλακτικές χρήσεις οι οποίες έχουν μελετηθεί, ωστόσο, δεν έχουν εφαρμοσθεί σε ευρεία κλίμακα, είναι η κατασκευή βιοδομικών υλικών με χρήση ιλύος, η προσθήκη ποσότητας ιλύος στο τσιμέντο και άλλες.

### **2.3.9. Μεταφορά σε μεγαλύτερη εγκατάσταση**

Μία άλλη λύση για τις μικρές μονάδες, οι οποίες παράγουν μικρές ποσότητες, είναι η μεταφορά σε μία κοντινή, μεγαλύτερη εγκατάσταση για περαιτέρω επεξεργασία επιτυγχάνοντας οικονομίες κλίμακας.

## 2.4. Επισκόπηση Νομοθεσίας εδαφικής διάθεσης

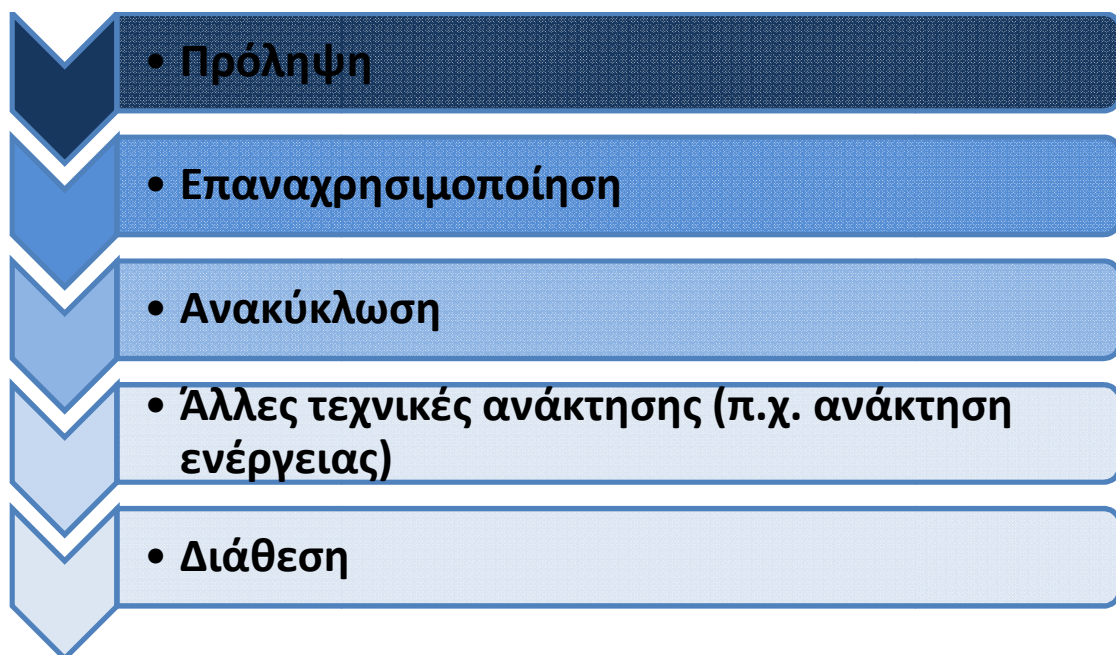
### 2.4.1. Νομοθεσία ΗΠΑ

Οι προετοιμασίες για έναν κανονισμό σχετικά με την διαχείριση της ιλύος κράτησαν αρκετά χρόνια ώστε να καλυφθούν όλοι οι πιθανοί τρόποι επεξεργασίας και διάθεσης. Ο κανονισμός ήταν έτοιμος τον Νοέμβριο του 1992 με την έκδοση του τμήματος 503 του κανονισμού 40CFR 'Standards for the Use or Disposal of Waste Water Sludge'. Ο κανονισμός εκτός από τις προδιαγραφές για τη χρήση της ιλύος στη γεωργία, περιλαμβάνει επίσης προδιαγραφές για την καύση και την εδαφική διάθεση καθώς και λεπτομερείς οδηγίες για την προεπεξεργασία της. Ο κανονισμός αυτός περιέχει περιορισμούς ως προς τη συγκέντρωση παθογόνων μικροοργανισμών και κατατάσσει την ιλύ σε δύο κατηγορίες ανάλογα την ασφάλεια της για τη δημόσια υγεία. Η ιλύς Class A μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς περιορισμούς (υγειονομικά ασφαλής), ενώ η ιλύς Class B μόνο υπό αυστηρούς περιορισμούς (λιγότερο ασφαλής). Η ιλύς Class A υποδιαιρείται σε έξι υποκατηγορίες ενώ η Class B σε τρεις (EPA, 1992).

### 2.4.2. Ευρωπαϊκή Νομοθεσία

Η πρώτη οδηγία για την προστασία του εδάφους κατά την χρησιμοποίηση της ιλύος εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων στη γεωργία εκδόθηκε το 1986(1986/278/EC). Η οδηγία αυτή δίνει κάποιες κατευθυντήριες γραμμές για τη χρήση της ιλύος στη γεωργία, ενώ αφήνει το περιθώριο στο κάθε κράτος-μέλος να ορίσει τις ακριβείς παραμετρικές τιμές. Η οδηγία απαγορεύει τη χρήση ιλύος σε κάποιες συγκεκριμένες καλλιέργειες. Στόχος της οδηγίας είναι 'να ρυθμίσει τη χρησιμοποίηση της ιλύος καθαρισμού λυμάτων στη γεωργία ώστε να αποφεύγονται τυχόν επιβλαβείς επιπτώσεις στο έδαφος, τη βλάστηση, τα ζώα και τον άνθρωπο ενθαρρύνοντας παράλληλα την ορθή χρήση της' (CEC, 1986). Λίγα χρόνια αργότερα, το 1991, θα ψηφιστεί η οδηγία 271 που θα αλλάξει ριζικά την κατάσταση στον κλάδο της προστασίας περιβάλλοντος και ειδικότερα της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Σύμφωνα με την οδηγία αυτή, όλα τα κράτη-μέλη θα πρέπει, σύμφωνα με ένα χρονοδιάγραμμα, (με λήξη το 2005 για τα κράτη-μέλη της ΕΕ των 15) να κατασκευάσουν εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων για όλους του οικισμούς με

πληθυσμό μεγαλύτερο των 2.000 κατοίκων. Στο άρθρο 14, παροτρύνεται η επαναχρησιμοποίηση της ιλύος, τονίζεται ότι ο τρόπος διάθεσης θα πρέπει να μειώνει στο ελάχιστο τις αρνητικές επιπτώσεις για το περιβάλλον, ενώ ορίζει ως καταληκτική ημερομηνία απαγόρευσης της διάθεσης της ιλύος στη θάλασσα τη 31 Δεκ. 1998(CEC, 1991). Με την οδηγία 31/1999 περί υγειονομική ταφής των αποβλήτων, ορίζεται μεταξύ άλλων ότι τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα που καταλήγουν σε χώρους υγειονομικής ταφής θα έπρεπε να μειωθούν έως το 2004 σε σχέση με τις ποσότητες του 1995 κατά 25%, έως το 2009 κατά 50% και έως το 2013 κατά 65% (CEU, 1999). Σε συνέχεια της οδηγίας 1999/31/ΕΚ, εκδόθηκε η οδηγία 2003/33/ΕΚ η οποία καθορίζει τα κριτήρια και τις διαδικασίες αποδοχής των αποβλήτων στους ΧΥΤΑ. Με την οδηγία 2000/76/ΕΚ καθορίζονται οι οριακές τιμές για τις μονάδες αποτέφρωσης, συμπεριλαμβανομένων και των μονάδων καύσης ή συν-καύσης ιλύος. Με την οδηγία 532/2000, όπως τροποποιήθηκε με την 118/2001, καταρτίζεται ο Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων και ορίζεται ποια εξ'αυτών είναι επικίνδυνα. Η ιλύς (ΕΚΑ 19 0805: λάσπες από την επεξεργασία αστικών λυμάτων) καταχωρείται ως μη-επικίνδυνο απόβλητο(CEC, 2001). Η λογική της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όσον αφορά τη διαχείριση των αποβλήτων, παρουσιάζεται στο σχήμα 1.



Σχήμα 1: Η ιεραρχία των μεθόδων διαχείρισης αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Η οδηγία 278/86 η οποία αποτελεί ακόμη και σήμερα τον βασικό οδηγό για τα νομοθετήματα γεωργικής αξιοποίησης της ιλύος, περιορίζεται στην αναφορά οριακών τιμών κάποιων βαρέων μετάλλων, ενώ δεν υπάρχουν οριακές τιμές για άλλα μέταλλα όπως το χρώμιο, ενώσεις όπως PCBs κλπ καθώς και για τους παθογόνους μικροοργανισμούς. Σήμερα πολλές χώρες κράτη-μέλη έχουν θεσπίσει οριακές τιμές προσαρμοσμένες στις συνθήκες της κάθε χώρας. Έτσι, άλλες χώρες έχουν πολύ αυστηρά όρια, ενώ άλλες πιο ελαστικά (CEC, 1986).

### 2.4.3. Ελληνική Νομοθεσία

Ο πρώτος Νόμος που αφορά τη διάθεση ιλύος είναι ο 1650/1986, όπου καθορίζονται μέτρα και όροι για τη διάθεση των στερεών αποβλήτων. Μερικά χρόνια αργότερα, το 1991, η οδηγία 278/86 ενσωματώνεται στο Ελληνικό Δίκαιο με την ΚΥΑ 80568/4225/91, η οποία υιοθετεί τις οριακές τιμές της ευρωπαϊκής οδηγίας χωρίς τροποποιήσεις. Εξαιρέση αποτελεί η προσθήκη ορίων για το χρώμιο: 500 mg/kg ξηράς ουσίας για το Cr(III) και 10 mg/kg ξηρού για το Cr(VI). Αργότερα, το 1993 εκδίδεται η ΚΥΑ 82805/2224/1993 σχετικά με την πρόληψη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προκαλείται από την καύση αστικών απορριμμάτων

Με την ΚΥΑ 69728/824/16.05.1996 ενσωματώνονται στο εθνικό δίκαιο οι Ευρωπαϊκοί Κατάλογοι Αποβλήτων (ΕΚΑ). Με την ΚΥΑ 114218/97 θέτονται οι τεχνικές προδιαγραφές για τη διαχείριση ιλύος εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων ώστε αυτή να είναι αξιοποιήσιμη στη γεωργία. Το 2002 η ΚΥΑ 29407/3508/2002 ορίζει τα μέτρα και τους όρους για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων ενώ με την ΚΥΑ 50910/2727/2003 ορίζονται μέτρα και όροι για την διαχείριση Στερεών Αποβλήτων στα πλαίσια του Εθνικού και Περιφερειακού Σχεδιασμού Διαχείρισης.

Τέλος, έχει ολοκληρωθεί η διαβούλευση και βρίσκεται υπό ψήφιση μία νέα ΚΥΑ με θέμα «Μέτρα, όροι και διαδικασίες για τη χρησιμοποίηση της ιλύος που προέρχεται από επεξεργασία οικιακών και αστικών λυμάτων καθώς και ορισμένων υγρών αποβλήτων, σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της οδηγίας 86/278/ΕΟΚ του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων. Αντικατάσταση της 80568/4225/1991 (Β' 641) κοινής υπουργικής απόφασης» (Opengon, 2012).



## 3. Παρουσίαση της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων Κορίνθου-Λουτρακίου

---

### 3.1. Γενική περιγραφή της Ε.Ε.Λ. Κορίνθου-Λουτρακίου

Η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων που θα μελετηθεί αποτελεί κοινή εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων των πόλεων του Λουτρακίου και της Κορίνθου. Μπορεί να θεωρηθεί ως δίδυμο έργο με λειτουργική αυτοτέλεια των δύο γραμμών και μόνον η επεξεργασία ιλύος γίνεται από κοινού. Τα βασικά στοιχεία της εγκατάστασης συνοψίζονται παρακάτω :

Θέση: Περιοχή Ισθμού Κορινθίας.

Εξυπηρετούμενοι οικισμοί: Οι πόλεις της Κορίνθου και του Λουτρακίου καθώς και όμορες περιοχές μέσω των βυτίων μεταφοράς βοθρολυμάτων. Συνολικός πληθυσμός κατά την απογραφή του 2011 για όλη την εξυπηρετούμενη περιοχή 38.132 κάτοικοι.

Δυναμικότητα: 90.000 ισοδύναμοι κάτοικοι (45.000 για κάθε γραμμή επεξεργασίας)

Αποδέκτης εκροής: Κορινθιακός Κόλπος.

Διάθεση λυμάτων: Μέσω υποθαλάσσιου αγωγού (χερσαίο τμήμα 2.190 m, υποθαλάσσιο τμήμα: 410 m) και διαχυτήρα μήκους 100 m

Μέθοδος δευτεροβάθμιας επεξεργασίας: Παρατεταμένος αερισμός ενεργού ιλύος, σε οξειδωτικές τάφρους, συστήματος Carrousel.

Βαθμός επεξεργασίας: Δευτεροβάθμια (βιολογική) επεξεργασία με απομάκρυνση αζώτου (νιτροποίηση και απονιτροποίηση).

Η εγκατάσταση δέχεται βοθρολύματα ενώ δε δέχεται βιομηχανικά απόβλητα.

### 3.2. Φορτία και παροχές σχεδιασμού

Η Ε.Ε.Λ. Κορίνθου Λουτρακίου έχει σχεδιασθεί και κατασκευασθεί για την επεξεργασία των λυμάτων των πόλεων της Κορίνθου και του Λουτρακίου. Μπορεί

επίσης να συνεπεξεργάζεται μέγιστη ποσότητα βοθρολυμάτων 5% της ημερήσιας παροχής εισόδου για κάθε γραμμή, αν και πρακτικά το ποσοστό αυτό αρκετές φορές ξεπερνά το 10% χωρίς να παρατηρούνται δυσλειτουργίες στο σύστημα.

Ο σχεδιασμός του έργου κάθε γραμμής (κάθε πόλης) έχει γίνει με τα δεδομένα των παρακάτω πινάκων 3 και 4.

**Πίνακας 3: Δεδομένα σχεδιασμού γραμμής Λουτρακίου**

Παράμετρος	Αρχική φάση		Επέκταση	
	Χειμερινή Περίοδος	Θερινή Περίοδος	Χειμερινή Περίοδος	Θερινή Περίοδος
Ισοδύναμος Πληθυσμός (ε.ρ.)	7.900	45.000	22.500	90.000
Ημερήσια Παροχή Λυμάτων (m <sup>3</sup> /d)	1.692	9.640	4.820	19.280
Παροχή Ωριαίας Αιχμής (m <sup>3</sup> /h)	161	918	459	1.836
BOD <sub>5</sub> (kg/d)	474	2.700	1.350	5.400
TSS (kg/d)	544	3.100	1.550	6.200
TKN (kg/d)	75	430	215	860
TP (kg/d)	27	152	76	304

**Πίνακας 4: Δεδομένα σχεδιασμού γραμμής Κορίνθου**

Παράμετρος	Αρχική φάση		Επέκταση	
	Χειμερινή Περίοδος	Θερινή Περίοδος	Χειμερινή Περίοδος	Θερινή Περίοδος
Ισοδύναμος Πληθυσμός (ε.ρ.)	36.000	45.000	67.500	90.000
Ημερήσια Παροχή Λυμάτων (m <sup>3</sup> /d)	7.712	9.640	14.460	19.280
Παροχή Ωριαίας Αιχμής (m <sup>3</sup> /h)	734	918	1.377	1.836
BOD <sub>5</sub> (kg/d)	2.160	2.700	4.050	5.400
TSS (kg/d)	2.480	3.100	4.650	6.200
TKN (kg/d)	344	430	645	860
TP (kg/d)	122	152	228	304



Σήμερα έχει κατασκευασθεί και λειτουργεί η αρχική φάση και για τις δύο γραμμές της Ε.Ε.Λ. Τα έργα προεπεξεργασίας λυμάτων, κτιριακά και έργα υποδομής έχουν κατασκευασθεί για τη μελλοντική φάση.

Η γραμμή Κορίνθου λειτουργεί από το έτος 1998 ενώ η γραμμή Λουτρακίου από το έτος 2000.

### **3.3. Στάδια επεξεργασίας**

#### **3.3.1. Σταθμός υποδοχής βοθρολυμάτων**

Η προεπεξεργασίαβοθρολυμάτων γίνεται σε κλειστό σύστημα και περιλαμβάνει:

- Εσχάρωση
- Αεριζόμενη Εξάμμωση.

Στη συνέχεια τα βοθρολύματα οδηγούνται στην είσοδο της διάταξης εξάμμωσης της Ε.Ε.Λ. (μετά το σημείο μέτρησης παροχής εισερχομένων λυμάτων δικτύων αποχέτευσης) όπου μοιράζονται στις δύο γραμμές.

#### **3.3.2. Έργα προεπεξεργασίας**

Τα έργα προεπεξεργασίας κάθε γραμμής περιλαμβάνουν:

- Εσχάρωση σε χειρωνακτικά καθαριζόμενηχονδροεσχάρα (διάκενου ράβδων 50 mm)
- Εσχάρωση σε μηχανικά καθαριζόμενη εσχάρα (Barscreenδιάκενου ράβδων 15 mm)
- Μέτρηση παροχής εισερχόμενων λυμάτων με υπερήχους σε δίαυλο Venturi
- Αεριζόμενη Εξάμμωση-Απολίπανση

Η μονάδα εξάμμωσης-απολίπανσης αποτελεί δίδυμη αεριζόμενη δεξαμενή εξάμμωσης ελικοειδούς ροής, με πλευρικούς απολιπαντές. Κάθε δεξαμενή διαθέτει ανεξάρτητη παλινδρομική γέφυρα, που φέρει αεραντλία για την αναρρόφηση του αιωρήματος νερού-άμμου και επιφανειακό σαρωτή για τη σάρωση των επιπλεόντων λιπών. Το αιώρημα νερού-άμμου τροφοδοτείται σε κοχλιωτό διαχωριστή άμμου, όπου υφίσταται διαχωρισμό, πλύση και αφυδάτωση. Ακολούθως τα λύματα υπερχειλίζουν σε φρεάτιο, από το οποίο οδηγούνται με βαρύτητα στο αντίστοιχο φρεάτιο μερισμού των βιολογικών αντιδραστήρων (Carrousel). Υπάρχει δυνατότητα εκτροπής των λυμάτων σε κοινό φρεάτιο, από το

οποίο μέρος ή το σύνολό τους, μπορεί να εκτραπεί προς το φρεάτιο εκβολής του έργου (bypass).

Τα παραγόμενα στις διάφορες μονάδες επεξεργασίας στραγγίδια συλλέγονται μέσω δικτύου αγωγών και οδηγούνται με βαρύτητα σε κοινό για τις δύο γραμμές αντλιοστάσιο, από το οποίο αντλούνται στην είσοδο των δεξαμενών εξάμμωσης.

### 3.3.3. Δευτεροβάθμια επεξεργασία

Η δευτεροβάθμια επεξεργασία κάθε γραμμής περιλαμβάνει:

- Φρεάτια επιλογής μικροοργανισμών τα οποία λειτουργούν κατ' επιλογή ως αναερόβια ή ως ανοξικά (ένα για κάθε αντιδραστήρα Carrousel)
- Βιολογικοί αντιδραστήρες πλήρους μίξης με αερόβιες και ανοξικές ζώνες (δύο Carrousel για κάθε γραμμή)
- Δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης (δύο για κάθε γραμμή)
- Αντλιοστάσια ανακυκλοφορίας λύου (ένα για κάθε δεξαμενή καθίζησης)
- Αντλιοστάσιο περίσσειας λύου (ένα για κάθε γραμμή)

Η λύς ανακυκλοφορείται από τις δεξαμενές καθίζησης στο αντλιοστάσιο περίσσειας λύου. Από εκεί ένα μέρος της αντλείται προς τους παχυντές βαρύτητας και το υπόλοιπο οδηγείται σε φρεάτιο ανάμιξης με τα εισερχόμενα προεπεξεργασμένα λύματα. Το ανάμικτο υγρό στη συνέχεια οδηγείται στην αρχή της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας, όπου εισέρχεται αρχικά σε φρεάτιο επιλογής και στη συνέχεια στο βιολογικό αντιδραστήρα (Carrousel). Η ανάμιξη στη δεξαμενή επιλογής, επιτυγχάνεται με υποβρύχιους αναδευτήρες ενώ στο βιολογικό αντιδραστήρα μέσω των επιφανειακών αεριστήρων ή και υποβρύχιων αναδευτήρων όταν απαιτείται πρόσθετη ισχύς ανάδευσης.

Κάθε δεξαμενή Carrousel, μέγιστου όγκου  $3.780 \text{ m}^3$ , είναι εφοδιασμένη με δύο επιφανειακούς αεριστήρες κατακόρυφου άξονα, έναν κύριας και έναν βοηθητικής λειτουργίας, υποβρύχιο αναδευτήρα-προωθητήρα ροής τύπου 'μπανάνας' και υπερχειλιστή εξόδου ρυθμιζόμενου ύψους. Τα λύματα εισέρχονται στη δεξαμενή από δύο σημεία τοποθετημένα πίσω ακριβώς από τους αεριστήρες.

Η ρύθμιση της παροχής οξυγόνου επιτυγχάνεται με τη λειτουργία του δεύτερου (επικουρικού)αεριστήρα και με την έμμεση μεταβολή του βάθους βύθισης των αεριστήρων στη μάζα του υγρού. Η έμμεση μεταβολή του βάθους βύθισης των αεριστήρων επιτυγχάνεται με τους υπερχειλιστές εξόδου, οι οποίοι αναλόγως με το ύψος τους ρυθμίζουν την στάθμη του υγρού στον αντιδραστήρα.

Μετά την υπερχείλιση του ανάμικτου υγρού από τη δεξαμενή βιολογικών διεργασιών, αυτό οδηγείται σε μεριστή παροχής και στη συνέχεια τροφοδοτείται στο τύμπανο ηρεμίας των δεξαμενών καθίζησης. Οι κυκλικού σχήματος δεξαμενές καθίζησης ωφέλιμου όγκου 1237 m<sup>3</sup> ανά δεξαμενή, είναι εφοδιασμένες με περιστρεφόμενους ακτινικά σαρωτές πυθμένα και επιφανείας. Το διαυγασμένο υγρό αφού υπερχειλίσει μέσω τριγωνικού υπερχειλιστή περιμετρικά της δεξαμενής, συλλέγεται από τις δύο δεξαμενές κάθε γραμμής και οδηγείται στη διάταξη απολύμανσης.

Τα επεξεργασμένα λύματα, πριν τη διάθεσή τους στον αποδέκτη, υφίστανται απολύμανση με προσθήκη διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου (NaOCl). Πριν την είσοδο στη μαιανδρική διάταξη, τα επεξεργασμένα λύματα διέρχονται από διάυλο venture για μέτρηση της παροχής. Ο μέσος χρόνος παραμονής στις μαιανδρικές δεξαμενές είναι 40 λεπτά. Στη συνέχεια, περνούν από μία διάταξη φυσικού αερισμού και οδηγούνται σε κοινό φρεάτιο και τελικά στον (κοινό) αγωγό διάθεσης.

#### **3.3.4. Επεξεργασία ιλύος**

Η επεξεργασία της παραγόμενης ιλύος είναι κοινή και για τις δύο γραμμές και περιλαμβάνει:

- Προπάχυνση, σε ανεξάρτητο ανά γραμμή παχυντή βαρύτητας, εφοδιασμένο με περιστρεφόμενο σαρωτή ιλύος
- Μηχανική Πάχυνση σε Τράπεζα Πάχυνσης
- Αφυδάτωση σε Ταινιοφιλτρόπρεσσα πλάτους 2m και μέγιστης δυναμικότητας 2 tn/hραφυδατωμένης ιλύος.

### 3.3.5. Διάθεση ιλύος και παραπροϊόντων προεπεξεργασίας λυμάτων

Η αφυδατωμένη ιλύς και τα παραπροϊόντα της προεπεξεργασίας λυμάτων και βοθρολυμάτων (εσχαρίσματα και άμμος, τα οποία συγκεντρώνονται σε κάδους, λίπη) αποθηκεύονται προσωρινά τον τελευταίο χρόνο εντός της εγκατάστασης αφού δεν επιτρέπεται πλέον η διάθεσή τους στον τοπικό ΧΑΔΑ ή ΧΥΤΑ.

## 3.4. Έλεγχος διεργασιών

### 3.4.1. Εγκατεστημένα Όργανα

Για τον έλεγχο της λειτουργίας της Ε.Ε.Λ., έχουν εγκατασταθεί τα όργανα:

- Μέτρησης παροχής των εισερχομένων λυμάτων κάθε γραμμής
- Μέτρησης παροχής των εξερχομένων λυμάτων κάθε γραμμής
- Μέτρησης παροχής ανακυκλοφορίας ιλύος από κάθε δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης
- Μέτρησης παροχής απομακρυνόμενης περίσσειας ιλύος κάθε γραμμής
- Αισθητήρια μέτρησης συγκέντρωσης αμμωνιακών στην έξοδο

### 3.4.2. Εργαστηριακές Αναλύσεις

Η εγκατάσταση διαθέτει κατάλληλα εξοπλισμένο εργαστήριο όπου γίνονται όλες οι χημικές αναλύσεις ρουτίνας για τον έλεγχο λειτουργίας και την παρακολούθηση της απόδοσης των διεργασιών. Οι μικροβιολογικές αναλύσεις γίνονται στο Εργαστήριο Ελέγχου Ποιότητας Νερού της ΔΕΥΑ Λουτρακίου – Αγίων Θεοδώρων. Εξειδικευμένες αναλύσεις γίνονται σε εξωτερικά εργαστήρια (Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας του Ε.Μ.Π., Γενικό Χημείο του Κράτους, Χημική Υπηρεσία Κορίνθου).

Ο απαιτούμενος από την Οδηγία 91/271 ελάχιστος αριθμός δειγμάτων ανά έτος για κάθε γραμμή επεξεργασίας της ΕΕΛ Κορίνθου-Λουτρακίου είναι 24 δείγματα εκροής, στα οποία πρέπει να γίνουν υποχρεωτικά 24 μετρήσεις BOD, 24 μετρήσεις COD και προαιρετικά 24 μετρήσεις TSS.

**Παράμετροι που παρακολουθούνται με εργαστηριακές αναλύσεις ρουτίνας:**

Ανεπεξέργαστα Λύματα: BOD<sub>5</sub>, COD, TSS, NH<sub>4</sub>-N, TN, TP, VOC, S<sub>2</sub>-

Επεξεργασμένα Λύματα: BOD<sub>5</sub>, COD, TSS, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, TN, TP

Ενεργός ιλύς: MLSS, MLVSS, TS, TVS, δείκτης DSVI, OUR

Αφυδατωμένη ιλύς: % D.S., %VSS

### Εξοπλισμός Εργαστηρίου

Αναλυτικός Ζυγός	Φωτόμετρο ορατού φωτός	Οξυγονόμετρο
Επωαστήρας BOD	Κλίβανος Ξήρανσης	Συσκευές αερισμού για
Επαγωγικό σύστημα	Αποτεφρωτήρας	OUR (3)
ανάδευσης (BOD)	Αντλίες κενού (2)Συσκευές	Μαγνητικοί αναδευτήρες
Μανομετρικές κεφαλές	διήθησης (2)	Αυτόματες πιππέτες και
μέτρησης BOD	Ξηραντήρας	πλήθος σκευών
Συσκευές χώνευσης (2)	Πεχάμετρα (3)	

### 3.5. Εισερχόμενα φορτία

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα εισερχόμενα φορτία για τις δύο γραμμές

Πίνακας 5: Εισερχόμενα φορτία γραμμής Λουτρακίου2012

	BOD <sub>5</sub>		COD		TSS		TN		TP	
	(mg/l)	(kg/d)	(mg/l)	(kg/d)	(mg/l)	(kg/d)	(mg/l)	(kg/d)	(mg/l)	(kg/d)
Ιανουάριος	418	947	439	996.5	129	292.7	42.3	95.9	8.8	20
Φεβρουάριος	387	857	568	1258	209	464	44.3	98	7.4	17
Μάρτιος	387	879	568	1290	209	476	44.3	101	7.4	17
Απρίλιος	320	842	443	1164	229	603	58.5	154	9.5	25
Μάιος	360	919	507	1295	173	442	34	87	7,6	19,4
Ιούνιος	410	1147	595	1664	274	767	39	109	7,2	20
Ιούλιος	300	1026	440	1503	152	520	35,5	121	10,3	35,1
Αύγουστος	300	1114	459	1705	157	583	46	171	9,2	34,2
Σεπτέμβριος	240	739	366	1126	165	508	36,5	112	8,1	25
Οκτώβριος	240	652	421	1143	146	396	33	90	7	19
Νοέμβριος	247	611	410	1015	203	504	45,5	113	7	17
Δεκέμβριος	280	745	422	1124	202	538	40	105	7,2	19
<b>Μ.Ο.</b>	<b>324,1</b>	<b>873,2</b>	<b>469,8</b>	<b>1298,8</b>	<b>187,3</b>	<b>527,4</b>	<b>38,7</b>	<b>114,6</b>	<b>8,0</b>	<b>22,3</b>

Πίνακας 6: Εισερχόμενα φορτία γραμμής Κορίνθου 2012

	BOD <sub>5</sub>		COD		TSS		TN		TP	
	(mg/l)	(kg/d)	(mg/l)	(kg/d)	(mg/l)	(kg/d)	(mg/l)	(kg/d)	(mg/l)	(kg/d)
Ιανουάριος	498	1727	537	1866	203	706	53	185	8,8	31
Φεβρουάριος	393	1400	744	2650	205	729	61	217	8,5	30,3
Μάρτιος	393	1400	744	2650	205	729	61	217	8,5	30,3
Απρίλιος	467	1648	781	2758	351	1240	65,5	231	12,5	44
Μάιος	430	1627	626	2369	193	730	53	201	6,4	24,2
Ιούνιος	440	1540	707	2474	210	735	89	311	13	44
Ιούλιος	410	1450	508	1794	166	587	55	194	9,3	33
Αύγουστος	380	1322	368	1280	140	487	80	278	8	28
Σεπτέμβριος	390	1384	679	2407	231	820	79,5	282	13,4	47,4
Οκτώβριος	280	1003	481	1723	88	315	61	219	10,2	36
Νοέμβριος	307	1071	729	2546	205	714	82,3	288	10,6	37
Δεκέμβριος	393	1313	744	2483	256	855	66	219	10,6	219
<b>Μ.Ο.</b>	<b>398,4</b>	<b>1407,1</b>	<b>637,3</b>	<b>2250,0</b>	<b>204,4</b>	<b>720,6</b>	<b>67,2</b>	<b>236,8</b>	<b>10,4</b>	<b>54,4</b>

Πίνακας 7: Συνολικά εισερχόμενα φορτία της εγκατάστασης

	BOD <sub>5</sub>	COD	TSS	TN	TP
	(kg/d)	(kg/d)	(kg/d)	(kg/d)	(kg/d)
Ιανουάριος	2674	2862,5	998,7	280,9	51
Φεβρουάριος	2257	3908	1193	315	47,3
Μάρτιος	2279	3940	1205	318	47,3
Απρίλιος	2490	3922	1843	385	69
Μάιος	2546	3664	1172	288	43,6
Ιούνιος	2687	4138	1502	420	64
Ιούλιος	2476	3297	1107	315	68,1
Αύγουστος	2436	2985	1070	449	62,2
Σεπτέμβριος	2123	3533	1328	394	72,4
Οκτώβριος	1655	2866	711	309	55
Νοέμβριος	1682	3561	1218	401	54
Δεκέμβριος	2058	3607	1393	324	238
<b>Μέσος όρος</b>	<b>2280</b>	<b>3524</b>	<b>1228</b>	<b>350</b>	<b>73</b>
<b>Ετήσια Ποσότητα (tn/έτος)</b>	<b>832</b>	<b>1286</b>	<b>448</b>	<b>128</b>	<b>27</b>

### 3.6. Ποιότητα εκροής

Οι όροι και οι προϋποθέσεις λειτουργίας και παροχέτευσης λυμάτων και υλός καθορίζονται στην υπ' αριθμόν Α.Π. 104436 22-05-2008 απόφαση έγκρισης περιβαλλοντικών όρων, που έχουν εκδοθεί για την κοινή Ε.Ε.Λ. Κορίνθου-Λουτρακίου, όπως αυτή τροποποιήθηκε και ανανεώθηκε με την Α.Π. 294458 25-10-2011.

**Πίνακας 8: Όρια παραμέτρων ποιότητας επεξεργασμένων λυμάτων**

Μέγιστη Παραμέτρου	Συγκέντρωση	Οδηγία 91/271/ΕΟΚ, Κανονικοί αποδέκτες	Οδηγία 91/271/ΕΟΚ, Ευαίσθητοι αποδέκτες	Απόφαση Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων
<b>BOD<sub>5</sub> (mg/l)</b>		25	25	< 25
<b>COD (mg/l)</b>		125	125	<125
<b>TSS (mg/l)</b>		35	35	<35
<b>TN (mg/l)</b>		Δεν εφαρμόζεται	15	Δεν εφαρμόζεται
<b>TP (mg/l)</b>		Δεν εφαρμόζεται	2	Δεν εφαρμόζεται
<b>NH<sub>4</sub>-N (mg/l)</b>		Δεν εφαρμόζεται	Δεν εφαρμόζεται	≤ 2,0

Αποδέκτης των επεξεργασμένων λυμάτων της ΕΕΛ είναι ο Κορινθιακός Κόλπος, ο οποίος κατατάσσεται στους κανονικούς αποδέκτες σύμφωνα με την ΚΥΑ 19661/1982/99 (ΦΕΚ 1811Β/29-9-1999) και επομένως, τα όρια με τα οποία πρέπει να υπάρχει συμμόρφωση με βάση την οδηγία 91/271/ΕΟΚ, είναι αυτά που αναφέρονται στην πρώτη στήλη δηλαδή: BOD<sub>5</sub>< 25 mg/l, COD< 125 mg/l, και TSS< 35 mg/l (προαιρετική σύμφωνα με την οδηγία). Από τον παραπάνω πίνακα των ορίων των παραμέτρων ποιότητας των επεξεργασμένων λυμάτων της Ε.Ε.Λ. Κορίνθου - Λουτρακίου συνάγεται ότι τα όρια των Περιβαλλοντικών Όρων είναι τα ίδια με αυτά που θέτει η Οδηγία 91/271/ ΕΟΚ με επιπλέον παράμετρο το αμμωνιακό άζωτο (με όριο 2 mg/l). Εκτός από τις παραμέτρους εκροής για τις οποίες είναι υποχρεωτικός ο έλεγχος σύμφωνα με την οδηγία 91/271/ΕΟΚ, δηλαδή τις παραμέτρους BOD<sub>5</sub>, COD και TSS παρακολουθούνται οι συγκεντρώσεις των NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, TN και TP. Η σύγκριση των μέσων μηνιαίων τιμών των παραμέτρων εκροής, που παρακολουθούνται και στις δύο γραμμές της Ε.Ε.Λ., με τα όρια που

θέτουν η οδηγία 91/271/ΕΟΚ για κανονικό αποδέκτη (Κορινθιακός) και οι Περιβαλλοντικοί Όροι (πίνακας 8) αποδεικνύει ότι τα όρια της Οδηγίας τηρούνται και για τις δύο γραμμές της Ε.Ε.Λ.

**Πίνακας 9: Τιμές παραμέτρων και φορτία εκροής γραμμής Λουτρακίου 2012**

	BOD <sub>5</sub>		COD		TSS		TN		TP	
	(mg/l)	(kg/d)	(mg/l)	(kg/d)	(mg/l)	(kg/d)	(mg/l)	(kg/d)	(mg/l)	(kg/d)
Ιανουάριος	11,1	18	15	24	5	8	4,1	7	6,9	11
Φεβρουάριος	3,7	6	21	34	7	11	1,6	3	2,9	5
Μάρτιος	3,7	6	21	36	7	12	1,6	3	2,9	5
Απρίλιος	5,0	11	46	102	16	35	3,1	7	8,8	19
Μάιος	9,3	20	44	94	12	26	2,6	6	6,3	13
Ιούνιος	10,5	21	39	78	34	68	2,1	4	6,2	12
Ιούλιος	10,0	26	55	143	30	79	6,5	17	7,0	18
Αύγουστος	10,5	32	37	112	23	70	10,5	32	9,5	29
Σεπτέμβριος	11,0	26	38	91	31	75	8,9	21	14,0	34
Οκτώβριος	9,0	19	34	70	13	27	13,0	27	9,8	20
Νοέμβριος	4,3	9	57	113	36	72	16,3	32	8,6	17
Δεκέμβριος	7,0	15	71	149	17	36	16,4	34	7,4	15
<b>Μ.Ο.</b>	<b>7,9</b>	<b>17,4</b>	<b>39,8</b>	<b>87,2</b>	<b>19,3</b>	<b>43,3</b>	<b>7,2</b>	<b>16,1</b>	<b>7,5</b>	<b>16,5</b>

**Πίνακας 10: Τιμές παραμέτρων και φορτία εκροής γραμμής Κορίνθου 2012**

	BOD <sub>5</sub>		COD		TSS		TN		TP	
	(mg/l)	(kg/d)	(mg/l)	(kg/d)	(mg/l)	(kg/d)	(mg/l)	(kg/d)	(mg/l)	(kg/d)
Ιανουάριος	12,4	40	22	70	5	15	4,3	14	3,5	11
Φεβρουάριος	3,8	13	23	78	7	15	5,2	18	3,3	11
Μάρτιος	3,8	13	23	78	7	15	5,2	18	3,3	11
Απρίλιος	9,7	32	51	167	33	106	4,1	13	11,8	38
Μάιος	4,9	16	42	142	12	48	2,4	8	4,0	13
Ιούνιος	11,0	34	76	236	34	105	5,4	17	13,4	42
Ιούλιος	8,0	25	38	116	30	93	2,2	7	6,1	19
Αύγουστος	7,0	22	32	100	23	72	2,5	8	9,4	29
Σεπτέμβριος	16,0	52	71	231	31	189	8,9	29	7,0	23
Οκτώβριος	10,0	32	47	152	13	40	2,8	9	2,9	9
Νοέμβριος	4,3	14	60	189	36	113	17,6	55	8,3	26
Δεκέμβριος	3,5	12	52	177	17	58	20,3	70	7,4	25
<b>Μ.Ο.</b>	<b>7,9</b>	<b>25,4</b>	<b>44,8</b>	<b>144,7</b>	<b>20,7</b>	<b>72,4</b>	<b>6,7</b>	<b>22,2</b>	<b>6,7</b>	<b>21,4</b>



**Πίνακας 11: Συνολικά εξερχόμενα φορτία (εκτός ιλύος και άμμου)**

	<b>BOD<sub>5</sub></b>	<b>COD</b>	<b>TSS</b>	<b>TN</b>	<b>TP</b>
	(kg/d)	(kg/d)	(kg/d)	(kg/d)	(kg/d)
<b>Ιανουάριος</b>	58	94	23	21	22
<b>Φεβρουάριος</b>	19	112	26	21	16
<b>Μάρτιος</b>	19	114	27	21	16
<b>Απρίλιος</b>	43	269	141	20	57
<b>Μάιος</b>	36	236	74	14	26
<b>Ιούνιος</b>	55	314	173	21	54
<b>Ιούλιος</b>	51	259	172	24	37
<b>Αύγουστος</b>	54	212	142	40	58
<b>Σεπτέμβριος</b>	78	322	264	50	57
<b>Οκτώβριος</b>	51	222	67	36	29
<b>Νοέμβριος</b>	23	302	185	87	43
<b>Δεκέμβριος</b>	27	326	94	104	40
<b>Μέσος όρος</b>	43	232	116	38	38
<b>Ετήσιο Ποσότητα (tn/έτος)</b>	<b>16</b>	<b>85</b>	<b>42</b>	<b>14</b>	<b>14</b>

- Συγκέντρωση BOD

Οι μέσες μηνιαίες τιμές εκροής καλύπτουν το όριο των 25 mg/l για το σύνολο του 2012 και για τις δύο γραμμές λειτουργίας.

- Συγκέντρωση COD

Οι μέσες μηνιαίες τιμές εκροής καλύπτουν το όριο των 125 mg/l για το σύνολο του 2012 και για τις δύο γραμμές λειτουργίας.

- Συγκέντρωση TSS(προαιρετική παράμετρος)

Οι μέσες μηνιαίες τιμές εκροής καλύπτουν σε γενικές γραμμές το όριο των 35 mg/l για το σύνολο του 2012 και για τις δύο γραμμές λειτουργίας.

- Συγκέντρωση NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

Οι μέσες μηνιαίες τιμές εκροής καλύπτουν σε γενικές γραμμές το όριο των 2 mg/l των Περιβαλλοντικών Όρων για το σύνολο του 2012.

- Συγκέντρωση ολικού N

Σημειώνεται ότι ο ετήσιος μέσος όρος και για τις δύο γραμμές της εγκατάστασης καλύπτει το όριο της Οδηγίας 91/271/ΕΟΚ (Παράρτημα Ι., Παράγραφος Δ.4.γ) για ευαίσθητο αποδέκτη (είναι μικρότερος από 15 mg/l).

- Συγκέντρωση ολικού Ρ

Ο ετήσιος μέσος όρος και για τις δύο γραμμές της εγκατάστασης καλύπτει το όριο των 10 mg/l για ευαίσθητους αποδέκτες.

### 3.7. Παραγωγή και επεξεργασία ιλύος

Θεωρώντας ότι κάθε άνθρωπος παράγει 60 gr BOD/ lt-day και σύμφωνα με το εισερχόμενο φορτίο, όπως προκύπτει από τον Πίνακα 7, ο ισοδύναμος πληθυσμός που εξυπηρετεί η εγκατάσταση είναι :

$$I.Π. = \frac{2280 \frac{kgBOD}{\eta\mu\epsilon\rho\alpha}}{0,06 \frac{kgBOD}{I.Π.-\eta\mu\epsilon\rho\alpha}} = 38000$$

Θωρώντας ότι η παραγωγή ιλύος ανέρχεται σε 20 tn DS/ 1000l.K.(Bruce et al., 1983) η παραγόμενη ποσότητα ιλύος θα έπρεπε να είναι 760 tn DS.

Η ιλύς της ανακυκλοφορίας έχει συγκέντρωση στερεών της τάξεως του 1 ~ 1,4 % . Μέρος της παροχής ανακυκλοφορίας οδηγείται προς τους παχυντές βαρύτητας όπου η συγκέντρωση στερεών αυξάνει σε 1,8~2,2 % . Στη συνέχεια η παχυμένη ιλύς αντλείται προς την τράπεζα πάχυνσης αφού αναμιχθεί με το διάλυμα πολυηλεκτρολύτη και εξέρχεται από την τράπεζα με συγκέντρωση στερεών της τάξεως 5~7%. Στη συνέχεια, ο ιλύς οδηγείται στην ταινιοφιλτρόπρεσσα, η οποία αυξάνει τη συγκέντρωση στερεών σε 10~13% ενώ ορισμένες φορές έχει αγγίξει και το 16%.

### 3.8. Έλεγχος Λοιπών Παραμέτρων

Εκτός από τις παραμέτρους ποιότητας των επεξεργασμένων λυμάτων, στο εργαστήριο της εγκατάστασης γίνονται τακτικά μετρήσεις για τον έλεγχο των διεργασιών σε διάφορα σημεία της εγκατάστασης. Ειδικότερα, γίνονται μετρήσεις των συγκεντρώσεων αιωρούμενων στερεών (MLSS), πτητικών αιωρούμενων στερεών (MLVSS), ολικών στερεών (TS) και ολικών πτητικών στερεών (TVS) του

ανάμικτου υγρού, του δείκτη καθιζησιμότητας ιλύος (DSVI), της συγκέντρωσης στερεών (TS, DS) της βαρυτικά παχυμένης ιλύος, της μηχανικά παχυμένης ιλύος, της αφυδατωμένης ιλύος και όταν απαιτείται, της ταχύτητας καθιζησιμότητας και του ρυθμού κατανάλωσης οξυγόνου (OUR).

Επιπλέον, γίνονται τακτικοί έλεγχοι παραμέτρων ποιότητας για τα ανεπεξέργαστα λύματα ώστε να είναι μεταξύ άλλων δυνατός και ο υπολογισμός της απόδοσης ως προς τις διάφορες παραμέτρους.

### **3.9. Παρακολούθηση ποιότητας αποδέκτη**

Παρακολούθηση της ποιότητας αποδέκτη γίνεται:

- Κατά το διεθνές πρόγραμμα παρακολούθησης ποιότητας υδάτων κολύμβησης «Γαλάζιες Σημαίες» φορέας του οποίου είναι το ΥΠΕΚΑ. Οι παράμετροι που παρακολουθούνται είναι αυτές που καθορίζει η Οδηγία 76/160/ΕΟΚ (και η μεταγενέστερη Υ.Α. 46399/1352/86) για την ποιότητα υδάτων κολύμβησης, ενώ η παρακολούθηση γίνεται κατά την κολυμβητική περίοδο του έτους (Μάιος-Οκτώβριος). Παρακολούθηση των υδάτων γίνεται σε έξι σημεία της παραλίας της πόλης του Λουτρακίου από το 1993, και δύο σημεία της παραλίας της πόλης της Κορίνθου, από το 2000.

Από την Δ.Ε.Υ.Α Λουτρακίου-Περαχώρας και κατά την κολυμβητική περίοδο του έτους 2007 (από τον Απρίλιο 2007), διενεργείται πρόγραμμα δειγματοληψιών, εκτιμήσεων και μικροβιολογικών αναλύσεων υδάτων ως προς τις παραμέτρους της παραπάνω αναφερόμενης οδηγίας, σε συνολικά οκτώ σημεία: στο σημείο εκβολής της Ε.Ε.Λ., στην πλησιέστερη στο σημείο εκβολής παραλία (περιοχή Ποσειδωνίας) και στα έξι σημεία της παραλίας της πόλης του Λουτρακίου τα οποία ελέγχονται και από το πρόγραμμα «Γαλάζιες Σημαίες»

Τα αποτελέσματα και των δύο προγραμμάτων δείχνουν ότι τα συνιστώμενα (σαφώς αυστηρότερα των επιβαλλόμενων) όρια της παραπάνω αναφερόμενης οδηγίας τηρούνται ικανοποιητικά σε όλα τα σημεία ελέγχου.

Μάλιστα από το 2012 πραγματοποιούνται μικροβιολογικές αναλύσεις στο σημείο εκβολής του υποθαλάσσιου αγωγού σε βάθος 30 cm και 100 cm με σχεδόν μηδενικά αποτελέσματα και στα δυο βάθη.

## 4. Μελέτη μεθόδων διαχείρισης της ιλύος της ΕΕΛ Κορίνθου - Λουτρακίου

---

### 4.1. Μέθοδοι διαχείρισης πριν την αφυδάτωση

Πριν προχωρήσουμε στη μελέτη και τεχνοοικονομική ανάλυση των μεθόδων διαχείρισης της ιλύος, θα γίνει μία επισκόπηση των δυνατοτήτων διαχείρισης της ιλύος πριν την αφυδάτωση. Στόχος αυτής της διαχείρισης είναι η κατά το δυνατόν μείωση της τελικής παραγόμενης ποσότητας αφυδατωμένης ιλύος.

#### 4.1.1. Μείωση της παραγόμενης ιλύος μέσα στο βιολογικό αντιδραστήρα

Η ΕΕΛ Κορίνθου-Λουτρακίου είναι σχεδιασμένη για την απομάκρυνση εκτός από οργανικού άνθρακα και ολικού αζώτου. Επιτυγχάνοντας σχεδόν πλήρης νιτροποίηση-απονιτροποίηση, επιτυγχάνει αποδόσεις απομάκρυνσης αζώτου άνω του 90%. Επιτυγχάνει, επίσης, απομάκρυνση φωσφόρου της τάξεως του 20-50%. Η εγκατάσταση λειτουργεί ήδη με μεγάλους χρόνους παραμονής και δεν υπάρχουν παρά μόνο μικρά περιθώρια για περαιτέρω αύξησή τους. Επίσης είναι χαρακτηριστικό ότι για μείωση της μέσης συγκέντρωσης στερεών, και συνεπώς του χρόνου παραμονής και των δύο γραμμών από 9197 mg/l σε 6185 mg/l, είχαμε μείωση της ενεργειακής απαίτησης ανά κιλό εισερχόμενου φορτίου BOD κατά 25%. Επομένως, η τεχνική της απομάκρυνσης θρεπτικών εφαρμόζεται ήδη, ενώ είναι πρακτικά ανέφικτο να αυξηθεί ήδη υψηλός χρόνος παραμονής.

Για τη συγκεκριμένη εγκατάσταση θα μπορούσαν να εφαρμοσθούν τεχνικές για τη διαλυτοποίηση του οργανικού κλάσματος, για τις οποίες όμως θα πρέπει να εξετασθεί το κόστος λειτουργίας τους. Όσον αφορά την αποσύνδεση του μεταβολισμού, αυτή δεν έχει χρησιμοποιηθεί σε εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας και θα πρέπει να διερευνηθεί τόσο το κόστος της όσο και η επίδραση των χημικών που χρησιμοποιούνται. Μία λύση η οποία έχει εφαρμοσθεί σε πραγματικές συνθήκες και είναι πολλά υποσχόμενη είναι η χρήση υπερήχων. Μία τέτοια λύση θα

μπορούσε να εφαρμοσθεί στη συγκεκριμένη εγκατάσταση χωρίς να απαιτούνται ιδιαίτερες τροποποιήσεις της υπάρχουσας διάταξης.

#### 4.1.2. Σταθεροποίηση ιλύος

Οι βιολογικοί αντιδραστήρες της ΕΕΛ Κ-Λ είναι παρατεταμένου αερισμού με χρόνους παραμονής μεγαλύτερους των 20 ημερών επιτυγχάνοντας τιμή ενδογενούς ζήτησης οξυγόνου (OUR) της τάξεως 2-3 mg O<sub>2</sub>/g MLSS /hr, τιμές σημαντικά μικρότερες από 5 mg O<sub>2</sub>/g MLSS /hr. Επομένως, η ιλύς της ΕΕΛ που εξετάζεται, μπορεί να θεωρηθεί επαρκώς σταθεροποιημένη. Όσον αφορά τις υπόλοιπες μεθόδους προεπεξεργασίας της ιλύος, τόσο συμβατικές όσο και προχωρημένες, απαιτούν σημαντικές αλλαγές στην υπάρχουσα διάταξη με την κατασκευή επιπλέον υποδομών και την προμήθεια εξειδικευμένου εξοπλισμού. Συνεπώς, δεν είναι εύκολο να εφαρμοσθούν, ενώ τυχόν εφαρμογή τους θα πρέπει να διερευνηθεί μέσα από μία σχετική τεχνοοικονομική ανάλυση.

#### 4.1.3. Αφυδάτωση ιλύος

Στην εγκατάσταση της περίπτωσης που μελετάται λειτουργούν δύο παχυντές βαρύτητας, μία τράπεζα πάχυνσης και μία ταινιοφιλτρόπρεσσα. Η απόδοση της διάταξης αφυδάτωσης είναι εξαιρετικά χαμηλή αφού τα στερεά της αφυδατωμένης ιλύος έχουν κατά μέσο όρο συγκέντρωση στερεών 13%. Η χαμηλή απόδοση της διάταξης οφείλεται στην ταινιοφιλτρόπρεσσα, αφού η ιλύς εξέρχεται από τους παχυντές με DS 2% και από την τράπεζα πάχυνσης με DS 5-7%. Επομένως, συμπεραίνεται, ότι η βελτίωση της απόδοσης της αφυδάτωσης είναι απαραίτητη πριν προχωρήσουμε σε επεξεργασία της αφυδατωμένης ιλύος. Υπάρχει, ήδη, σχεδιασμός για αντικατάσταση της ταινιοφιλτρόπρεσσας με φυγόκεντρο, ώστε να αυξηθούν τα στερεά της ιλύος άνω του 22% . Επίσης, γίνονται προσπάθειες αύξησης της απόδοσης της ταινιοφιλτρόπρεσσας με αλλαγή των ρυθμίσεων και τροποποιήσεις στο μηχανισμό της. Η μέγιστη συγκέντρωση στερεών που έχει επιτευχθεί για μικρό ωστόσο χρονικό διάστημα ήταν 15,5%. Επειδή το πρόβλημα της μειωμένης απόδοσης της αφυδάτωσης απασχολεί ελάχιστες εγκαταστάσεις και γενικά υπάρχουν λύσεις δε θα γίνει περαιτέρω ανάλυση του στην παρούσα εργασία.

#### 4.2. Στοιχεία αφυδατωμένης ιλύος

Η παραγόμενη από μία συμβατική εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων ιλύς, ανέρχεται σε περίπου 20 tn DS το χρόνο ανά 1.000 άτομα εξυπηρετούμενου ισοδύναμου πληθυσμού (Bruce et al., 1983). Συνεπώς, με βάση το εισερχόμενο φορτίο BOD υπολογίζονται οι ισοδύναμοι κάτοικοι και στη συνέχεια η αναμενόμενη ποσότητα ιλύος.

Στον Πίνακα 12 παρουσιάζονται η συγκέντρωση στερεών της ιλύος (ως μέσος όρος μετρήσεων του έτους), η αφυδατωμένη ιλύς που απομακρύνθηκε σύμφωνα με τα σχετικά δελτία αποστολής (σε τόνους), η ξηρά ιλύς όπως αυτή προκύπτει από τον σχετικό υπολογισμό, (σε τόνους DS) και τέλος δύο στήλες για τον υπολογισμό της θεωρητικά αναμενόμενης παραγωγής ιλύος με βάση του ισοδύναμους κατοίκους (tn DS/ I.K.). Οι ισοδύναμοι κάτοικοι υπολογίζονται, σύμφωνα με τον ορισμό της οδηγίας 271/91, ως το μέσο ημερήσιο φορτίο BOD που δέχεται η εγκατάσταση προς 60 gr/I.K. – ημέρα

Το έτος 2010 η απομάκρυνση ιλύος γινόταν σύμφωνα με τις ανάγκες της εγκατάστασης ενώ τα έτη 2011 και 2012 η ποσότητα που απομακρύνθηκε ήταν σημαντικά μειωμένη καθώς υπήρχαν σοβαρά προβλήματα διάθεσης. Παρατηρούμε ότι για το έτος 2010 η ποσότητα της παραγόμενης ιλύος είναι σημαντικά μικρότερη από την αντίστοιχη θεωρητικά υπολογιζόμενη.

**Πίνακας 12: Παραγωγή ιλύος στη ΕΕΛ Κ-Λ**

Έτος	Στερεά (% DS)	Υγρή ιλύς (tn , 13% DS)	Ξηρά ιλύς (tn, 100% DS)	I.K. *	tn DS/ 1000 I.K.	tn DS κατά Bruce
2010	12,42	6720	835	50293	16,60	1006
2011	12,66	5500	696	49208	14,14	984
2012	13	3423	445	38000	11,71	760

\*Θεωρώντας ότι ένας ισοδύναμος κάτοικος παράγει 60 gr BOD I.K. / ημέρα

Για τους υπολογισμούς θα θεωρηθεί ετήσια παραγωγή αφυδατωμένης ιλύος **7.500 τόνοι** (η παραγωγή του 2010 προσαυξημένη κατά ένα συντελεστή ασφαλείας 11,6%) με περιεκτικότητα στερεών **13%** ή ισοδύναμα **975 τόνοι DS**. Η ημερήσια παραγωγή υπολογίζεται σε 30 τόνους αφυδατωμένης ιλύος ανά ημέρα για λειτουργία 15 ωρών και υπολογίζεται όπως φαίνεται παρακάτω:

$$\text{ημερήσια παραγωγή ιλύος} = \frac{7500 \text{ tn/έτος}}{251 \text{ εργάσιμες ημέρες/έτος}} = 29,88 \frac{\text{tn}}{\text{ημέρα}} \cong \frac{30 \text{tn}}{\text{ημέρα}}$$

Η τελευταία ανάλυση ιλύος έγινε το 2007 από το Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας του ΕΜΠ (Πίνακας 13). Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων της ιλύος είναι εντός των ορίων του Παραρτήματος ΙΒ της ΚΥΑ 80568/4225/22.03.1991 όσο και του παραρτήματος Ι της υπό ψήφιση νέας ΚΥΑ, όπου προσδιορίζονται οι μέθοδοι, οι όροι και οι περιορισμοί για τη χρησιμοποίηση στη γεωργία της ιλύος που προέρχεται από επεξεργασία αστικών λυμάτων. Στο σχέδιο για τη νέα ΚΥΑ προσδιορίζονται και όρια για μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις οργανικών ουσιών, οι οποίες ωστόσο δεν έχουν μετρηθεί για την ιλύ της περίπτωσης που μελετάται.



Πίνακας 13: Ανάλυση ιλύος ΕΕΛ Κ-Λ (ΕΥΤ ΕΜΠ , 2007)

ΕΤΟΣ	Τελική παραγόμενη ιλύς προς διάθεση			Περιεκτικότητα (*) σε βαρέα μέταλλα και άλλες παραμέτρους (να προσδιοριστούν οι μονάδες μέτρησης για κάθε περίπτωση, π.χ. : mg/kg)											
	Ποσότητα (tn/έτος)	Περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία: ποσότητα (tn/έτος) ποσοστό (%)	Υγρασία ποσοστό (%)	Cr(**) (Ολικό)	Pb	Ni	Cd	Cu	Hg	Zn	Ολικό N	Ολικός P	TS	VS	
			Cr III	Cr VI											
					Μονάδα: mg/kg ξηρής ιλύος							Μονάδα: mg/gr υγρής ιλύος		(%)	(%)
2012	3423	445 13%	87,00												
2007				56,18	119,62	48,02	0,73	437,17	1,63	1.329,7	8,24	1,72	12,44	9,25	
	Οδηγία 86/278/EEC ΚΥΑ 80568/4225/22.03.1991				750- 1200	300- 400	20- 40	1000- 1750	16- 25	2500- 4000					

### 4.3. Μέθοδοι ξήρανσης και υγειονοποίησης ιλύος κατάλληλοι για την

#### ΕΕΛ Κ-Λ

Για την ΕΕΛ Κορίνθου-Λουτρακίου θα μελετηθούν οι παρακάτω μέθοδοι επεξεργασίας μετά την αφυδάτωση, οι οποίες κατηγοριοποιήθηκαν σύμφωνα με το σχέδιο της νέας ΚΥΑ για την επαναχρησιμοποίηση της ιλύος σε προχωρημένες και συμβατικές. Η επιλογή των κατωτέρω μεθόδων έγινε με βάση την ευκολία εφαρμογής τους, την ύπαρξη ανάλογης εμπειρίας δοκιμαστικών ή πλήρους κλίμακας εφαρμογών στον ελλαδικό χώρο, τη δυνατότητα παραγωγής του εξοπλισμού στην Ελλάδα, τη δυνατότητα χωροθέτησής τους εντός της ΕΕΛ και τη δυνατότητα αξιοποίησης του τελικού προϊόντος.

#### Προχωρημένες Μέθοδοι Επεξεργασίας

- Θερμική ξήρανση με τεχνολογία περιστρεφόμενου τυμπάνου και καυστήρα βιομάζας-ιλύος - ελληνικής τεχνολογίας ( AKDRY της Α. Κουτσούκος Α.Ε.)
- Ξήρανση με ακτινοβολία της ιλύος με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία
- Ασβεστοποίηση με ανύψωση του pH του μείγματος σε τιμές μεγαλύτερες του 12 και διατήρηση του σε αυτήν την τιμή για διάστημα τουλάχιστον 3 μηνών.

#### Συμβατικές Μέθοδοι Επεξεργασίας

- Ηλιακή ξήρανση σε θερμοκήπιο με χρήση του οχήματος Δαίδαλος
- Κομποστοποίηση με χρήση κινούμενου αναστροφέα και προσθήκη διογκωτικών υλικών
- Παρατεταμένος αερισμός με χρόνο παραμονής μεγαλύτερο από 20 ημέρες και βιολογική ξήρανση εντός θερμοκηπίου με χρήση κινούμενου αναστροφέα
- Παρατεταμένος αερισμός με χρόνο παραμονής μεγαλύτερο από 20 ημέρες και προσθήκη ασβέστη για ανύψωση του pH στην τιμή 12 ή μεγαλύτερη

- Παρατεταμένος αερισμός με χρόνο παραμονής μεγαλύτερο από 20 ημέρες και ανάμιξη με χώμα
- Παρατεταμένος αερισμός με χρόνο παραμονής μεγαλύτερο από 20 ημέρες και διάθεση (μηδενική λύση)



**Εικόνα 1: Δορυφορική εικόνα της ΕΕΛ Κορίνθου-Λουτρακίου όπου διακρίνονται οι διαθέσιμες εκτάσεις εντός αυτής. Κόκκινη : 6500-7000 m<sup>2</sup>, Μωβ: 1.100 m<sup>2</sup>, Μπλέ : 350 m<sup>2</sup>**

#### 4.4. Προχωρημένες Μέθοδοι Επεξεργασίας

##### 4.4.1. Θερμική Ξήρανση

Υπάρχουν αρκετές διαφορετικές τεχνολογίες για τη θερμική ξήρανση της ιλύος. Όλες βασίζονται στη θέρμανση της ιλύος, είτε άμεσα είτε έμμεσα, με την κατανάλωση κάποιου καυσίμου ως πηγή ενέργειας, γεγονός που καθιστά αυτές τις μεθόδους ασύμφωρες. Ωστόσο, το μειονέκτημα αυτό αντισταθμίζεται συνήθως από το πλεονέκτημα της εξαιρετικά μικρής έκτασης που καταλαμβάνουν και της εξαιρετικής ποιότητας του τελικού προϊόντος. Κάποιες τεχνολογίες προκειμένου να μειώσουν το υψηλό λειτουργικό κόστος της κατανάλωσης καυσίμων, αξιοποιούν ως καύσιμο την ίδια την ιλύ.



Εικόνα 2 : Η ελληνικής κατασκευής διάταξη 'AKDRY' της εταιρείας Αθανάσιος Κουτσούκος Α.Ε.

Μία τέτοια διάταξη θα μελετήσουμε για την περίπτωση της ΕΕΛ Κ-Λ. Η μέθοδος συνίσταται στη θερμική ξήρανση της αφυδατωμένης ιλύος σε ξηραντήρα τύπου περιστρεφόμενου τυμπάνου, με αξιοποίηση της παραγόμενης ιλύος ως καυσίμου

και συμπλήρωση της τυχόν πρόσθετης απαραίτητης ποσότητας καυσίμου με βιομάζα καλής ποιότητας. Αντίστοιχες μονάδες κατασκευάζονται από μεγάλους οίκους του εξωτερικού και κοστίζουν αρκετά εκατομμύρια ευρώ. Για την περίπτωση μας θα μελετήσουμε την χρήση μίας, σχετικά απλής, ελληνικού σχεδιασμού και κατασκευής εγκατάστασης η οποία έχει δοκιμαστεί για την επεξεργασία άλλων παρομοίων παραπροϊόντων με πολύ καλά αποτελέσματα. Η μονάδα περιλαμβάνει και όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό για την ελαχιστοποίηση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης.

Η συγκέντρωση στερεών της ιλύος στην έξοδο της διάταξης ανέρχεται σε 90%. Η τελική μάζα ιλύος προς διάθεση μετά την ξήρανση θα είναι :

$$7500 * 13\% = X * 90\% \Rightarrow X = \frac{7500 * 13\%}{90\%} \cong 1083 \frac{\text{tn ιλύος } 90\%DS}{\text{έτος}}$$

Επειδή όμως θα θεωρήσουμε ότι όλη η παραγόμενη ξηραμένη ιλύς χρησιμοποιείται ως καύσιμο και καίγεται, η τελική ποσότητα θα αποτελείται μόνο από την τέφρα. Θεωρώντας ότι η τέφρα αποτελεί μάζα ίση με 15% της αρχικής (FHWA,2012) τότε η τελική ποσότητα προς διάθεση θα είναι :

$$7500 * 13\% * 15\% = 146,25 \frac{\text{τόνοι τέφρας}}{\text{έτος}}$$

Η δυναμικότητα της εγκατάστασης αγγίζει τους 2 τόνους υγρής ιλύος ανά ώρα (290 κιλά DS/hr) ενώ για να καλυφθεί η ημερήσια παραγωγή θεωρούμε 15 ώρες λειτουργίας της μονάδας.

Ημερησία Παραγωγή:

$$30 \frac{\text{tn αφυδατωμένης ιλύος}}{\text{ημέρα}} \Rightarrow \text{Ξηραμένη Ιλύς} = 30 \frac{\text{tn}}{\text{ημέρα}} * \frac{13\% DS}{90\% DS} = 4,33 \frac{\text{tn}}{\text{ημέρα}}$$

Κατά την ξήρανση πρέπει να αφαιρεθούν

$$0,9 - 0,13 = 0,77 \frac{\text{tn } H_2O}{\text{tn υγρής ιλύος}}$$

Για την εξάτμιση νερού 20 °C απαιτείται ενέργεια ίση με:

Απαιτούμενη Ενέργεια = (Ειδική Θερμότητα × Μεταβολή Θεοκρασίας) + Λανθάνουσα Ενέργεια

Θεωρητική Απαιτούμενη Ενέργεια =

$$4,1818 \frac{kJ}{kg - oC} * (100 - 20) oC + 2455,71 \frac{kJ}{kg} = 2790 \frac{kJ}{kg} = 666,38 \frac{kCal}{kg} H_2O$$

Ωστόσο ύστερα από δοκιμές του κατασκευαστή η απαιτούμενη ενέργεια υπολογίστηκε ίση με :

$$850 \frac{kCal}{kgr H_2O}$$

Επομένως για την αφαίρεση του νερού της υγρής λύος κατά την ξήρανση θα πρέπει να αποδώσουμε ενέργεια ίση με:

$$850 \frac{kCal}{kg H_2O} * 0,77 \frac{tn H_2O}{tn υγρής λύος} * 1000 \frac{kg}{tn} = 654.000 \frac{\text{απαιτούμενα } kCal}{tn υγρής λύος}$$

Θεωρώντας θερμική απόδοση κατά την καύση της ξηραμένης λύος 2300kcal/kgf και με δεδομένη την παραγωγή 0,130 τόνων ξηραμένης λύος ανά τόνο υγρής, η διαθέσιμη από την λύ ενέργεια ανέρχεται σε

$$130 \frac{kg DS}{tn υγρής λύος} * 2300 \frac{kCal}{kg DS} = 299.000 \frac{\text{διαθέσιμα } kCal}{tn υγρής λύος}$$

Εάν χρησιμοποιήσουμε ως καύσιμο την ξηραμένη λύ που παράγεται από την μονάδα δεν μπορούμε να καλύψουμε πλήρως τις ενεργειακές απαιτήσεις καθώς είναι προφανές ότι υπάρχει ένα έλλειμμα

{απαιτούμενη για την ξήρανση ενέργεια} – {διαθέσιμη από την λύ ενέργεια} =

$$\left\{ 654000 \frac{kCal}{tn υγρής λύος} \right\} - \left\{ 299000 \frac{kCal}{tn υγρής λύος} \right\} = 355.500 \frac{kCal}{tn υγρής λύος}$$

Το έλλειμμα αυτό θα πρέπει να καλυφθεί με τη χρήση κάποιου άλλου καυσίμου. Ένα φθινό και παρεμφερές με την λύ καύσιμο, ώστε να μην απαιτούνται τροποποιήσεις στο σύστημα καύσης, είναι η βιομάζα. Επιλέγουμε καλής ποιότητας βιομάζα η οποία έχει μέση πραγματική απόδοση  $3000 \frac{kCal}{kg}$ .

Για τη βιομάζα έχουμε :

$$\text{Απαίτηση Βιομάζας} = \frac{355.500 \frac{\text{kCal}}{\text{tnυγρήςιλύος}}}{3.000.000 \frac{\text{kCal}}{\text{tnβιομάζας}}} = 0,119 \frac{\text{tn βιομάζας}}{\text{tn υγρής ιλύος}}$$

$$\text{Κόστος Βιομάζας: } 80 \frac{\text{€}}{\text{tn βιομάζας}}$$



$$80 \frac{\text{€}}{\text{tn βιομάζας}} * 0,119 \frac{\text{tn βιομάζας}}{\text{tn υγρής ιλύος}} = 9,48 \frac{\text{€}}{\text{tn υγρής ιλύος}} \text{ ή } 72,92 \frac{\text{€}}{\text{tn DS}}$$

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς όλης της εγκατάστασης, συμπεριλαμβανομένου του εξοπλισμού περιβαλλοντικής προστασίας, είναι 54kW. Επομένως, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανέρχεται σε

$$0,08 \frac{\text{€}}{\text{kWhr}} * 54\text{kW} = 4,32 \frac{\text{€}}{\text{hr}} \Rightarrow \frac{4,32 \frac{\text{€}}{\text{hr}}}{2 \frac{\text{tnυγρήςιλύος}}{\text{hr}}} = 2,16 \frac{\text{€}}{\text{tn υγρής ιλύος}} \text{ ή } 16,62 \frac{\text{€}}{\text{tnDS}}$$

Από τους ανωτέρω υπολογισμούς προκύπτει ότι το σημαντικότερο μέρος του λειτουργικού κόστους αφορά το καύσιμο για την ξήρανση της ιλύος. Ωστόσο εάν η ιλύς είχε μεγαλύτερη συγκέντρωση στερεών το κόστος αυτό θα μπορούσε ακόμη και να μηδενιστεί.

Κατόπιν υπολογισμών, με τη μέθοδο δοκιμή και σφάλμα σε υπολογιστικό φύλλο, προκύπτει ότι για αφυδατωμένη ιλύ συγκέντρωσης στερεών 22,3% δε χρειάζεται πρόσθετο καύσιμο, αλλά αρκεί η παραγόμενη ενέργεια από την ξηραμένη ιλύ για την κάλυψη των θερμικών αναγκών της εγκατάστασης. Θεωρώντας έναν συντελεστή ασφαλείας 1,12 τότε με μία αφυδατωμένη ιλύ στερεών 25%, η μονάδα μπορεί να λειτουργεί αυτόνομα ως προς τη θερμική ενέργεια που απαιτείται για την ξήρανση. Επομένως, θα μπορούσε να διερευνηθεί ένας συνδυασμός με κάποια άλλη μέθοδο προ-ξήρανσης (π.χ. ηλιακή) ώστε να επιτευχθεί σημαντική μείωση του κόστους ξήρανσης. Επίσης, δεν υπάρχουν δεδομένα για τυχόν πλήρη αξιοποίηση

της απαγόμενης με τα καυσαέρια ενέργειας καθώς κατά τον αρχικό σχεδιασμό μόνο ένα μέρος της ανακτάται. Συνεπώς, υπάρχουν περιθώρια για ανάκτηση μεγαλύτερου μέρους ενέργειας με προ-ξήρανση της ιλύος πριν την είσοδο στον ξηραντήρα. Ωστόσο κάτι τέτοιο χρήζει λεπτομερούς ανάλυσης ενώ τα δεδομένα θα πρέπει να επαληθευθούν με εφαρμογή των αλλαγών σε πιλοτική εγκατάσταση.

Το κόστος αγοράς μίας τέτοιας εγκατάστασης ανέρχεται σε 1.320.000 ευρώ + ΦΠΑ. Για τον υπολογισμό του συνολικού ετήσιου κόστους υπολογίστηκε αρχικά το Κόστος Εξυπηρέτησης Κεφαλαίου (ΚΕΚ). Το ΚΕΚ υπολογίστηκε λαμβάνοντας υπόψη 15 έτη απόσβεσης αποπληθωρισμένο επιτόκιο 8%, σύμφωνα με τη σχέση:

$$ΚΕΚ = K \frac{\varepsilon(1+\varepsilon)^N}{(1+\varepsilon)^N - 1} \quad (4-1)$$

όπου:

K: το κόστος κατασκευής της μονάδας

$\varepsilon$ : το αποπληθωρισμένο επιτόκιο

N: διάρκεια ζωής του έργου

$$ΚΕΚ = K * \frac{\varepsilon * (1 + \varepsilon)^N}{(1 + \varepsilon)^N - 1} = K * \frac{0,08 * (1 + 0,08)^{15}}{(1 + 0,08)^{15} - 1} = K * 0,117$$

Σύμφωνα με τα ανωτέρω το κόστος εξυπηρέτησης κεφαλαίου ανέρχεται σε :

$$\text{κόστος εξυπηρέτησης κεφαλαίου} = \text{κόστος εγκατάστασης} * 0,117 \quad (4-2)$$

$$\Rightarrow 1.320.000 * 0,117 = 154.440,00 \frac{\text{€}}{\text{έτος}} \quad \text{ή} \quad 20,59 \frac{\text{€}}{\text{tn Ιλύος}} \quad \text{ή} \quad 158,36 \frac{\text{€}}{\text{tn DS}}$$

Για τον υπολογισμό του κόστους συντήρησης θεωρούμε σύμφωνα με τον κατασκευαστή ετήσιο κόστος ίσο με 3% του αρχικού κόστους της εγκατάστασης.

$$\text{κόστος συντήρησης} = \text{κόστος εγκατάστασης} * 3\% \quad (4-3)$$

$$\Rightarrow 1.320.000,00 * 3\% = 39.600,00 \frac{\text{€}}{\text{έτος}} \quad \text{ή} \quad 5,28 \frac{\text{€}}{\text{tn Ιλύος}} \quad \text{ή} \quad 40,61 \frac{\text{€}}{\text{tn DS}}$$



Για την επίβλεψη και συντήρηση της μονάδας ξήρανσης θα χρειασθεί ένα άτομο το οποίο θα είναι κατάλληλα εκπαιδευμένο. Τις απογευματινές ώρες η μονάδα θα επιβλέπεται από το φύλακα της εγκατάστασης, όπως συμβαίνει αυτήν τη στιγμή και για τη μονάδα της αφυδάτωσης. Το κόστος ενός εργαζομένου σύμφωνα με το ενιαίο μισθολόγιο ανέρχεται για τον βασικό μισθό στα 780,00 ευρώ/ μήνα συνεπώς:

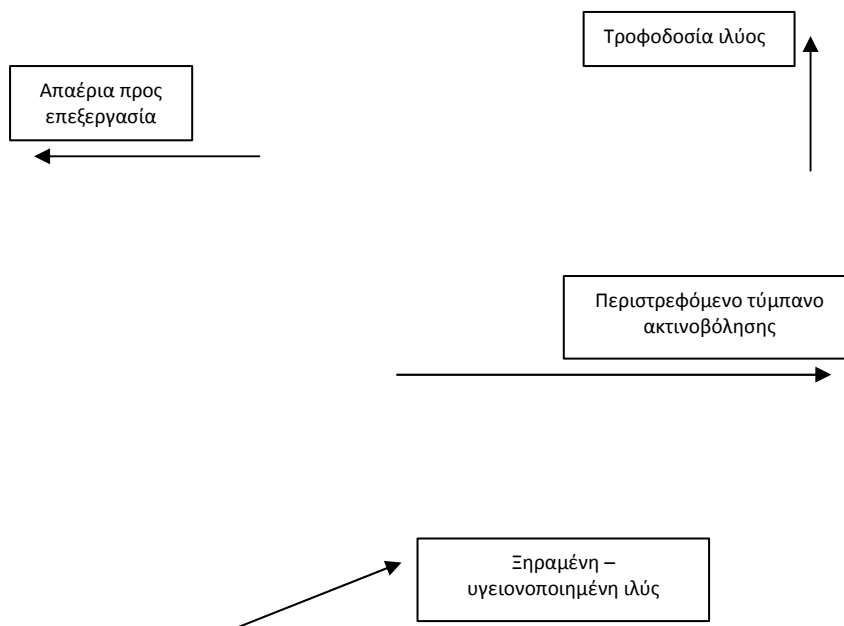
$$\begin{aligned} \text{Εργατικό κόστος ανα τόνο ιλύος} &= \frac{780,00 \frac{\text{€}}{\text{μήνα}} * 12 \frac{\text{μήνες}}{\text{έτος}}}{7500 \frac{\text{tnαφ.ιλύος}}{\text{έτος}}} \text{ ή} \\ &= 1,25 \frac{\text{€}}{\text{tn Ιλύος}} \text{ ή } 9,6 \frac{\text{€}}{\text{tn DS}} \end{aligned}$$

**Πίνακας 14: Κόστος θερμικής ξήρανσης**

Ανάλυση Κόστους	Υγρής Ιλύος	Ξηρής Ιλύος
<b>Κόστος προμήθειας και εγκατάστασης</b>	<b>1.320.000,00 €</b>	<b>1.320.000,00 €</b>
<b>Κόστος εξυπηρέτησης κεφαλαίου</b>	<b>20,59 €/tn</b>	<b>158,36 €/tn DS</b>
<b>Λειτουργικά Κόστη</b>		
Κόστος καυσίμου (βιομάζα)	9,48€/tn	72,92 €/tnDS
Κόστος ενέργειας	2,26€/tn	16,62€/tnDS
Κόστος συντήρησης	5,28€/tn	40,61 €/tnDS
Κόστος προσωπικού	1,25€/tn	9,6€/tn DS
<b>Συνολικό λειτουργικό κόστος</b>	<b>18,27 €/tn</b>	<b>139,75 €/tn DS</b>
<b>Συνολικό</b>	<b>38,86 €/tn</b>	<b>298,11€/tn DS</b>

#### 4.4.2. Ξήρανση με χρήση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Μια καινοτόμα εναλλακτική διάταξη για την ξήρανση και υγειονοποίηση της ιλύος είναι η χρήση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η αρχή λειτουργίας είναι η θέρμανση του νερού που περιέχεται στην ιλύ με την παροχή ενέργειας μέσω ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται είναι σχετικά χαμηλές, της τάξεως των 50 – 65 °C, ενώ ο χρόνος παραμονής του υλικού στον αντιδραστήρα δεν ξεπερνά τα 10 λεπτά. Η λειτουργία του αντιδραστήρα μπορεί να είναι ακόμη και 24ωρη καθώς απαιτεί ελάχιστη επίβλεψη ενώ ο καθαρισμός γίνεται αυτόματα. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του συστήματος αυτού είναι ότι η ιλύς που παράγει, είναι σχεδόν αποστειρωμένη, κλάσεως Α με περιεκτικότητα στερεών έως 100% καθώς και ότι κατά τη διεργασία δεν παράγονται ρύποι και οσμές.



Εικόνα 3: Μονάδα ξήρανσης με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

Για τη μελέτη της ΕΕΛ Κ-Λ, θεωρούμε εισερχόμενη ιλύ με DS 13% και ξηραμένη ιλύ με DS 90%. Η μείωση του όγκου που θα πρέπει να διατεθεί μειώνεται σημαντικά στους :

$$7500 * 13\% = X * 90\% \Rightarrow X = \frac{7500 * 13\%}{90\%} \cong 1083 \frac{\text{τόνοι ξηράς ιλύος } 90\%}{\text{έτος}}$$

Δεδομένου ότι η εγκατάσταση έχει ένα εξαιρετικά υψηλό κόστος, ενώ έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί 24 ώρες το 24ωρο, επιλέγουμε εξοπλισμό μικρής δυναμικότητας  $1,25 \frac{tn}{\omega\rho\alpha}$ . Επομένως, για παραγωγή ιλύος από τη μονάδα αφυδάτωσης 30 τόνων ημερησίως με 15 ώρες λειτουργίας, η μονάδα ξήρανσης θα πρέπει να λειτουργεί 24 ώρες. Η ανακολουθία του εξοπλισμού αφυδάτωσης από τον εξοπλισμό ξήρανσης δημιουργεί την ανάγκη για αποθήκευση της ιλύος, ώστε αυτή σταδιακά να υφίσταται επεξεργασία σύμφωνα με τη δυναμικότητα της μονάδας ξήρανσης.

Ημερησία Παραγωγή

$$30 \frac{tn \text{ αφυδατωμένης ιλύος}}{\eta\mu\acute{\epsilon}\rho\alpha} \Rightarrow \text{Ξηραμένη Ιλύς} = 30 \frac{tn}{\eta\mu\acute{\epsilon}\rho\alpha} * \frac{13\% DS}{90\% DS} = 4,33 \frac{tn}{\eta\mu\acute{\epsilon}\rho\alpha}$$

Κατά την ξήρανση πρέπει να αφαιρεθούν

$$0,9 - 0,13 = 0,77 \frac{tn H_2O}{tn \text{ υγρής ιλύος}}$$

Για την εξάτμιση του νερού απαιτείται ενέργεια ίση με:

Απαιτούμενη Ενέργεια (θεωρητική) =

(Ειδική Θερμότητα × Μεταβολή Θερμοκρασίας) + Λανθάνουσα =

$$4,1818 \frac{kJ}{kg - oC} * (100 - 20)oC + 2455,71 \frac{kJ}{kg} = 2790 \frac{kJ}{kg} = 666,38 \frac{kCal}{kg}$$

Ωστόσο, σύμφωνα με τον κατασκευαστή και ύστερα από σχετικές μετρήσεις και δοκιμές η απόδοση του συστήματος ως προς την εξάτμιση του νερού είναι :

$$1,35 \frac{kg \text{ } H_2O}{kWh} \Rightarrow 0,74 \frac{kWh}{kg \text{ } H_2O} \text{ ή } 636,71 \frac{kCal}{kg \text{ } H_2O}$$

Επομένως για την αφαίρεση του νερού της υγρής ιλύος κατά την ξήρανση θα πρέπει να αποδώσουμε ενέργεια ίση με:

$$0,74 \frac{kWh}{kg \text{ H}_2\text{O}} * 0,77 \frac{tn \text{ H}_2\text{O}}{tn \text{ υγρής ιλύος}} * 1000 \frac{kg}{tn} = 569,80 \frac{kWh}{tn \text{ υγρής ιλύος}}$$

Το κόστος για τη θερμική ενέργεια είναι :

$$0,08 \frac{\text{€}}{kWh} * 569,80 \frac{kWh}{tn \text{ υγρής ιλύος}} = 45,84 \frac{\text{€}}{tn \text{ υγρής ιλύος}} \text{ ή } 352,62 \frac{\text{€}}{tn \text{ DS}}$$

Το κόστος ενέργειας για την παροχή κινητικής ενέργειας στα διάφορα μέρη του συστήματος υπολογίζεται σε 3,5% του κόστους ενέργειας θέρμανσης :

$$\text{Κόστος μηχανικής ενέργειας} = \text{κόστος θερμικής} * 3,5\% =$$

$$45,84 * 3,5\% = 1,6 \frac{\text{€}}{tn \text{ υγρής ιλύος}} \text{ ή } 12,31 \frac{\text{€}}{tn \text{ DS}}$$

$$\begin{aligned} \text{Συνολικό κόστος ενέργειας} &= 45,84 \frac{\text{€}}{tn \text{ υγρής ιλύος}} + 1,6 \frac{\text{€}}{tn \text{ υγρής ιλύος}} \\ &= 47,44 \frac{\text{€}}{tn \text{ υγρής ιλύος}} \text{ ή } 364,92 \frac{\text{€}}{tn \text{ DS}} \end{aligned}$$

Από τους ανωτέρω υπολογισμούς προκύπτει ότι το σημαντικότερο μέρος του λειτουργικού κόστους αφορά την ηλεκτρική ενέργεια για την ξήρανση της ιλύος.

Το κόστος προμήθειας μία τέτοιας εγκατάστασης ανέρχεται σε 3.000.000 ευρώ + ΦΠΑ. Το ΚΕΚ υπολογίστηκε από τη σχέση 4-1 για N=15 και ε=0,08 ίσο με Κ\*0,117.

Σύμφωνα με τα ανωτέρω το κόστος εξυπηρέτησης κεφαλαίου ανέρχεται σε :

$$\text{κόστος εξυπηρέτησης κεφαλαίου} = \text{κόστος εγκατάστασης} * 0,117 =$$

$$3.000.000 * 0,117 = 351.000,00 \frac{\text{€}}{\text{έτος}} \text{ ή } 46,80 \frac{\text{€}}{tn \text{ Ιλύος}} \text{ ή } 360,00 \frac{\text{€}}{tn \text{ DS}}$$

Για τον υπολογισμό του κόστους συντήρησης θεωρούμε σύμφωνα με τον κατασκευαστή ετήσιο κόστος ίσο με 4,5% του αρχικού κόστους της εγκατάστασης.

$$\begin{aligned} \text{κόστος συντήρησης} &= \text{κόστος εγκατάστασης} * 4,5\% = 3.000.000,00 * 4,5\% \\ &= 135.000,00 \frac{\text{€}}{\text{έτος}} \text{ ή } 18,00 \frac{\text{€}}{\text{tn Ιλύος}} \text{ ή } 138,46 \frac{\text{€}}{\text{tn DS}} \end{aligned}$$

Τέλος, θα θεωρήσουμε και το κόστος ενός εξειδικευμένου εργαζομένου το οποίο ανέρχεται σε 1,25 €/tn αφυδατωμένης ιλύος όπως προέκυψε στο κεφάλαιο 4.4.2.

**Πίνακας 15: Κόστος ξήρανσης με χρήση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας για DS 90%**

Ανάλυση Κόστους	Υγρής Ιλύος	Ξηρής Ιλύος
<b>Κόστος προμήθειας και εγκατάστασης</b>	<b>3.000.000,00 €</b>	<b>3.000.000,00 €</b>
<b>Κόστος εξυπηρέτησης κεφαλαίου</b>	<b>46,80€/tn</b>	<b>360,00€/tn DS</b>
<b>Λειτουργικά Κόστη</b>		
Κόστος ενέργειας ξήρανσης	45,84 €/tn	352,62 €/tn DS
Κόστος ενέργειας	1,60 €/tn	12,31 €/tn DS
Κόστος συντήρησης	18,00 €/tn	138,46 €/tn DS
Κόστος προσωπικού	1,25 €/tn	9,60 €/tn DS
<b>Συνολικό λειτουργικό κόστος</b>	<b>66,69 €/tn</b>	<b>512,99 €/tn DS</b>
<b>Συνολικό</b>	<b>113,49 €/tn</b>	<b>872,99 €/tn DS</b>

Ο κατασκευαστής προτείνει ξήρανση έως 55% DS. Εάν επαναλάβουμε τους ανωτέρω υπολογισμούς για στερεά ξηραμένης ιλύος 55% , έχουμε:

$$7500 * 13\% = X * 55\% \Rightarrow X = \frac{7500 * 13\%}{55\%} \cong 1773 \frac{\text{τόνοι ξηράς ιλύος 55\%}}{\text{έτος}}$$

**Πίνακας 16: Κόστος ξήρανσης με χρήση χρήση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας για DS 55%**

<b>Ανάλυση Κόστους</b>	<b>Υγρής Ιλύος</b>	<b>Ξηρής Ιλύος</b>
<b>Κόστος προμήθειας και εγκατάστασης</b>	<b>3.000.000,00 €</b>	<b>3.000.000,00 €</b>
<b>Κόστος εξυπηρέτησης κεφαλαίου</b>	<b>46,80€/tn</b>	<b>360,00€/tn DS</b>
<b>Λειτουργικά Κόστη</b>		
Κόστος ενέργειας ξήρανσης	24,88 €/tn	191,38 €/tn DS
Κόστος ενέργειας	0,87 €/tn	6,69 €/tn DS
Κόστος συντήρησης	18,00 €/tn	138,46 €/tn DS
Κόστος προσωπικού	1,25 €/tn	9,60 €/tn DS
<b>Συνολικό λειτουργικό κόστος</b>	<b>45,00 €/tn</b>	<b>346,13 €/tn DS</b>
<b>Συνολικό</b>	<b>91,80 €/tn</b>	<b>706,13 €/tn DS</b>

#### 4.4.3. Ασβεστοποίηση

Η ασβεστοποίηση συνίσταται κυρίως σε μία μέθοδο υγειονοποίησης της ιλύος και όχι τόσο σε μία μέθοδο ξήρανσης καθώς επιτυγχάνεται μία πολύ μικρή αύξηση της συγκέντρωσης στερεών. Η ασβεστοποίηση, ανάλογα με το υλικό που χρησιμοποιείται, τη δοσολογία και τους χρόνους αποθήκευσης του τελικού υλικού, μπορεί να θεωρηθεί είτε προχωρημένη είτε συμβατική. Παρόλ'αυτά για λόγους συνάφειας θα εξετασθούν και οι δύο περιπτώσεις στο παρόν κεφάλαιο.

Για την ασβεστοποίηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί υδράσβεστος ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) ή άνυδρος ασβέστης ( $\text{CaO}$ ). Στην πρώτη περίπτωση επιτυγχάνεται άνοδος του pH, το οποίο θα πρέπει να διατηρηθεί μεγαλύτερο από 12 για ελάχιστο διάστημα τριών μηνών, ώστε να καταστραφεί το μεγαλύτερο μέρος των παθογόνων μικροοργανισμών της ιλύος. Στη δεύτερη περίπτωση, (χρήση  $\text{CaO}$ ) εκτός από την άνοδο της τιμής του pH επιτυγχάνεται και σημαντική άνοδος της θερμοκρασίας.



Έτσι, η καταστροφή των μικροοργανισμών επιτυγχάνεται σε πολύ πιο σύντομο διάστημα και αρκεί ανύψωση της θερμοκρασίας πάνω από  $55^\circ\text{C}$  για χρονικό διάστημα τουλάχιστον δύο ωρών με τιμή pH ίση ή μεγαλύτερη του 12. Σύμφωνα με τους Ανδρεαδάκης κ.α προκειμένου να ανυψωθεί η τιμή της ιλύος από pH από 7 σε 12,5 απαιτούνται  $1,7 \text{ moles / kgDS}$ . Σύμφωνα με την στοιχειομετρία της ανωτέρω αντίδρασης του  $\text{CaO}$ ,  $56 \text{ gr CaO}$  μας δίνουν  $2 \text{ moles OH}$ . Επομένως, έχουμε :

$$\frac{\text{απαιτούμενα mole OH}}{\text{tn υγρής ιλύος}} = 130 \frac{\text{kg DS}}{\text{tn υγρής ιλύος}} * 1,7 \frac{\text{moles OH}}{\text{kgDS}} =$$

$$221 \frac{\text{moles}}{\text{tn υγρής ιλύος}}$$



$$\frac{\text{kg CaO}}{\text{tn υγρής ιλύος}} = 221 \frac{\text{moles OH}}{\text{tn υγρής ιλύος}} * \frac{0,056 \text{ kg CaO}}{2 \text{ moles OH}} = 6,188 \Rightarrow 0,62\%$$

Εάν επαναλάβουμε τους ανωτέρω υπολογισμούς για ιλύ με στερεά 20% προκύπτει απαιτούμενη δόση CaO 1%. Ωστόσο, σε αυτήν τη δοσολογία δεν υπάρχει αρκετή περίσσεια για να εξουδετερώσει το CO<sub>2</sub> και των οργανικών οξέων που παράγονται με αποτέλεσμα το pH να μειώνεται σημαντικά μετά από λίγες ημέρες. Σύμφωνα με τους Ανδρεαδάκης κ.α., εάν χρησιμοποιηθεί μία δόση τουλάχιστον 6%, τότε το pH διατηρείται στα επιθυμητά επίπεδα (>12) για αρκετές ημέρες. Κάνοντας την αντίστοιχη αναγωγή, εφόσον η θεωρητικά απαιτούμενη δόση για την περίπτωση μας προέκυψε 0,62%, η πραγματική θα είναι 6 φορές μεγαλύτερη :

$$\text{πραγματική δόση CaO} = \text{θεωρητική} * 6 = 0,62\% * 6 = 3,72\% \cong 4\%$$

Επίσης, σύμφωνα με τους ανωτέρω ερευνητές, μία δόση 4% σε ιλύ με συγκέντρωση στερεών 22%, αρκεί για να διατηρήσει το pH υψηλότερο από 12 για τουλάχιστον 15 ημέρες. Μικροβιολογικές αναλύσεις στο ανωτέρω δείγμα έδειξαν, επίσης, ότι η συγκέντρωση ολικών κολοβακτηριδίων και E. Coli μειώθηκε σε λιγότερα από 30/100 ml μέσα στις πρώτες 7 ημέρες. Επομένως, για τη συνέχεια των υπολογισμών θεωρούμε δόση CaO 4%.

Η αύξηση των στερεών λόγω της προσθήκης ασβέστη είναι σχεδόν γραμμική και δίνεται από τον παρακάτω τύπο, ο οποίος προκύπτει από τη χημική εξίσωση του CaO με το νερό, όπως αυτή δόθηκε παραπάνω

$$\%TS_2 = \frac{\%TS_1 + \left(\frac{74}{56} * \%CaO\right)}{100\% + \%CaO} = \frac{13\% + \left(\frac{74}{56} * 4\%CaO\right)}{100\% + 4\%CaO} = 18\%$$

Σε δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο της ΕΕΛ βρέθηκε ότι για μία δόση 4% CaO, η συγκέντρωση στερεών αυξήθηκε από 13,45% σε 18,56%, επομένως επαληθεύτηκε ο ανωτέρω θεωρητικός υπολογισμός.

Η αύξηση αυτή της συγκέντρωσης των στερεών έχει ως αποτέλεσμα ένα πιο συνεκτικό υλικό το οποίο είναι πιο εύκολο στη διαχείριση και πιο εύκολα αποδεκτό (π.χ. για διάθεση στη γεωργία).

Σύμφωνα με τα παραπάνω ο τελικός προς διαχείριση όγκος της ιλύος θα είναι :



$$7500 * 13\% + 7500 * 4\% = X * 18\% \Rightarrow X = \frac{7500 * 13\% + 7500 * 4\%}{18\%}$$

$$\cong 7083 \frac{\text{τόνοι ξηράς ιλύος } 18\%}{\text{έτος}}$$

Η αύξηση της θερμοκρασίας λόγω της εξώθερμης αντίδρασης ενυδάτωσης του ασβέστη υπολογίζεται ως εξής :

$$\Delta T = \frac{1160 * \%CaO}{4,16 * (100\% - \%TS_1) + 0,3 * \%CaO} =$$

$$\frac{1160 * 4}{4,16 * (100 - 13) + 0,3 * 4} = 12,78$$

Για αύξηση 3,4°C/ % CaO, στην πράξη παρατηρείται αύξηση από 2,1 έως 2,8 °C/ % CaO ήτοι πραγματική αύξηση 62 – 82% της θεωρητικά αναμενόμενης. Επομένως, η πραγματική αύξηση στο μίγμα ιλύος –ασβέστη περιμένουμε να είναι:

$$\Delta T_{\text{πραγμ.}} = \Delta T_{\text{θεωρ.}} * 0,62 = 12,78 * 0,62 = 7,9^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{\text{πραγμ.}} = \Delta T_{\text{θεωρ.}} * 0,82 = 12,78 * 0,82 = 10,5^\circ\text{C}$$

Θεωρώντας θερμοκρασία ιλύος 24°C, η τελική θερμοκρασία του μίγματος θα κυμανθεί θεωρητικά από 31,9 έως 34,5 °C. Ύστερα από εργαστηριακές δοκιμές στην ΕΕΛ, παρατηρήθηκαν τα παρακάτω :

Δόση 4% : 24,1 °C	⇒	27,9 °C ΔT: 3,8 °C
Δόση 6% : 23,7 °C	⇒	27,8 °C ΔT: 4,1 °C
Δόση 18% : 25,1 °C	⇒	28,3 °C ΔT: 3,2 °C

Οι ανωτέρω θερμοκρασίες (θεωρητικές και εργαστηριακές) απέχουν αρκετά από την απαιτούμενη των 55 °C, η οποία θα καθιστούσε την ασβεστοποιημένη ιλύ υγειονοποιημένη εντός δύο ωρών. Ακόμη όμως και εάν ήταν δυνατόν να επιτευχθεί η επιθυμητή αύξηση της θερμοκρασίας, η διαφορά μεταξύ της δόσης 4% που απαιτείται για την αύξηση του pH και της δόσης που απαιτείται για την αύξηση της θερμοκρασίας και την ταχεία υγειονοποίηση της ιλύος, είναι μεγάλη και εύκολα γίνεται αντιληπτό ότι και η διαφορά στο τελικό κόστος επεξεργασίας της ιλύος θα είναι σημαντική.

Εάν χρησιμοποιηθεί μία δοσολογία της τάξεως του 8-10% τότε η τιμή του pH θα διατηρηθεί πάνω από 12 για τρεις τουλάχιστον μήνες, οπότε θα έχουμε πλήρη υγειονομοποίηση της ιλύος.

Για δόση 10% η αύξηση των στερεών θα είναι :

$$\%TS_2 = \frac{\%TS_1 + \left(\frac{74}{56} * \%CaO\right)}{100\% + \%CaO} = \frac{13\% + \left(\frac{74}{56} * 10\%CaO\right)}{100\% + 10\%CaO} = 24\%$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω, ο τελικός προς διαχείριση όγκος της ιλύος θα είναι :

$$7500 * 13\% + 7500 * 10\% = X * 24\% \Rightarrow X = \frac{7500 * 13\% + 7500 * 10\%}{24\%}$$

$$\cong 7188 \frac{\text{τόνοι ιλύος } 24\% DS}{\text{έτος}}$$

Το κόστος προμήθειας CaO για τις δύο δόσεις είναι:

$$4\% \text{ Κόστος } CaO = 110 \frac{\text{€}}{\text{tn } CaO} * 4\% \frac{CaO}{\text{tn ιλύος}} = 4,40 \frac{\text{€}}{\text{tn υγρής ιλύος}}$$

$$10\% \text{ Κόστος } CaO = 110 \frac{\text{€}}{\text{tn } CaO} * 10\% \frac{CaO}{\text{tn ιλύος}} = 11,00 \frac{\text{€}}{\text{tn υγρής ιλύος}}$$

Θεωρούμε αναμίκτη ασβέστη-ιλύος δυναμικότητας 6 m<sup>3</sup>/hr μέγιστης πίεσης 24 βαρισχύος 11 kw ( τύπος 25GBB24 PCM) και σταθμό δοσομέτρησης ισχύος 2 kw . Το επιπλέον κόστος ηλεκτρικής ενέργειας για την ασβεστοποίηση θα είναι :

$$\frac{\text{hr}}{2 \text{ tn υγρής ιλύος}} * \frac{13 \text{ kW}}{1 \text{ hr}} * 0,08 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 0,52 \frac{\text{€}}{\text{tn υγρής ιλύος}}$$

Το κόστος αγοράς του αναμίκτη ανέρχεται στα 10.000,00 ευρώ .

Το σύστημα δοσομέτρησης μπορεί να παρασχεθεί από την προμηθεύτρια εταιρεία της ασβεστού κατόπιν σχετικής συμφωνίας. Η τιμή της άσβεστου από κοντινή μονάδα παραγωγής ανέρχεται σε 110 ευρώ/τόνο παραδοτέα με σιλοφόρο στην εγκατάστασή μας.

Το ΚΕΚ υπολογίστηκε από την σχέση 4-1 για N=15 και ε=0,08 ίσο με Κ\*0,117.

Σύμφωνα με τα ανωτέρω το κόστος εξυπηρέτησης κεφαλαίου ανέρχεται σε :

$$\text{κόστος εξυπηρέτησης κεφαλαίου} = \text{κόστος εγκατάστασης} * 0,117 =$$

$$10.000 * 0,117 = 1.170,00 \frac{\text{€}}{\text{έτος}} \text{ ή } 0,16 \frac{\text{€}}{\text{tnΙλύος}} \text{ ή } 1,20 \frac{\text{€}}{\text{tnDS}}$$

Για τον υπολογισμό του κόστους συντήρησης θεωρούμε ετήσιο κόστος ίσο με 3% του αρχικού κόστους της εγκατάστασης.

$$\begin{aligned} \text{κόστος συντήρησης} &= \text{κόστος εγκατάστασης} * 3\% = 10.000,00 * 3\% \\ &= 300,00 \frac{\text{€}}{\text{έτος}} \text{ ή } 0,04 \frac{\text{€}}{\text{tnΙλύος}} \text{ ή } 0,31 \frac{\text{€}}{\text{tnDS}} \end{aligned}$$

Επειδή ο μόνος εξοπλισμός που απαιτείται είναι ο αναμίκτης με το δοσομετρικό και η λειτουργία του είναι εξαιρετικά απλή και συνήθως απροβλημάτιστη δε θα υπολογίσουμε εργατικό κόστος. Η μονάδα μπορεί να επιβλέπεται από το προσωπικό της μονάδας αφυδάτωσης.

**Πίνακας 17: Κόστος αβεστοποίησης ιλύος με δόση CaO4%  
(συμβατική επεξεργασία)**

Ανάλυση Κόστους	Υγρής Ιλύος	Ξηρής Ιλύος
<b>Κόστος προμήθειας και εγκατάστασης</b>	<b>10.000,00 €</b>	<b>10.000,00 €</b>
<b>Κόστος εξυπηρέτησης κεφαλαίου</b>	<b>0,16€/tn</b>	<b>1,20€/tn DS</b>
<b>Λειτουργικά Κόστη</b>		
Κόστος CaO	4,40 €/tn	33,85 €/tnDS
Κόστος ενέργειας	0,52 €/tn	4,00 €/tn DS
Κόστος συντήρησης	0,04 €/tn	0,31 €/tn DS
Κόστος προσωπικού	-€/tn	- €/tn DS
<b>Συνολικό λειτουργικό κόστος</b>	<b>4,96 €/tn</b>	<b>38,16 €/tn DS</b>
<b>Συνολικό</b>	<b>5,12 €/tn</b>	<b>39,36 €/tn DS</b>

Ακολουθώντας και πάλι την ανωτέρω διαδικασία για δόση 10% έχουμε :

**Πίνακας 18: Κόστος ασβεστοποίησης ιλύος με δόση CaO 10%**  
(προχωρημένη επεξεργασία)

Ανάλυση Κόστους	Υγρής Ιλύος	Ξηρής Ιλύος
<b>Κόστος προμήθειας και εγκατάστασης</b>	<b>10.000,00 €</b>	<b>10.000,00 €</b>
<b>Κόστος εξυπηρέτησης κεφαλαίου</b>	<b>0,16€/tn</b>	<b>1,20€/tn DS</b>
<b>Λειτουργικά Κόστη</b>		
Κόστος CaO	11,00 €/tn	84,62 €/tnDS
Κόστος ενέργειας	0,52 €/tn	4,00 €/tn DS
Κόστος συντήρησης	0,04 €/tn	0,31 €/tn DS
Κόστος προσωπικού	-€/tn	- €/tn DS
<b>Συνολικό λειτουργικό κόστος</b>	<b>11,56 €/tn</b>	<b>88,93 €/tn DS</b>
<b>Συνολικό</b>	<b>11,72 €/tn</b>	<b>90,13 €/tn DS</b>

#### 4.5. Συμβατικές Μέθοδοι Επεξεργασίας

Δεδομένου ότι ΕΕΛ Κ-Λ επιτυγχάνει σταθεροποίηση της ιλύος ήδη από το βιολογικό αντιδραστήρα ( $OUR < 5 \text{ mgO}_2/\text{gMLSS}/\text{hr}$ ) οποιαδήποτε μέθοδος διαχείρισης και εάν εφαρμοσθεί μετά την αφυδάτωση θεωρείται συμβατική μέθοδος.

##### 4.5.1. Ηλιακή ξήρανση

Μια αρκετά δημοφιλής μέθοδος στον ελλαδικό χώρο είναι η ηλιακή ξήρανση. Ως ηλιακή ξήρανση μπορεί να θεωρηθεί οποιαδήποτε μέθοδος περιλαμβάνει έκθεση της ιλύος στον ήλιο (σε θερμοκήπια ή υπαίθρια, με ανάδευση ή χωρίς ανάδευση). Ωστόσο, πλέον η ηλιακή ξήρανση είναι συνώνυμη με την ξήρανση εντός θερμοκηπίου με ανάδευση και επαρκή αερισμό για την απαγωγή της υγρασίας και των οσμών. Το μεσογειακό κλίμα και η ηλιοφάνεια της χώρας, μας προδιαθέτουν ότι η ηλιακή ξήρανση είναι μία ικανοποιητική μέθοδος. Ήδη λειτουργεί μία μονάδα ηλιακής ξήρανσης στον ΧΥΤΑ Χερσονήσου, Κρήτης, δυναμικότητας 2000 τόνων ιλύος 18% DS ανά έτος, κάποιες ακόμη είναι υπό κατασκευή ενώ αρκετοί φορείς συζητούν ή έχουν ήδη δρομολογήσει την ένταξη στο ΕΠΕΡΑΑ της κατασκευής μίας αντίστοιχης μονάδας.



Εικόνα 4: Η μονάδα ηλιακής ξήρανσης του ΧΥΤΑ Χερσονήσου , δυναμικότητας 2000 τόνων/έτος.

Για τη μελέτη της επεξεργασίας της ιλύος με ηλιακή ξήρανση θα χρησιμοποιηθούν τα πραγματικά δεδομένα από σχετική μεταπτυχιακή εργασία με αντικείμενο τη μελέτη της λειτουργίας της μονάδας ηλιακής ξήρανσης του ΧΥΤΑ Χερσονήσου η οποία εκπονήθηκε από την Αναστασία Θεοφανή το διάστημα 2/2010 – 6/2010.

Σύμφωνα με εμπειρικά στοιχεία προκειμένου η ιλύς να είναι διαχειρίσιμη θα πρέπει να έχει συγκέντρωση στερεών μεγαλύτερη από 18-20%. Δεδομένου ότι η ιλύς της περίπτωσης έχει περιεκτικότητα στερεών 13% θα υπολογίσουμε πόση ποσότητα ξηράς ιλύος με στερεά 80% χρειάζεται για την αύξηση της συγκέντρωσης στερεών.

$$7500 * 13\% + X * 80\% = (7500 + X) * 20\% \Rightarrow X = \frac{7500 * (20\% - 13\%)}{80\% - 20\%}$$

$$\cong 875 \frac{\text{τόνοι ξηράς ιλύος 80\%}}{\text{έτος}}$$

Επομένως, ο συνολικός προς διαχείριση όγκος είναι

$$7500+875=8375 \text{ τόνοι ιλύος 20 DS}$$

Ο τελικός όγκος της ξηρής ιλύος 80% DS θα είναι :

$$7500 * 13\% = X * 80\% \Rightarrow X = \frac{7500 * 13\%}{80\%} \cong 1219 \frac{\text{τόνοι ξηράς ιλύος 80\%}}{\text{έτος}}$$

Για τη μελέτη περίπτωσης επιλέχθηκε ανοιχτή διάταξη σε θερμοκήπιο με χρήση του ρομποτικού κινητού αναστροφέα Δαίδαλος (Mole).

Τα θερμοκήπια είναι δυναμικότητας 2000 τόνων έκαστο και έχουν διαστάσεις

Μήκος: 76 m , Πλάτος:12,5 m , Ύψος : 4,5 m

Έκταση Θερμοκηπίου :

$$\text{μήκος} \times \text{πλάτος} = 76 * 12,5 = 950 \text{ m}^2$$

Επομένως, για τη διαχείριση 8375 τόνων απαιτούνται :

$$\text{Αρ. Θερμοκηπίων} = \frac{8375 \frac{\text{τόνοι}}{\text{έτος}}}{2000 \frac{\text{τόνοι}}{\text{θερμοκήπιο}}} = 4,18 \text{ θερμοκήπια} \cong 5 \text{ θερμοκήπια}$$

Η συνολική έκταση των θερμοκηπίων ανέρχεται σε  $950 \frac{m^2}{\text{θερμοκήπιο}} * 5 \text{ θερμοκήπια} = 4.750 m^2$

η οποία είναι μικρότερη από τη διαθέσιμη έκταση.

Στην υπολειπόμενη έκταση μπορεί να κατασκευαστεί ένας χώρος αποθήκευσης για όσο διάστημα διαρκεί ο μέγιστος κύκλος, ήτοι 23 ημέρες. Με ημερήσια παραγωγή 30 τόνων και πενθήμερη λειτουργία της μονάδας αφυδάτωσης σε 23 ημέρες (το πολύ 17 εργάσιμες) παράγονται :

$$17 \text{ ημέρες} * 30 \frac{tn}{\text{ημέρα}} = 510 tn \sim 510 m^3$$

Εάν υποθέσουμε ότι κατασκευάζουμε ένα χώρο αποθήκευσης με τοίχιο ύψους 2 μέτρων τότε αρκούν

$$\frac{510 m^3}{2m} = 255 m^2$$

τα οποία είναι διαθέσιμα εντός της ΕΕΛ.

Η ιλύς απλώνεται εντός του θερμοκηπίου με τη χρήση φορτωτή σε ένα ομοιόμορφο στρώμα ύψους 10 cm. Κατά τη διάρκεια του κύκλου η παραγόμενη ιλύς αποθηκεύεται στο χώρο αποθήκευσης. Με τη ολοκλήρωση του κύκλου (Μ.Ο. 18 ημέρες, διαφέρει ανάλογα με την εποχή) η ξηρή ιλύς αφαιρείται με τον φορτωτή και οδηγείται προς διάθεση ενώ απλώνεται ένα νέο στρώμα με την αποθηκευμένη ιλύ.

Η ανάμιξη-ανάδευσης της ιλύος γίνεται αυτόματα από το ρομποτικό όχημα σύμφωνα με έναν αλγόριθμο ο οποίος αξιοποιεί και τις μετρήσεις υγρασίας του αισθητηρίου του οχήματος, ώστε να επιμένει σε περιοχές που για κάποιον λόγο δεν ακολουθούν τον αναμενόμενο ρυθμό ξήρανσης.

Επίσης, σύμφωνα με πραγματικές μετρήσεις η κατανάλωση ενέργειας για τη λειτουργία του θερμοκηπίου (λειτουργία οχήματος και αερισμού) ανέρχεται σε 67,02 kWh/ tn εξατμιζόμενου νερού. Επομένως, έχουμε :

$$\text{αρχική υγρασία} - \text{τελική υγρασία} = 80\% - 13\%$$

$$= 67\% \text{ ή } 670 \frac{\text{kg εξετμιζόμενου } H_2O}{\text{tn αφυδατωμένης ιλύος}}$$

Στην πραγματικότητα, η μεταβολή της υγρασίας είναι από 20% σε 80% αφού προσθέτουμε ξηρά ιλύ, ώστε να έχουμε ένα πιο συνεκτικό μίγμα. Όμως η ποσότητα του νερού που πρέπει να αφαιρεθεί είναι η σταθερή ανεξάρτητη από αυτήν την αραίωση.

$$\begin{aligned} \text{Απαιτούμενη ενέργεια} &= 67,02 \frac{\text{kWh}}{\text{tn εξετμιζόμενου } H_2O} * 0,67 \frac{\text{tn εξετμιζόμενου } H_2O}{\text{tn αφυδατωμένης ιλύος}} \\ &= 44,90 \frac{\text{kWh}}{\text{tn αφυδατωμένης ιλύος}} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{Κόστος ενέργειας} &= 0,08 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * 44,90 \frac{\text{kWh}}{\text{tn αφυδατωμένης ιλύος}} \\ &= 3,59 \frac{\text{€}}{\text{tn αφυδατωμένης ιλύος}} \text{ ή } 27,62 \frac{\text{€}}{\text{tn DS}} \end{aligned}$$

Η διαδικασία της αφαίρεσης της ξηράς ιλύος και της εισαγωγής στο θερμοκήπιο νέας από τον φορτωτή διαρκεί περίπου 10 ώρες ανά θερμοκήπιο. Σε κάθε κύκλο ανά θερμοκήπιο επεξεργάζονται περίπου 100 τόνοι ιλύος μετά τη διόρθωση των στερεών ή περίπου 90 τόνοι αφυδατωμένης ιλύος. Η χρέωση ανά ημέρα (περίπου 10ώρες, ή ανά κύκλο) για τη χρήση του φορτωτή ανέρχεται περίπου στα 250 ευρώ.

Το συνολικό κόστος λειτουργίας της μονάδας ηλιακής ξήρανσης ανέρχεται σε :

$$3,59+2,78=6,37 \frac{\text{€}}{\text{tn αφυδατωμένης ιλύος}} \text{ ή } 27,62+21,36=48,98 \frac{\text{€}}{\text{tn DS}}$$

Το κόστος κατασκευής κάθε θερμοκηπίου μαζί με το ρομποτικό όχημα και όλους τους αυτοματισμούς εκτιμάται σε 600.000 ευρώ . Επομένως, το συνολικό κόστος της επένδυσης είναι :

$$\text{Συνολικό Κόστος Επένδυσης} = 600.000,00\text{€} * 5 = 3.000.000,00 \text{ €}$$

Το ΚΕΚ υπολογίστηκε από την σχέση 4-1 για N=15 και ε=0,08 ίσο με K\*0,117.



Το κόστος εξυπηρέτησης κεφαλαίου υπολογίστηκε από την σχέση 4-2 σε :

$$46,73 \frac{\text{€}}{\text{tn Ιλύος}} \text{ ή } 359,49 \frac{\text{€}}{\text{tn DS}}$$

Ενώ το κόστος συντήρησης από τη σχέση 4-3 (με ετήσιο συντελεστή 3%) σε :

$$12,00 \frac{\text{€}}{\text{tn Ιλύος}} \text{ ή } 92,31 \frac{\text{€}}{\text{tn DS}}$$

**Πίνακας 19: Κόστος ηλιακής ξήρανσης**

Ανάλυση Κόστους	Υγρής Ιλύος	Ξηρής Ιλύος
<b>Κόστος προμήθειας και εγκατάστασης</b>	<b>3.000.000,00 €</b>	<b>3.000.000,00 €</b>
<b>Κόστος εξυπηρέτησης κεφαλαίου</b>	<b>46,73€/tn</b>	<b>359,49€/tn DS</b>
<b>Λειτουργικά Κόστη</b>		
Κόστος ενέργειας	3,59 €/tn	27,62 €/tn DS
Κόστος συντήρησης	12,00 €/tn	92,31 €/tn DS
Κόστος προσωπικού	2,78€/tn	21,36 €/tn DS
<b>Συνολικό λειτουργικό κόστος</b>	<b>18,37 €/tn</b>	<b>141,29 €/tnDS</b>
<b>Συνολικό</b>	<b>65,10 €/tn</b>	<b>500,78 €/tn DS</b>

#### 4.5.2. Κομποστοποίηση

Σύμφωνα με τους Yuan-SongWei et al. (2001), η αερόβια κομποστοποίηση ενδείκνυται για μικρές εγκαταστάσεις, ενώ για εγκαταστάσεις με παραγωγή μικρότερη από 28 tn/ημέρα είναι συμφερότερη η κατασκευή μίας διάταξης κομποστοποίησης εντός της εγκατάστασης. Σύμφωνα με τους ανωτέρω, το κόστος επεξεργασίας ιλύος με την μέθοδο της κομποστοποίησης κυμαίνεται από 42,41 έως 133,16 ευρώ/ τόνο ξηρής ιλύος. Επομένως, σύμφωνα με την παραγωγή ιλύος της εγκατάστασης που μελετάται, η οποία ανέρχεται στους 30 τόνους περίπου ανά ημέρα, θα πρέπει να εξετασθεί λεπτομερέστερα εάν συμφέρει η κατασκευή μίας διάταξης κομποστοποίησης εντός της ΕΕΛ Κ-Λ.

Ακολουθούν υπολογισμοί για τον προσδιορισμό κάποιων παραμετρικών τιμών απαραίτητων για το σχεδιασμό της διεργασίας της κομποστοποίησης.

Η περιεκτικότητα % σε άνθρακα υπολογίζεται από τον τύπο (Κατσίρη,2012)

$$C\% = \frac{VS\%}{1.8}$$

Για την ιλύ της περίπτωσης μας έχουμε:

$$C\% = \frac{9.25\%}{1.8} = 5.16\%$$

$$N\% = 0.824\%$$

$$\frac{C}{N} = \frac{5.16}{0.824} = 6.26$$

Για το άζωτο και το φώσφορο έχουμε:

$$N\%DS = \frac{8,24 \frac{kg N}{tn \text{ υγρής ιλύος}}}{0,1244 \frac{tn DS}{tn \text{ υγρής ιλύος}}} = 66,24 \frac{kg N}{tn DS}$$

$$P\%DS = \frac{1,72 \frac{kg N}{tn \text{ υγρής ιλύος}}}{0,1244 \frac{tn DS}{tn \text{ υγρής ιλύος}}} = 13,83 \frac{kg N}{tn DS}$$

Για τη μελέτη περίπτωσης επιλέχθηκε ανοιχτή διάταξη κομποστοποίησης (υπαίθρια ή σε θερμοκήπιο) με χρήση του κινητού αναστροφέα 16.30 του οίκου Bakhus. Για την αποτελεσματική κομποστοποίηση ιλύος απαιτείται προσθήκη κάποιου πρόσθετου υλικού (bulking agent) για τη μείωση της υγρασίας, την αύξηση του πορώδους, τη βελτίωση του λόγου C:N καθώς αυτός είναι αρκετά μικρός.

Σύμφωνα με τον κατασκευαστή, χωρίς να εξετάζουμε τις αναλογίες C και N, για την διαδικασία της κομποστοποίησης απαιτείται διογκωτικό υλικό σε αναλογία 1:1 έως 1:2.

Εξετάζοντας αναλυτικότερα τους λόγους C:N έχουμε :

C = η περιεκτικότητα σε άνθρακα, %

N = η περιεκτικότητα σε άζωτο, %

M = η υγρασία, %

Θεωρούμε ως διογκωτικό υλικό φύλλα, κλαδιά (φρέσκα) τα οποία έχουν παραπλήσια συγκέντρωση αζώτου με την ιλύ και λόγο C:N ~60 και υγρασία 15% (Σκαρβέλης, 2004). Αν έχουμε δύο υλικά και είναι γνωστός ο λόγος C/N του κάθε υλικού, τότε η ποσότητα Q<sub>2</sub> του δεύτερου υλικού που πρέπει να αναμειχθεί με την ποσότητα Q<sub>1</sub> του πρώτου υλικού

δίνεται από τη σχέση :

$$Q_2 = \frac{Q_1 \times N_1 \left( \frac{C}{N} - \frac{C_1}{N_1} \right) \times (100 - M_1)}{N_2 \left( \frac{C_2}{N_2} - \frac{C}{N} \right) \times (100 - M_2)} = 5611 \text{ tn/έτος}$$

Θεωρούμε αναλογία διογκωτικού υλικού 1:1,5. Για τη μελέτη περίπτωσης θα χρειαστούν επομένως 7500 x 1,5 = 11250 τόνοι διογκωτικού υλικού. Με δεδομένη ετήσια ποσότητα ιλύος 7.500 m<sup>3</sup> ο συνολικός αρχικός ετήσιος όγκος προς επεξεργασία θα είναι 18750 ανά έτος. Το μίγμα ιλύος – διογκωτικού θα διαμορφωθεί σε σειράδια με πλάτος 3 μέτρα, ύψος κορυφής 1,30 m και απόσταση μεταξύ τους 0,5 m. Λαμβάνοντας υπόψη τις διαστάσεις του διαθέσιμου χώρου για κάθε στρέμμα έκτασης θα έχουμε 4 σειράδια των ανωτέρω διαστάσεων με μήκος 74 μέτρα. Δεδομένου ότι κάθε σειράδι δεν είναι ακριβώς τριγωνικό το εμβαδό υπολογίζεται από τον εμπειρικό τύπο :

$$\text{εμβαδό τομής σειραδιού} = \frac{\text{βάση} * \text{ύψος}}{1,779}$$

Επομένως, ο συνολικός όγκος των σειραδιών ανά στρέμμα είναι:

$$\text{εμβαδό} * \text{μήκος} * \text{αρ. σειραδιών} = \frac{3 * 1,30}{1,779} * 74 * 4 = 650 \text{ m}^3.$$

Ο κύκλος κάθε παρτίδας θα είναι 60 ημέρες. Επομένως, κάθε στρέμμα μπορεί να επεξεργάζεται ετησίως 6 παρτίδες ή 3.900 m<sup>3</sup> μίγματος προς κομποστοποίηση. Για δεδομένο όγκο ιλύος και διογκωτικού υλικού 18750 m<sup>3</sup> θα απαιτηθεί έκταση 4,8 στρεμμάτων η οποία είναι διαθέσιμη εντός της ΕΕΛ.

Θεωρώντας τελική συγκέντρωση στερεών 80%, ο τελικός προς διαχείριση όγκος της ιλύος θα είναι :

$$7500 * 13\% + 5611 * 12\% = X * 70\% \Rightarrow X = \frac{7500 * 13\% + 5611 * 12\%}{70\%}$$

$$\cong 2355 \frac{\text{τόνοι ξηράς ιλύος 80\%}}{\text{έτος}}$$

Από την ποσότητα αυτή το ποσοστό της ιλύος είναι :

$$\text{Ποσότητα ιλύος DS\%} = 7500 * 13\% = 975 \frac{\text{τόνοι DS ιλύος}}{\text{έτος}}$$

$$\text{Ποσότητα Βιομάζας DS\%} = 5611 * 12\% = 673,3 \frac{\text{τόνοι DS βιομάζας}}{\text{έτος}}$$

$$\text{Ιλύς\%} = \frac{100 * 673,3}{975} \cong 69\%$$

Σύμφωνα με πιλοτικές δοκιμές που έχουν γίνει, η εταιρεία προτείνει αναστροφή κάθε 4 ημέρες και υπολογίζει χρόνο αναστροφής περίπου 1 ώρα ανά στρέμμα οπότε για την περίπτωση μας έχουμε:

$$1,02 \frac{\text{ώρες}}{\text{αναστροφή} - \text{στρέμμα}} * 15 \frac{\text{αναστροφές}}{\text{μήνα} - \text{στρέμμα}} * 4,8 \text{ στρέμματα}$$

$$* 6 \frac{\text{παρτίδες}}{\text{έτος}} = 441 \frac{\text{ώρες}}{\text{έτος}}$$

$$441 \frac{\text{ώρες}}{\text{έτος}} * 8,5 \frac{\text{λίτρα Diesel}}{\text{ώρα}} = 3.749 \frac{\text{λίτρα Diesel}}{\text{έτος}} \Rightarrow$$

$$\frac{3.749 \frac{\text{λίτρα Diesel}}{\text{έτος}}}{7500 \frac{\text{tn υγρής ιλύος}}{\text{έτος}}} * 1,40 \frac{\text{ευρώ}}{\text{λίτρο Diesel}} = 0,698 \frac{\text{ευρώ}}{\text{tn υγρής ιλύος}}$$

Εάν θεωρήσουμε ότι το διογκωτικό υλικό θα πρέπει να τεμαχισθεί από την εγκατάσταση τότε θεωρώντας έναν τεμαχιστή δυναμικότητας 30 m<sup>3</sup>/hέχουμε:

$$\frac{11250 \frac{m^3 \text{ κλαδέματα}}{\text{έτος}}}{30 \frac{m^3}{\text{ώρα}}} = 375 \frac{\text{ώρες}}{\text{έτος}} \Rightarrow 375 \frac{\text{ώρες}}{\text{έτος}} * 19,5 \frac{\text{λίτρα Diesel}}{\text{ώρα}}$$

$$= 7312,50 \frac{\text{λίτρα Diesel}}{\text{έτος}} \Rightarrow$$

$$\frac{7.312,50 \frac{\text{λίτρα Diesel}}{\text{έτος}}}{7500 \frac{\text{tn υγρής ιλύος}}{\text{έτος}}} * 1,40 \frac{\text{ευρώ}}{\text{λίτρο Diesel}} = 1,365 \frac{\text{ευρώ}}{\text{tn υγρής ιλύος}}$$

Σύμφωνα με την κατασκευάστρια εταιρεία του αναστροφέα, ως διογκωτικό υλικό θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και η ίδια η ξηραμένη ιλύς.

Αυτή θα είναι και η θεώρηση για την περίπτωση ώστε να αποφύγουμε αφενός μεν το κόστος του τεμαχιστή, αφετέρου δε το πρόβλημα της συνεχούς τροφοδοσίας της εγκατάστασης με προς θρυμματισμό υλικό. Ένα μέρος υλικών μπορεί εύκολα και χωρίς κόστος να αξιοποιηθεί από αυτό που ήδη καταλήγει στον τοπικό ΧΑΔΑ. Ένα εναλλακτικό σενάριο θα ήταν η προμήθεια βιομάζας ως πληρωτικό υλικό. Οι τιμές αγοράς για τη βιομάζα κυμαίνονται περί τα 80 ευρώ/τόνο και θεωρώντας πυκνότητα 300 kg/m<sup>3</sup> έχουμε:

$$\text{Απαιτούμενη ποσότητα βιομάζας} = 11250 \frac{m^3 \text{ βιομάζας}}{\text{έτος}} * 300 \frac{kg}{m^3 \text{ βιομάζας}} *$$

$$80 \frac{\text{ευρώ}}{1000 \text{ κιλά βιομάζας}} * \frac{1}{7500 \frac{\text{tn υγρής ιλύος}}{\text{έτος}}} = 36 \frac{\text{ευρώ}}{\text{tn υγρής ιλύος}}$$

Είναι προφανές ότι το παραπάνω κόστος είναι εξαιρετικά υψηλό οπότε ένα τέτοιο σενάριο είναι ασύμφορο.

Για να υπάρχει εξασφαλισμένη απόδοση της διεργασίας όλο το χρόνο, και ιδίως το χειμώνα που οι βροχοπτώσεις είναι συχνές και οι θερμοκρασίες υψηλές προτείνεται η κατασκευή ενός θερμοκηπίου. Ύστερα από σχετική έρευνα αγοράς, διαπιστώθηκε ότι ένα απλό θερμοκήπιο ελαφριάς κατασκευής κοστίζει περίπου 40.000 ευρώ ανά στρέμμα. Θεωρούμε κατασκευή θερμοκηπίων συνολικής έκτασης 5 στρεμμάτων και

λαμβάνοντας υπόψη και τις τιμές του αντιπροσώπου Ελλάδας για τον αναστροφέα έχουμε :

Κόστος Αναστροφέα Bakhus: 65.000,00 ευρώ

Κόστος θερμοκηπίων έκτασης 5 στρεμμάτων : 200.000,00 ευρώ

Συνολικό Κόστος Επένδυσης : 265.000,00 ευρώ

Το ΚΕΚ υπολογίστηκε από την σχέση 4-1 για N=15 και  $\epsilon=0,08$  ίσο με  $K*0,117$ .

Το κόστος εξυπηρέτησης κεφαλαίου υπολογίστηκε σύμφωνα με την σχέση 4-2 σε :

$$4,13 \frac{\text{€}}{\text{tn Ιλύος}} \text{ ή } 31,75 \frac{\text{€}}{\text{tn DS}}$$

Ενώ το κόστος συντήρησης από την σχέση 4-3 (με ετήσιο συντελεστή 3%) σε :

$$1,06 \frac{\text{€}}{\text{tn Ιλύος}} \text{ ή } 8,15 \frac{\text{€}}{\text{tn DS}}$$

Θεωρούμε επίσης έναν εργαζόμενο ο οποίος θα απασχολείται καθημερινώς με τη διαδικασία με κόστος 1,25€ ανά τόνο αφυδατωμένης ιλύος.

**Πίνακας 20: Κόστος κομποστοποίησης χωρίς τεμαχιστή και με πληρωτικό υλικό ιλύ**

Ανάλυση Κόστους	Υγρής Ιλύος	Ξηρής Ιλύος
<b>Κόστος προμήθειας και εγκατάστασης</b>	<b>265.000,00 €</b>	<b>265.000,00 €</b>
<b>Κόστος εξυπηρέτησης κεφαλαίου</b>	<b>4,13€/tn</b>	<b>31,75€/tn DS</b>
<b>Λειτουργικά Κόστη</b>		
Κόστος ενέργειας (καυσίμων)	0,70 €/tn	5,38 €/tn DS
Κόστος συντήρησης	1,06 €/tn	8,15 €/tn DS
Κόστος προσωπικού	1,25€/tn	9,62 €/tn DS
<b>Συνολικό λειτουργικό κόστος</b>	<b>3,01 €/tn</b>	<b>23,15 €/tnDS</b>
<b>Συνολικό</b>	<b>7,14 €/tn</b>	<b>54,91 €/tn DS</b>

Εάν υπολογίσουμε και την προμήθεια τεμαχιστή :

Κόστος τεμαχιστή δυναμικότητας 30m<sup>3</sup>/h μέγιστης διατομής 15 cm : 130.000,00 ευρώ

Συνολικό Κόστος Επένδυσης με τεμαχιστή: 395.000,00 ευρώ

Ομοίως έχουμε:

Κόστος εξυπηρέτησης κεφαλαίου:

$$6,15 \frac{\text{€}}{\text{tn Ιλύος}} \text{ ή } 47,33 \frac{\text{€}}{\text{tn DS}}$$

Κόστος συντήρησης:

$$1,58 \frac{\text{€}}{\text{tn Ιλύος}} \text{ ή } 12,14 \frac{\text{€}}{\text{tn DS}}$$

**Πίνακας 21: Κόστος κομποστοποίησης με τεμαχιστή και πληρωτικό υλικό βιομάζα**

Ανάλυση Κόστους	Υγρής Ιλύος	Ξηρής Ιλύος
<b>Κόστος προμήθειας και εγκατάστασης</b>	<b>395.000,00 €</b>	<b>395.000,00 €</b>
<b>Κόστος εξυπηρέτησης κεφαλαίου</b>	<b>6,15€/tn</b>	<b>47,33€/tn DS</b>
<b>Λειτουργικά Κόστη</b>		
Κόστος ενέργειας (καυσίμων)	2,07 €/tn	15,91 €/tn DS
Κόστος συντήρησης	1,58 €/tn	12,14 €/tn DS
Κόστος προσωπικού	1,25 €/tn	9,61 €/tn DS
<b>Συνολικό λειτουργικό κόστος</b>	<b>4,90 €/tn</b>	<b>37,66 €/tnDS</b>
<b>Συνολικό</b>	<b>11,05 €/tn</b>	<b>84,99 €/tn DS</b>

Παρατηρούμε ότι το κόστος σε κάθε περίπτωση είναι εντός του εύρους των Yuan-SongWei et al. (2001).

#### 4.5.3. Βιολογική Ξήρανση

Μία εναλλακτική της κομποστοποίησης λύση, είναι η βιολογική ξήρανση. Η διεργασία αυτή συνίσταται στην ξήρανση της ιλύος με αξιοποίηση της θερμότητας που παράγεται από τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών σε συνδυασμό με τη συχνή αναστροφή του σωρού. Η διαφορά με την κομποστοποίηση, έγκειται στο γεγονός, ότι στη βιολογική ξήρανση δεν υπάρχει παραγωγή χουμικών ενώσεων. Η σύσταση της ιλύος παραμένει σχεδόν η ίδια και το μόνο που αλλάζει είναι η μείωση της υγρασίας. Το τελικό προϊόν έχει χαμηλά ποσοστά υγρασίας, είναι ικανοποιητικά συνεκτικό, συνήθως είναι επαρκώς υγειονοποιημένο ενώ έχει χαμηλή αγρονομική αξία σε σχέση με το κομπόστ. Ωστόσο, το πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δεν χρειάζεται πρόσθετο υλικό για τη διόρθωση του λόγου C:N, ενώ για την επίτευξη της σταθερότητας του σωρού αρκεί η ανάμιξη με ξηραμένη ιλύ.



**Εικόνα 5. Βιολογική ξήρανση εντός θερμοκηπίου με αυτοκινούμενο αναστροφέα**

Σύμφωνα με εμπειρικά στοιχεία, η ιλύς με περιεκτικότητα σε στερεά 22% μπορεί να υποστεί βιολογική ξήρανση χωρίς να χρειάζεται η προσθήκη κάποιου άλλου υλικού. Δεδομένου ότι η ιλύς της περίπτωσης έχει περιεκτικότητα στερεών 13% θα



υπολογίσουμε πόση ποσότητα ξηραμένης ιλύος με στερεά 70% χρειάζεται για την αύξηση της συγκέντρωσης στερεών.

$$7500 * 13\% + X * 70\% = (7500 + X) * 22\% \Rightarrow X = \frac{7500 * (22\% - 13\%)}{70\% - 22\%}$$

$$\cong 1400 \frac{\text{τόνοι ξηράς ιλύος 70\%}}{\text{έτος}}$$

Επομένως ο συνολικός προς διαχείριση όγκος είναι 7500+1400=8900 τόνοι

Ακολουθούν όμοιοι υπολογισμοί με αυτούς της κομποστοποίησης.

Για τη μελέτη περίπτωσης επιλέχτηκε ανοιχτή διάταξη σε θερμοκήπιο με χρήση του κινητού αναστροφέα 16.30 του οίκου Bakhus. Η ιλύς θα διαμορφωθεί σε σειράδια με πλάτος 3 μέτρα, ύψος κορυφής 1,30 m και απόσταση μεταξύ τους 0,5 m. Λαμβάνοντας υπόψη τις διαστάσεις του διαθέσιμου χώρου για κάθε στρέμμα έκτασης θα έχουμε 4 σειράδια των ανωτέρω διαστάσεων με μήκος 74 μέτρα. Δεδομένου ότι κάθε σειράδι δεν είναι ακριβώς τριγωνικό το εμβαδό υπολογίζεται από τον εμπειρικό τύπο :

$$\text{εμβαδό τομής σειραδιού} = \frac{\text{βάση} * \text{ύψος}}{1,779}$$

Συνεπώς, ο συνολικός όγκος των σειραδιών ανά στρέμμα είναι:

$$\text{εμβαδό} * \text{μήκος} * \text{αρ. σειραδιών} = \frac{3 * 1,30}{1,779} * 74 * 4 = 650 \text{ m}^3.$$

Ο κύκλος κάθε παρτίδας θα είναι 60 ημέρες. Επομένως, κάθε στρέμμα μπορεί να επεξεργάζεται ετησίως 6 παρτίδες ή 3.900 m<sup>3</sup> μίγματος προς κομποστοποίηση. Για δεδομένο όγκο ιλύος και διογκωτικού υλικού 8900m<sup>3</sup> θα απαιτηθεί έκταση 2,3 στρεμμάτων η οποία είναι διαθέσιμη εντός της ΕΕΛ.

Σύμφωνα με πιλοτικές δοκιμές που έχουν γίνει, η εταιρεία προτείνει αναστροφή κάθε 4 ημέρες και υπολογίζει χρόνο αναστροφής περίπου 1 ώρα ανά στρέμμα επομένως για την περίπτωση μας έχουμε:

$$1,02 \frac{\text{ώρες}}{\text{αναστροφή} - \text{στρέμμα}} * 15 \frac{\text{αναστροφές}}{\text{μήνα} - \text{στρέμμα}} * 2,3 \text{ στρέμματα} * 6 \frac{\text{παρτίδες}}{\text{έτος}}$$

$$= 211 \frac{\text{ώρες}}{\text{έτος}}$$

$$211 \frac{\text{ώρες}}{\text{έτος}} * 8,5 \frac{\text{λίτρα Diesel}}{\text{ώρα}} = 1.794 \frac{\text{λίτρα Diesel}}{\text{έτος}} \Rightarrow$$

$$\frac{1.794 \frac{\text{λίτρα Diesel}}{\text{έτος}}}{7500 \frac{\text{tn υγρής ιλύος}}{\text{έτος}}} * 1,40 \frac{\text{€}}{\text{λίτρο Diesel}} = 0,335 \frac{\text{€}}{\text{tn υγρής ιλύος}}$$

Για τον υπολογισμό του εργατικού κόστους (χειριστής αναστροφέα) θεωρώντας ωριαία αποδοχή 5 ευρώ έχουμε :

$$211 \frac{\text{ώρες}}{\text{έτος}} * 5 \frac{\text{€}}{\text{ώρα}} = 1.055 \frac{\text{€}}{\text{έτος}} \Rightarrow \frac{1.055 \frac{\text{€}}{\text{έτος}} \text{ ώρες}}{7500 \frac{\text{tn υγρής ιλύος}}{\text{έτος}}} = 0,14 \frac{\text{€}}{\text{tn υγρής ιλύος}}$$

Δεν απαιτείται η προσθήκη διογκωτικού υλικού (πλην κάποιας ποσότητας ξηραμένης ιλύος) επομένως, εξοικονομούνται αρκετά χρήματα από τη διαδικασία εύρεσης και προμήθειας υλικού προς τεμαχισμό, την προμήθεια τεμαχιστή και το λειτουργικό κόστος του τεμαχισμού.

Μετά την μείωση του βάρους της ιλύος η συνολική προς διαχείριση μάζα ανέρχεται σε

$$\frac{975 \frac{\text{tn DS}}{\text{έτος}}}{\frac{70 \text{tn DS}}{100 \text{tn}}} = 1.392,86 \frac{\text{tn 90\% DS}}{\text{έτος}}$$

Για να υπάρχει εξασφαλισμένη απόδοση της διεργασίας όλο το χρόνο, και ιδίως το χειμώνα που οι βροχοπτώσεις είναι συχνές και οι θερμοκρασίες υψηλές προτείνεται η κατασκευή ενός θερμοκηπίου. Ύστερα από σχετική έρευνα αγοράς διαπιστώθηκε ότι ένα απλό θερμοκήπιο ελαφριάς κατασκευής κοστίζει περίπου 40.000 ευρώ ανά στρέμμα. Θεωρούμε κατασκευή θερμοκηπίων συνολικής έκτασης 5 στρεμμάτων και λαμβάνοντας υπόψη και τις τιμές του αντιπροσώπου Ελλάδας για τον αναστροφέα έχουμε :

Κόστος Αναστροφέα Bakhus: 65.000,00 ευρώ

Κόστος θερμοκηπίων έκτασης 3 στρεμμάτων : 120.000,00 ευρώ

Συνολικό Κόστος Επένδυσης : 185.000,00 ευρώ

Το ΚΕΚ υπολογίστηκε από την σχέση 4-1 για N=15 και ε=0,08 ίσο με Κ\*0,117.

Το κόστος εξυπηρέτησης κεφαλαίου υπολογίστηκε σύμφωνα με την σχέση 4-2 σε :

$$2,88 \frac{\text{€}}{\text{tnIλύος}} \text{ ή } 22,16 \frac{\text{€}}{\text{tnDS}}$$

Ενώ το κόστος συντήρησης από την σχέση 4-3 (με ετήσιο συντελεστή 3%) σε :

$$0,74 \frac{\text{€}}{\text{tnIλύος}} \text{ ή } 5,69 \frac{\text{€}}{\text{tnDS}}$$

**Πίνακας 22: Κόστος βιολογικής ξήρανσης**

Ανάλυση Κόστους	Υγρής Ιλύος	Ξηρής Ιλύος
<b>Κόστος προμήθειας και εγκατάστασης</b>	<b>185.000,00 €</b>	<b>185.000,00 €</b>
<b>Κόστος εξυπηρέτησης κεφαλαίου</b>	<b>2,88€/tn</b>	<b>22,16€/tn DS</b>
<b>Λειτουργικά Κόστη</b>		
Κόστος ενέργειας (καυσίμων)	0,34 €/tn	2,62 €/tn DS
Κόστος Συντήρησης	0,74 €/tn	5,65 €/tn DS
Κόστος προσωπικού	0,14€/tn	1,08 €/tn DS
<b>Συνολικό λειτουργικό κόστος</b>	<b>1,22 €/tn</b>	<b>9,57 €/tnDS</b>
<b>Συνολικό</b>	<b>4,10 €/tn</b>	<b>31,51 €/tn DS</b>

#### 4.5.4. Ανάμιξη με χώμα

Η παραγόμενη υλύς της εγκατάστασης που μελετάται είναι αρκετά υδαρής και συνεπώς δύσκολα διαχειρίσιμη. Μία λύση για την άμεση αύξηση των στερεών, την βελτίωση της ευκολίας διαχείρισης της και τη μείωση του μικροβιακού φορτίου είναι η απλή ανάμιξη με χώμα. Το χώμα, κατά το δυνατό αμμώδες, αναμιγνύεται με την υλύ σε κατάλληλη αναλογία απορροφώντας την υψηλή υγρασία της υλούς και δίνοντας έτσι ένα προϊόν με υψηλή συγκέντρωση στερεών. Το τελικό προϊόν χαρακτηρίζεται από σημαντικά μικρότερη συγκέντρωση παθογόνων μικροοργανισμών και κυρίως από βελτίωση της διαχειρισιμότητάς του. Το τελικό προϊόν είναι πολλαπλάσιο σε όγκο από τον όγκο της αφυδατωμένης υλούς αλλά παραπέμπει περισσότερο σε χώμα πλούσιο σε οργανικά παρά σε υλύ. Στο μίγμα που δημιουργείται παρατηρείται μικροβιακή δραστηριότητα με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας των σωρών. Οι σωροί αναδεύονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα (περίπου κάθε 20 ημέρες). Η ανάδευση σε συνδυασμό με την αύξηση της θερμοκρασίας του σωρού, συνέπεια της μικροβιακής δραστηριότητας, βοηθά στην ξήρανση του σωρού, ο οποίος αναλόγως με την εποχή (θερμοκρασία περιβάλλοντος, βροχοπτώσεις, ηλιοφάνεια) μετά από κάποιο διάστημα μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί. Κατά τη δοκιμή της μεθόδου αυτής σε μείγμα χώμα – υλύς 1:1, ύστερα από διάστημα 2-3 μηνών μετρήθηκε θερμοκρασία 42<sup>o</sup>C, η οποία ήταν η μέγιστη που μετρήθηκε για όλο το διάστημα των δοκιμών. Δεδομένου ότι δεν υπάρχουν βιβλιογραφικές αναφορές για αυτήν τη μέθοδο, ένα από τα κριτήρια που θεσπίσαμε για την παρακολούθηση της είναι η περιεκτικότητα του τελικού μίγματος σε οργανικά. Τη μεγαλύτερη συγκέντρωση οργανικών σε χώματα την συναντάμε στα χουμικά φυτοχώματα των οποίων η περιεκτικότητα σε οργανικές ενώσεις (κυρίως χουμικές) κυμαίνεται από 15 έως 20%. Σύμφωνα με ένα χάρτη που εξέδωσε Ευρωπαϊκή Επιτροπή (European Community 2005) σχετικά με την περιεκτικότητα των επιφανειακών εδαφών των κρατών-μελών της, η μέγιστη συγκέντρωση οργανικού άνθρακα στην Ελλάδα κυμαίνεται στα επίπεδα 0-2% ενώ σε κάποια ορεινά αγγίζει και το 12%. Αντίθετα στις βόρειες χώρες εδάφη κοντά σε δάση έχουν συγκεντρώσεις που ξεπερνούν το 35%. Είναι εμφανές, επομένως, ότι η

Ελλάδα έχει εδάφη εξαιρετικά φτωχά σε οργανικό υλικό και επομένως υπάρχει μεγάλο περιθώριο για τον εμπλουτισμό τους με άνθρακα.



**Εικόνα 6. Αριστερά παρθένο χώμα , δεξιά χώμα με ιλύ ύστερα από 3 φορές επαναχρησιμοποίηση και άρα τελική περιεκτικότητα ιλύος της τάξεως του 12%**

Στη μελέτη περίπτωσης αναδεύουμε ένα μέρος ιλύος με στερεά 13% (10,4% VSS) με 3 μέρη χώματος με στερεά 96% (3% VSS). Επομένως, μετά από κάθε ανάδευση έχουμε :

$$DS_{\text{μίγματος}} = \frac{1}{4} * 13\% DS + \frac{3}{4} * 96\% DS = 75,25\% DS$$

$$VSS_{\text{μίγματος}} = \frac{1}{4} * 10,4\% VSS + \frac{3}{4} * 3\% VSS = 4,85\% VSS$$

Συνεπώς, εφόσον το μίγμα ξηραθεί μπορεί να χρησιμοποιηθεί όσες φορές απαιτηθεί, χωρίς περιορισμό. Όσο αυξάνουν οι φορές που επαναχρησιμοποιούμε το ίδιο μίγμα, τόσο οι συγκεντρώσεις του τελικού προϊόντος τείνουν σε αυτές της ιλύος.

Κάθε φορτίο αφυδατωμένης ιλύος μεταφέρεται σε κατάλληλο χώρο όπου για κάθε ένα μέρος ιλύος προστίθενται 3 μέρη ξηρού χώματος. Τα χαρακτηριστικά των δύο υλικών έτσι όπως αυτά έχουν προκύψει ύστερα από σχετικές μετρήσεις είναι :

**Πίνακας 23: Συγκεντρώσεις στερεών κατά την ανάμιξη με χώμα**

	Ιλύς	Χώμα	Ανάμικτο Υλικό 1:3
TS%	13 %	96 %	75 %
VSS%	10.4 %	3 %	4,75 %

**Πίνακας 24: Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων και λοιπών στοιχείων της ιλύος αυξανόμενου του αριθμού επαναχρησιμοποιήσεων του ίδιου μίγματος**

Στοιχείο	Ιλύς	Χώμα	Συγκέντρωση μετά από κάθε επαναχρησιμοποίηση του μίγματος										ΚΥΑ 805658//4225/1991
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
DS	13	97	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
VSS (g/kgDS)	800	30	223	367	475	556	617	663	697	723	742	757	
Cr (mg/kgDS)	56,18	0	14	25	32	38	43	46	49	51	52	53	500
Pb (mg/kgDS)	119,6	0	30	52	69	82	91	98	104	108	111	113	1200
Ni (mg/kgDS)	48,02	0	12	21	28	33	37	39	42	43	44	45	400
Cd (mg/kgDS)	0,73	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	40
Cu (mg/kgDS)	437,2	0	109	191	253	299	333	359	379	393	404	413	1750
Hg (mg/kgDS)	1,63	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	2	25
Zn (mg/kgDS)	1330	0	332	582	769	909	1014	1093	1152	1197	1230	1255	4000
TN (g/kgDS)	82,4	0	21	36	48	56	63	68	71	74	76	78	
TP (g/kgDS)	17,2	0	4	8	10	12	13	14	15	15	16	16	

Η ανάδευση των υλικών γίνεται συνήθως μία φορά ανά ημέρα , δηλαδή ανά 30 τόνους ιλύος. Έπειτα, το ανάμικτο υλικό μεταφέρεται σε διπλανό σημείο

σχηματίζοντας ψηλούς σωρούς έτσι ώστε αφενός να είναι εφικτή η αποστράγγιση τυχόν υγρών, αφετέρου να αυξηθεί η επιφάνεια επαφής με τον αέρα και την ηλιακή ακτινοβολία και να επιταχυνθεί η ξήρανση. Ανά τακτά χρονικά διαστήματα ο όγκος αυτός του ανάμικτου υλικού αναδεύεται ώστε να ξηραθεί όλο το υλικό. Το ελάχιστο χρονικό διάστημα για την ξήρανση του ανάμικτου υλικού είναι 2 μήνες για την καλοκαιρινή περίοδο και έως 6 μήνες για τη χειμερινή. Μετά την ξήρανση το υλικό αυτό επαναχρησιμοποιείται στις ίδιες περίπου αναλογίες. Στο πεδίο έχει γίνει επαναχρησιμοποίηση έως και τρεις φορές ενώ θεωρητικά θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί αρκετές παραπάνω φορές. Μάλιστα ενώ με την επαναχρησιμοποίηση αυξάνεται ο αριθμός των οργανικών και θα περίμενε κανείς να είναι όλο και πιο δύσκολη η διαδικασία ξήρανσης του μίγματος κάτι τέτοιο δεν φαίνεται να συμβαίνει. Δηλαδή, όταν το μίγμα χώματος-ιλύος ξηραθεί ικανοποιητικά τότε έχει την ίδια ακριβώς απόδοση και συμπεριφορά όπως το παρθένο χώμα, ανεξάρτητα από την περιεκτικότητα σε άνθρακα, δηλαδή ανεξάρτητα από το πόσες φορές έχει επαναχρησιμοποιηθεί. Η έκταση η οποία χρησιμοποιείται για αυτή την χρήση είναι περίπου 5,5 στρέμματα ενώ ο συνολικό όγκος χώματος ο οποίος απαιτείται για ένα έτος με επαναχρησιμοποίηση του ανάμικτου υλικού μία φορά είναι :

$$\begin{aligned} \text{Απαιτούμενα } m^3 \text{ χώματος} &= 7500 \frac{\text{tn ιλύς}}{\text{έτος}} * 3 \frac{\text{tn χώμα}}{\text{tn ιλύος}} * \frac{\text{έτος}}{2 \text{ φορές επαν/ση}} \\ &= 11.259 m^3 \text{ χώματος κατ'έτος} \end{aligned}$$

$$\text{Απαιτούμενη έκταση (m}^2\text{)} = \frac{11.259 m^3}{4 m \text{ βάθος εκσκαφής}} = 2.812,50 m^2 \text{ γής}$$

Αν θεωρήσουμε επαναχρησιμοποίηση έως 5 φορές η έκταση επαρκεί.

$$\begin{aligned} \text{Απαιτούμενα } m^3 \text{ χώματος} &= 7500 \frac{\text{tn ιλύς}}{\text{έτος}} * 3 \frac{\text{tn χώμα}}{\text{tn ιλύος}} * \frac{\text{έτος}}{5 \text{ φορές επαν/ση}} \\ &= 4.500 m^3 \text{ χώματος κατ'έτος} \end{aligned}$$

$$\text{Απαιτούμενη έκταση (m}^2\text{)} = \frac{4.500 m^3}{4 m \text{ βάθος εκσκαφής}} = 1.125 m^2 \text{ γής}$$

Επομένως εάν χρησιμοποιήσουμε όλο το χώμα της διαθέσιμης έκτασης η οποία είναι περίπου 5.500 m<sup>2</sup> σε βάθος 4 μέτρων η μέθοδος της ανάμιξης της ιλύος με

χώμα μπορεί να καλύψει διάστημα έως πέντε ετών πριν χρειαστεί η απομάκρυνση του κορεσμένου χώματος και η μεταφορά καθαρού ξηρού χώματος. Εφόσον το μίγμα έχει ξηραθεί ικανοποιητικά, δεν φαίνεται να υπάρχει κάποιος περιορισμός ως προς τον αριθμό των επαναχρησιμοποιήσεων. Εάν υπολογισθεί ότι κάθε χρόνο προστίθενται 975 τόνοι ξηράς ιλύος τότε στην πενταετία θα έχουμε ένα όφελος περίπου 5.000 τόνων το οποίο θα μας εξοικονομήσει ποσότητα χώματος.

Η τελική ποσότητα για επαναχρησιμοποίηση του μίγματος 5 φορές προκύπτει εάν χωρίσουμε την ετήσια παραγωγή ιλύος σε 5 μέρη (την πρώτη φορά θα χρειαστούμε τριπλάσια ποσότητα χώματος ενώ τις επόμενες θα χρησιμοποιούμε το ίδιο μίγμα) και προσθέσουμε την τελική ποσότητα ιλύος.

$$\begin{aligned} \text{Τελική Ποσότητα } tn &= \frac{7500 \frac{tn \text{ ιλύς}}{\text{έτος}}}{5} * 3 \frac{tn \text{ ιλύς}}{\text{έτος}} + 7500 \frac{tn \text{ ιλύς}}{\text{έτος}} \\ &= 12.000 \text{ } tn \text{ μίγματος κατ'έτος με υγρασία } 76\% \end{aligned}$$

Ωστόσο η πραγματική ετήσια αύξηση της ποσότητας εφόσον γίνεται επαναχρησιμοποίηση του μίγματος χώμα-ιλύς είναι μόνο 975 τόνους ανά έτος ή 1300 τόνους ανά έτος για υγρασία 25%

Για την συγκεκριμένη λύση δεν χρειάζεται επένδυση εφόσον την εργασία αναλάβει κάποιος εργολάβος. Λύση η οποία συνιστάται καθώς δεν αρκεί ένα μηχάνημα για αυτήν την εργασία αλλά αρκετά διαφορετικά (φορτηγό, εκσκαφέας, μπουλντόζα) ενώ απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό. Επομένως ως κόστος της μεθόδου, εφόσον αυτή γίνεται εντός έκτασης της υπηρεσίας, υπολογίζεται μόνο η αμοιβή του εργολάβου η οποία υπολογίζεται σε 6,7 ευρώ ανά τόνο ιλύος ή σε 51,54 ευρώ ανά τόνο ξηρής ιλύος.

Πίνακας 25: Κόστος ανάμιξης με χώμα

	Υγρής Ιλύος (€/tn)	Ξηρής Ιλύος (€/tn DS)
<b>Συνολικό Κόστος (κόστος εργολάβου)</b>	<b>6,7 €</b>	<b>51,54 €</b>



Μειονέκτημα της μεθόδου αποτελεί η αναερόβια ζύμωση η οποία παρατηρείται μετά από μεγάλους χρόνους αποθήκευσης σε σωρούς. Παρόλο που η ιλύς προέρχεται από μία μονάδα παρατεταμένου αερισμού με μεγάλους χρόνους παραμονής (SRT>40 ημέρες) και παρόλη την μικρή περιεκτικότητα οργανικών στο τελικό ανάμικτο υλικό, κατά την ανάδευση του μίγματος εκλύονται οσμές, αποτέλεσμα των αναερόβιων συνθηκών που επικρατούν στο κέντρο των σωρών, οι οποίες καθιστούν εξαιρετικά δύσκολο το έργο του χειριστή των μηχανημάτων. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να λυθεί με πιο συχνή ανάδευση (τουλάχιστον μία φορά την εβδομάδα) του σωρού του μίγματος. Με την ανάδευση εκτός από την αποφυγή αναερόβιων ζυμώσεων επιταχύνεται σημαντικά και η διαδικασία της ξήρανσης.

#### **4.5.5. Μηδενική Λύση**

Η μηδενική λύση είναι να μην υπάρξει καμία περαιτέρω επεξεργασία της ιλύος μετά της αφυδάτωση και να οδηγηθεί όπως είναι προς διάθεση. Στην περίπτωση αυτή το κόστος επεξεργασίας της είναι μηδενικό. Ωστόσο το γεγονός ότι είναι ανεπεξέργαστη μπορεί να επηρεάσει σημαντικά το κόστος διάθεσης αφού δεν θα είναι υγειονομοποιημένη, θα είναι δύσκολο να μεταφερθεί και διαχειριστεί εξαιτίας της μεγάλης περιεκτικότητας σε νερό ενώ ο όγκος της θα είναι επίσης μεγάλος.

#### 4.6. Συνδυασμός Μεθόδων Επεξεργασίας Ιλύος

Στο σημείο αυτό θα εξετάσουμε κάποιους συνδυασμούς των ανωτέρω μεθόδων. Σκοπός του συνδυασμού είναι η μέγιστη δυνατή μείωση του όγκου της ιλύος και η καλύτερη υγειονομοποίηση της με το ελάχιστο δυνατό κόστος. Από τις μεθόδους προχωρημένης επεξεργασίας το καλύτερο αποτέλεσμα δίνουν η θερμική ξήρανση και η ξήρανση με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Οι μέθοδοι αυτές μπορούν να δώσουν ένα τελικό προϊόν με ξηρά ουσία άνω του 90% και ταυτόχρονα πλήρως υγειονοποιημένο. Από τις δύο αυτές μεθόδους που εξετάσαμε είναι προφανής η μεγάλη τους διαφορά ως προς το κόστος, τόσο το λειτουργικό όσο και το συνολικό. Επομένως θα επιλέξουμε να εξετάσουμε μόνο την μέθοδο της θερμικής ξήρανσης. Όπως αναλύσαμε στην μελέτη της συγκεκριμένης μεθόδου αυτή θα μπορούσε να μην καταναλώνει καθόλου εξωτερική πηγή ενέργειας ως καύσιμο αλλά να αξιοποιεί την ίδια την ιλύ. Απαραίτητη προϋπόθεση όμως είναι η ιλύς να έχει ξηρά ουσία σε αναλογία περισσότερο από 22,3%. Στο σημείο αυτό είναι που θα μπορούσε να συμβάλει μία από τις συμβατικές μεθόδους η οποία θα τροφοδοτεί την μονάδα θερμικής ξήρανσης με ιλύ υψηλής περιεκτικότητας σε ξηρά ουσία. Από όλες της συμβατικές μεθόδους που εξετάσαμε, με διαφορά το μικρότερο κόστος έχει η βιολογική ξήρανση, η οποία μάλιστα παράγει ξηρά ιλύ χωρίς καμία άλλη προσθήκη ξένου υλικού στο τελικό της προϊόν.

Η βιολογική ξήρανση παράγει έτσι και αλλιώς από μόνη της ένα προϊόν αποδεκτό κατάλληλο για όλες τις χρήσεις, με κάποιους περιορισμούς όμως σύμφωνα με το σχέδιο της νέας ΚΥΑ. Το κόστος επεξεργασίας της είναι σημαντικά μικρότερο από αυτό της θερμικής. Ωστόσο, εάν το προϊόν που παράγεται από την βιολογική ξήρανση ξηραθεί περαιτέρω με την θερμική τότε έχουμε πλήρη καταστροφή όλως των μικροοργανισμών της ιλύος και μείωση υγρασίας έως και στο 0%. Η ξηραμένη ιλύς είναι πλέον πιο ελαφριά, πλήρως υγειονοποιημένη, πιο αποδεκτή ενώ δεν υπάρχουν περιορισμοί στην χρήση της. Στην περίπτωση αυτή θα υπάρχει περίσσεια ξηράς ιλύος η οποία θα μπορούσε να πωληθεί σε βιομηχανίες οι οποίες καίνε βιομάζα ή να καεί εντός της εγκατάστασης για την αξιοποίηση της θερμικής ενέργειας.

Θωρούμε την ξηραμένη ιλύ όπως αυτή εξέρχεται της μονάδας βιολογικής ξήρανσης. Ιλύς με περιεκτικότητα στερεών 70% εισέρχεται στην μονάδα θερμικής ξήρανσης. Ακολουθούν οι υπολογισμοί της θερμικής ξήρανσης για τελικό προϊόν με υγρασία 10%:

Η τελική ποσότητα ιλύος παραμένει ίδια στους 1083  $\frac{\text{τόνοι ξηράς ιλύος 90\%}}{\text{έτος}}$

Κατά την ξήρανση πρέπει να αφαιρεθούν

$$0,9 - 0,70 = 0,13 \frac{\text{tn } H_2O}{\text{tn υγρής ιλύος}}$$

Για την αφαίρεση του νερού της υγρής ιλύος κατά την ξήρανση θα πρέπει να αποδώσουμε ενέργεια ίση με:

$$850 \frac{\text{kCal}}{\text{kg } H_2O} * 0,13 \frac{\text{tn } H_2O}{\text{tn υγρής ιλύος}} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{tn}} = 110.500 \frac{\text{απαιτούμενα kCal}}{\text{tn υγρής ιλύος}}$$

Θεωρώντας θερμική απόδοση κατά την καύση της ξηραμένης ιλύος 2300kcal/kg απαιτούνται :

$$\frac{110.500 \frac{\text{απαιτούμενα kCal}}{\text{tn υγρής ιλύος}}}{2300 \frac{\text{kCal}}{\text{kg DS}}} = 48 \frac{\text{kg DS}}{\text{tn ιλύος 70\%}} \text{ ή } 53,3 \frac{\text{kg ιλύος 90\% DS}}{\text{tn ιλύος 70\%}}$$

Η προς επεξεργασία ποσότητα ξηρής ιλύος 70% που εισέρχεται στην μονάδα θερμικής ξήρανσης ανέρχεται σε 1.392,86 τόνους. Για την ξήρανση αυτών απαιτούνται:

$$1392,86 \frac{\text{tn 70\% DS}}{\text{έτος}} * 53,3 \frac{\text{kg ιλύος 90\% DS}}{\text{tn ιλύος 70\%}} = 74,239 \frac{\text{tn ιλύος 90\% DS}}{\text{έτος}}$$

Ετησίως παράγονται 1083-74=1009 τόνοι ξηράς ιλύος 90% προσθέτοντας την τέφρα από την στάχτη η οποία ανέρχεται σε ποσοστό 15% των 74 τόνων που καίγονται η συνολική ποσότητα είναι : 1020 τόνοι.

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς όλης της εγκατάστασης, συμπεριλαμβανομένου του εξοπλισμού περιβαλλοντικής προστασίας, είναι 54kW. Επομένως η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανέρχεται σε

$$0,08 \frac{\text{€}}{\text{kWhr}} * 54 \text{kW} = 4,32 \frac{\text{€}}{\text{hr}} \Rightarrow \frac{4,32 \frac{\text{€}}{\text{hr}}}{2 \frac{\text{tn ιλύος 70\%}}{\text{hr}}} =$$

$$2,16 \frac{\text{€}}{\text{tn ιλύος } 70\%} \text{ ή } 3,0 \frac{\text{€}}{\text{tn } DS}$$

Θεωρούμε ότι ένας εργαζόμενος θα πρέπει να εξειδικευτεί και να απασχολείται αποκλειστικά με αυτήν την διαδικασία οπότε προκύπτει ένα εργατικό κόστος 1,25 €/tn αφυδατωμένης ιλύος.

Το ΚΕΚ υπολογίστηκε από την σχέση 4-1 για N=15 και ε=0,08 ίσο με Κ\*0,117.

Το κόστος εξυπηρέτησης κεφαλαίου για την θερμική υπολογίστηκε σύμφωνα με την σχέση 4-2 σε :

$$20,56 \frac{\text{€}}{\text{tn Ιλύος}} \text{ ή } 158,17 \frac{\text{€}}{\text{tn } DS}$$

Ενώ το κόστος συντήρησης από την σχέση 4-3 (με ετήσιο συντελεστή 3%) σε :

$$4,52 \frac{\text{€}}{\text{tn Ιλύος}} \text{ ή } 34,77 \frac{\text{€}}{\text{tn } DS}$$

Το κόστος εξυπηρέτησης κεφαλαίου για την βιολογική ξήρανση υπολογίστηκε όπως στην αντίστοιχη παράγραφο σύμφωνα με την σχέση 4-2 σε :

$$2,88 \frac{\text{€}}{\text{tn Ιλύος}} \text{ ή } 22,17 \frac{\text{€}}{\text{tn } DS}$$

Ενώ το κόστος συντήρησης από την σχέση 4-3 (με ετήσιο συντελεστή 3%) σε :

$$0,74 \frac{\text{€}}{\text{tn Ιλύος}} \text{ ή } 5,69 \frac{\text{€}}{\text{tn } DS}$$

Θεωρούμε έναν εργαζόμενο για την επίβλεψη και λειτουργία της εγκατάστασης με κόστος  $1,25 \frac{\text{€}}{\text{tn Ιλύος}}$

**Πίνακας 26: Κόστος συνδυασμού βιολογικής και θερμικής ξήρανσης (DS13%-->70% --> 90%)**

Ανάλυση Κόστους	Υγρής Ιλύος	Ξηρής Ιλύος
Κόστος προμήθειας και εγκατάστασης θερμικής	<b>1.320.000,00 €</b>	<b>1.320.000,00 €</b>
Κόστος προμήθειας και εγκατάστασης βιολογικής	<b>185.000,00</b>	<b>185.000,00</b>
<b>Κόστος προμήθειας και εγκατάστασης</b>	<b>€1.505.000,00 €</b>	<b>€1.505.000,00 €</b>
Κόστος εξυπηρέτησης κεφαλαίου θερμικής	20,56 €/tn	158,17 €/tn DS
Κόστος εξυπηρέτησης κεφαλαίου βιολογική	2,88 €/tn	22,17 €/tn DS
<b>Κόστος εξυπηρέτησης κεφαλαίου</b>	<b>23,44€/tn</b>	<b>180,34€/tn DS</b>
<b>Λειτουργικά Κόστη</b>		
Κόστος καυσίμων βιολογικής	0,34 €/tn	2,62 €/tn DS
Κόστος ενέργειας	0,74 €/tn	5,69 €/tn DS
Κόστος Συντήρησης βιολ.	4,52€/tn	34,77 €/tn DS
Κόστος Συντήρησης θερμ.	1,25 €/tn	9,61 €/tnDS
Κόστος προσωπικού	<b>6,85 €/tn</b>	<b>52,69 €/tnDS</b>
<b>Συνολικό λειτουργικό κόστος</b>		
<b>Συνολικό</b>	<b>30,29 €/tn</b>	<b>233,03 €/tn DS</b>

Επιπλέον θα μπορούσε να προκύψει όφελος από την πώληση της ξηράς ιλύος ως καύσιμο. Ωστόσο, γνωρίζουμε ότι κάτι τέτοιο είναι εξαιρετικά αμφίβολο ότι θα μπορούσε να συμβεί στην Ελλάδα έτσι όπως είναι διαμορφωμένη η αγορά έως σήμερα και επομένως δεν το εξετάζουμε.

#### 4.7. Συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων επεξεργασίας της ιλύος

Οι μέθοδοι που αναπτύχθηκαν ανωτέρω θα συγκριθούν μεταξύ τους για διάφορα κριτήρια ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα ανά κριτήριο. Αυτό έχει σημασία διότι μπορεί σε μία χρονική στιγμή ένα κριτήριο να έχει βαρύνουσα σημασία ενώ σε κάποια άλλη να μην έχει πλέον τόση σημασία στην επιλογή της μεθόδου όσο ένα άλλο κριτήριο. Την αξιολόγηση των μεθόδων για κάθε ένα από τα σημαντικότερα κριτήρια, θα ακολουθήσει μία βαθμολόγηση με συντελεστή βαρύτητας κάθε κριτηρίου ώστε να αναδειχθεί η καταλληλότερη μέθοδος για την περίπτωση της ΕΕΛ Κ-Λ . Τα κριτήρια μπορούν να χωρισθούν στις παρακάτω τέσσερις βασικές κατηγορίες:

##### Κατηγορία I : Περιβαλλοντικά κριτήρια (ΠΕΡ)

Τα περιβαλλοντικά κριτήρια ομαδοποιούνται σε σχέση με το επίπεδο των επιπτώσεων στο περιβάλλον, των οχλήσεων (οσμές, έντομα, θόρυβος, τοξικοί αέριοι ρύποι), των εκπομπών ρύπων (αέριων, υγρών και στερεών), καθώς και τη χρήση (γη, ενέργεια, χημικά), επαναχρησιμοποίηση (γεωργική διάθεση) πόρων και ποσότητα τελικού προϊόντος (Κάποιες μέθοδοι ενώ έχουν υψηλό ποσοστό στερεών, παράγουν σημαντικά μεγάλες ποσότητες εξαιτίας της προσθήκης άλλων υλικών, γεγονός το οποίο εντείνει το πρόβλημα της διάθεσης)

##### Κατηγορία II : Κοινωνικά-Θεσμικά κριτήρια (ΚΘ)

Τα κοινωνικά κριτήρια αφορούν σε θεσμικά και νομικά θέματα, θέματα κοινωνικής αποδοχής, δυνατότητες δημιουργίας νέων θέσεων εργασίας και θέματα υιοθέτησης βιώσιμων πρακτικών. Το τελευταίο αναφέρεται στην προσπάθεια, ώστε οι βιώσιμες επιλογές να είναι και οι πιο συμφέρουσες, π.χ. μέσω ενημέρωσης, αύξησης της συμμετοχής, άρα και ευθύνης του τελικού χρήστη. Θεωρώντας λοιπόν, ότι η πρακτική αυτή ενισχύει την αποδοχή, το κριτήριο της προσπάθειας υιοθέτησης βιώσιμων πρακτικών ενσωματώνεται σε αυτό της αποδοχής. Το κριτήριο των νομικών προϋποθέσεων αφορά στη συμμόρφωση με την περιβαλλοντική πολιτική στην αδειοδότηση έργων .

##### Κατηγορία III : Τεχνολογικά κριτήρια (ΤΕΧ)

Τα τεχνολογικά κριτήρια σχετίζονται με την επιλογή της τεχνικής λύσης και τις δυνατότητες που αυτή προσδίδει σε σχέση με τον τρόπο διαχείρισης της ιλύος. Η κάθε τεχνολογία προσδιορίζεται από συνιστώσες όπως η ευελιξία και λειτουργικότητα εγκατάστασης, η δυνατότητα σταθερής και ομαλής λειτουργίας, η ευκολία συντήρησης, η πολυπλοκότητα της διαδικασίας, η διαθέσιμη τεχνογνωσία, η ασφάλεια, και η απόδοση του συστήματος.

#### Κατηγορία IV : Οικονομικά κριτήρια (ΟΙΚ)

Τα οικονομικά κριτήρια σχετίζονται με την εφαρμοζόμενη τεχνολογία και τις διάφορες κατηγορίες δαπανών, οι οποίες επιμερίζονται στις κεφαλαιακές δαπάνες για την κατασκευή των απαιτούμενων έργων και τις λειτουργικές δαπάνες των έργων. Συμπεριλαμβάνεται επίσης η επίδραση του κόστους και των απαιτήσεων διαχείρισης των προβλεπόμενων έργων και το οποίο απαιτείται για την παρακολούθηση και εξασφάλιση της βιωσιμότητας των έργων.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται όλες οι μέθοδοι επεξεργασίας που αναλύθηκαν προηγουμένως καθώς και τα βασικά χαρακτηριστικά κάθε μεθόδου που παίζουν σημαντικό ρόλο στην επιλογή της πιο κατάλληλης για την συγκεκριμένη ΕΕΛ. Στην περίπτωση της θερμικής ξήρανσης θεωρούμε ως τελική ποσότητα την τέφρα της στάχτης η οποία έχει περιεκτικότητα σε ιλύ 0%. Για την περίπτωση της κομποστοποίησης η τελική ποσότητα έχει υπολογιστεί με την προσθήκη βιομάζας ως διογκωτικού υλικού. Για την περίπτωση της ανάμιξης με χώμα έχει θεωρηθεί τελική ποσότητα ίση με ξηρά ιλύ 90%. Αρχικά χρησιμοποιείται ποσότητα χώματος τριπλάσια από την ιλύ με αποτέλεσμα η τελική ποσότητα που προκύπτει αμέσως μετά την ανάμιξη να είναι 25.000 tn. Ο αριθμός αυτός είναι πλασματικός, αφού μετά από κάποιο χρονικό διάστημα όποτε θα έχει ξηρανθεί το ανάμικτο υλικό έχοντας υγρασία της τάξεως του 25%, η πραγματική αύξηση της μάζας θα είναι μόνο κατά 1300 τόνους. Βέβαια η ιλύς δεν μπορεί πλέον να διαχωριστεί από το ανάμικτο υλικό όπως και στην περίπτωση της κομποστοποίησης και της ασβεστοποίησης. Ωστόσο το ανάμικτο υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ξανά και ξανά. Επομένως το χώμα αποτελεί απλώς ένα μέσο για την ξήρανση της ιλύος το οποίο επαναχρησιμοποιείται, σε αντίθεση με την περίπτωση της

ασβεστοποίησης όπου το πρόσθετο υλικό (CaO) δεν μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί στα πλαίσια της ίδιας μεθόδου. Για την περίπτωση της ανάμιξης με χώμα, ως ποσοστό ιλύος επί τελικού ξηρού προϊόντος λαμβάνεται ένας μέσος όρος αφού κατά την πρώτη χρήση η ιλύς αποτελεί το 25% ενώ με επαναχρησιμοποίηση του ίδιου μίγματος για δέκα τουλάχιστον φορές τείνει στο 100%. Επίσης δεν εφαρμόζεται το κριτήριο του κόστους το οποίο περιλαμβάνει την απόσβεση των παγίων αφού θεωρούμε ότι η εργασία γίνεται εργολαβικά επομένως έχει μόνο λειτουργικό κόστος. Στην περίπτωση του συνδυασμού βιολογικής και θερμικής ξήρανσης ένα μέρος ιλύος χρησιμοποιείται ως καύσιμο και επομένως αντί αυτού υπολογίζεται μόνον η τέφρα του στην τελική ποσότητα.

Πίνακας 27. Συγκριτικά δεδομένα των μεθόδων επεξεργασίας

Μέθοδος	Τελικό DS	Τελική Ποσότητα (tn)	Ιλύς τελικού ξηρού μείγματος %	Κόστος (€/tn)	Λειτ/κό Κόστος (€/tn)	Κόστος (€/tn DS)	Λειτ/κό Κόστος (€/tn DS)
Θερμική Ξήρανση	100%	146,25	100	38,86	18,27	298,11	139,75
Ξήρανση με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία	90%	1083	100	113,49	66,69	872,99	512,99
Ξήρανση με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία	55%	1773	100	91,80	45,00	706,13	346,13
Ασβεστοποίηση 4%	18%	7083	96	5,12	4,96	39,36	38,16
Ασβεστοποίηση 10%	24%	7188	57	11,72	11,56	90,13	88,93
Ηλιακή Ξήρανση	80%	1219	100	65,10	18,37	500,78	141,31
Κομποστοποίηση	70%	2355	69	7,14	3,01	54,91	23,16
Βιολογική Ξήρανση	70%	1400	100	4,10	1,22	31,51	9,35
Ανάμιξη με χώμα	76%	12000	65%	Δ.Ε.	6,7	ΔΕ	51,54
Μηδενική Λύση	13%	7500	100	0,00	0,00	0	0
Συνδυασμός (βιολογική-θερμική)	90%	1020	100	30,29	6,58	233,03	52,69



ξήρανση)							
----------	--	--	--	--	--	--	--

Οι μέθοδοι κατατάχθηκαν σε πίνακες με βάση τα αντικειμενικά χαρακτηριστικά τους ώστε να είναι εύκολη η σύγκριση μεταξύ τους για κάθε ένα από αυτά χωριστά. Σε κάθε έναν από τους ακόλουθους δύο πίνακες κατατάσσονται οι μέθοδοι για δύο διαφορετικά κριτήρια. Πρώτες στην σειρά κατάταξης είναι οι μέθοδοι που έχουν την καλύτερη 'επίδοση' στο σχετικό κριτήριο.

**Πίνακας 28. Κατάταξη των μεθόδων με βάση το κριτήριο της τελικής συγκέντρωσης στερεών της ιλύος και με βάση την τελική ποσότητα επεξεργασμένου υλικού που παράγεται**

Μέθοδος	Τελικό DS (%)	Μέθοδος	Τελική Ποσότητα (τη τελικού προϊόντος /έτος)
Θερμική Ξήρανση	100%	Θερμική Ξήρανση	146,25
Ξήρανση με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία	90%	Συνδυασμός	1009
Συνδυασμός	90%	Ξήρανση ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία <b>90</b>	1083
Ηλιακή Ξήρανση	80%	Ηλιακή Ξήρανση	1219
Ανάμιξη με χώμα	76%	Βιολογική Ξήρανση	1400
Κομποστοποίηση	70%	Ξήρανση ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία <b>55</b>	1773
Βιολογική Ξήρανση	70%	Κομποστοποίηση	2355
Ξήρανση με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία	55%	Ασβεστοποίηση <b>4%</b>	7083
Ασβεστοποίηση <b>10%</b>	24%	Ασβεστοποίηση <b>10%</b>	7188

<b>Ασβεστοποίηση 4%</b>	18%		<b>Μηδενική Λύση</b>	7500
<b>Μηδενική Λύση</b>	13%		<b>Ανάμιξη με χώμα</b>	12000

Η τελική ποσότητα υλικού που παράγεται εξαρτάται έμμεσα από την συγκέντρωση στερεών του υλικού. Ωστόσο αυτό δεν ισχύει για τις μεθόδους στις οποίες γίνεται προσθήκη άλλων υλικών με αποτέλεσμα να αυξάνεται η τελική ποσότητα .

Από το πρώτο μισό του ανωτέρω πίνακα παρατηρούμε ότι ως προς την συγκέντρωση στερεών η θερμική ξήρανση δίνει τέφρα χωρίς καθόλου υγρασία ενώ η ξήρανση με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και ο συνδυασμός βιολογικής-θερμικής ξήρανσης δίνουν ένα εξαιρετικά ξηρό προϊόν με υγρασία λιγότερη από 10%. Ακολουθούν η ηλιακή ξήρανση, η ανάμιξη με χώμα, η κομποστοποίηση και η βιολογική ξήρανση σε κοντινή απόσταση δίνοντας ένα ξηρό προϊόν με υγρασία λιγότερο από 30%. Τέλος ακολουθούν με μεγαλύτερη διαφορά η ξήρανση με χρήση υπερύθρων για τελικό προϊόν με 55% DS και η ασβεστοποίηση με ένα προϊόν υγρασίας από 82 έως 69% αναλόγως της δόσης CaO. Αν και η μείωση της υγρασίας με την ασβεστοποίηση δεν είναι σημαντική σε σχέση με τη μηδενική λύση, πρακτικά η διαφορά ως προς τη συνεκτικότητα και επομένως την ευκολία μεταφοράς και διαχείρισης του υλικού είναι σημαντική.

Στο δεύτερο μισό του ίδιου πίνακα βλέπουμε ότι η θερμική ξήρανση με χρήση της υλούς ως καύσιμο παράγει με μεγάλη διαφορά τη μικρότερη ποσότητα τελικού υλικού. Η τεφρά όμως αυτή έχει αυξημένες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων οι οποίες καθιστούν εξαιρετικά δύσκολη την διάθεσή της. Ακολουθεί η συνδυασμένη ξήρανση η οποία περιέχει μία μικρή ποσότητα τέφρας, η ξήρανση με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία για υλικό με συγκέντρωση στερεών 90% και η ηλιακή ξήρανση. Χωρίς σημαντική διαφορά ακολουθεί η βιολογική ξήρανση, ενώ έπεται η ξήρανση IR χωρίς μεγάλη διαφορά. Η τελική ποσότητα αρχίζει σταδιακά να αυξάνεται με την κομποστοποίηση η οποία παρουσιάζει σημαντική διαφορά και την ασβεστοποίηση η οποία αναλόγως της ποσότητας CaO παρουσιάζει σχεδόν μηδενική μείωση σε σχέση με την μηδενική λύση. Τελευταία έρχεται η ανάμιξη με

χώμα με σημαντικά μεγαλύτερη ποσότητα ακόμη και από τη μηδενική λύση εξαιτίας της μεγάλης ποσότητας χώματος που απαιτείται.

Πίνακας 29. Κατάταξη των μεθόδων με βάση το κόστος ανά κιλό ξηράς ουσίας

Μέθοδος	Κόστος (€/tn DS)	Μέθοδος	Λειπ/κό Κόστος (€/tn DS)
Μηδενική Λύση	0,00	Μηδενική Λύση	0,00
Βιολογική Ξήρανση	31,51	Βιολογική Ξήρανση	9,57
Ασβεστοποίηση 4%	39,36	Κομποστοποίηση	23,15
Κομποστοποίηση	54,91	Ασβεστοποίηση 4%	38,16
Ασβεστοποίηση 10%	90,13	Ανάμιξη με χώμα	51,54
Συνδυασμός	233,03	Συνδυασμός	52,69
Θερμική Ξήρανση	298,11	Ασβεστοποίηση 10%	88,93
Ηλιακή Ξήρανση	500,78	Θερμική Ξήρανση	139,75
Ξήρανση με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (55%)	705,13	Ηλιακή Ξήρανση	141,31
Ξήρανση με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (90%)	872,99	Ξήρανση ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία 55	346,16
Ανάμιξη με χώμα	ΔΕ	Ξήρανση με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία 90	512,99

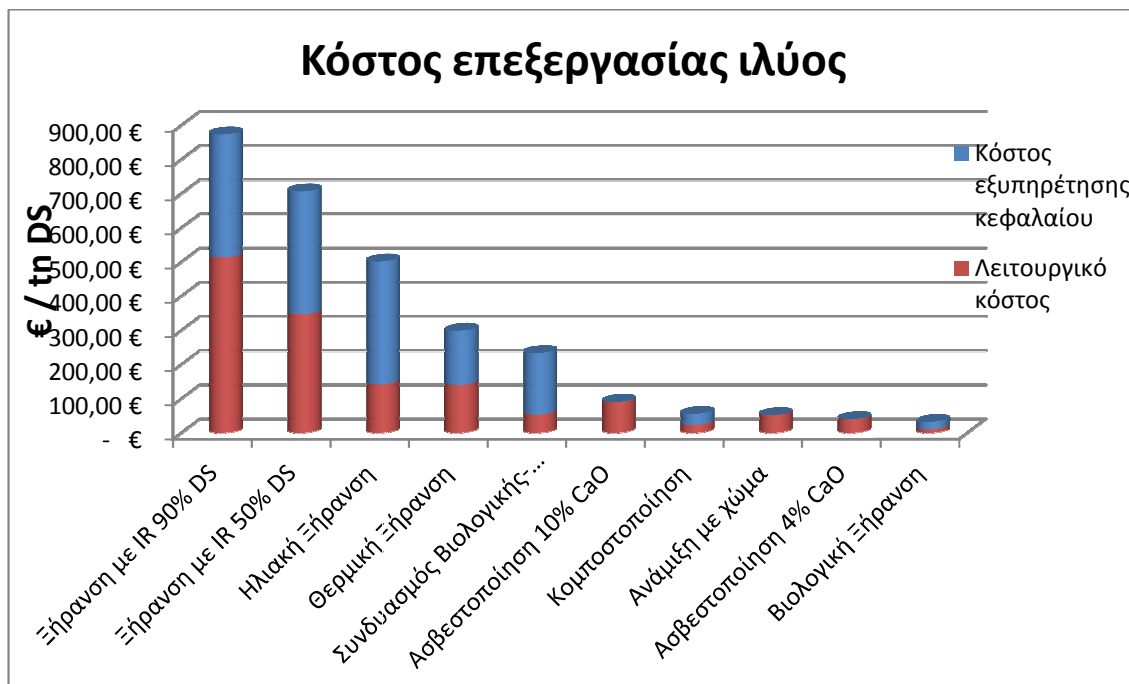
Στον ανωτέρω πίνακα παρουσιάζονται τα κόστη κάθε μεθόδου για την επεξεργασία της ιλύος. Ο πίνακας χωρίζεται σε δύο μέρη. Στο αριστερό μέρος παρουσιάζεται το συνολικό κόστος επεξεργασίας της ιλύος, το οποίο είναι και το ορθό κατά τους οικονομολόγους. Στο κόστος αυτό περιλαμβάνεται τόσο το λειτουργικό όσο και το

κόστος απόσβεσης του εξοπλισμού. Δεδομένου ότι το αρχικό κόστος προμήθειας ή κατασκευής της εγκατάστασης επεξεργασίας καλύπτεται σχεδόν εξολοκλήρου από κοινοτική και κρατική χρηματοδότηση, δεν βαρύνει τον φορέα διαχείρισης. Το κόστος το οποίο βαρύνει τον φορέα διαχείρισης της ιλύος και επομένως επηρεάζει τη βιωσιμότητα τους αλλά και τη βιωσιμότητα της μεθόδου επεξεργασίας είναι μόνο το λειτουργικό, το οποίο περιλαμβάνει το κόστος ενέργειας, προσωπικού και συντήρησης. Μία μερίδα ανθρώπων υποστηρίζουν ότι το ορθό είναι να εξετάζονται οι μέθοδοι με βάση το συνολικό κόστος. Ωστόσο μία άλλη, πλειοψηφική ίσως μερίδα, υποστηρίζει ότι οι μέθοδοι θα πρέπει να εξετάζονται μόνο ως προς το λειτουργικό κόστος αφού είναι τελικά αυτό το οποίο θα καθορίσει την επιβάρυνση του κόστους επεξεργασίας των λυμάτων και επομένως την επιπλέον οικονομική επιβάρυνση του πολίτη. Σύμφωνα με την πρώτη μερίδα ανθρώπων αυτό δεν είναι ορθό, αφού τα χρήματα της Ευρωπαϊκής ή κρατικής χρηματοδότησης προέρχονται και αυτά από τον πολίτη.

Ως προς το συνολικό κόστος η βιολογική ξήρανση έρχεται πρώτη (εξαιρουμένης της μηδενικής) και ακολουθούν χωρίς σημαντική διαφορά η ασβεστοποίηση με δόση CaO 4% και η κομποστοποίηση. Οι μέθοδοι αυτές έχουν χαμηλό λειτουργικό κόστος και δεν απαιτούν ακριβές εγκαταστάσεις και εξοπλισμό. Ακολουθεί η ασβεστοποίηση με δόση CaO 10%, με το κόστος της να αυξάνεται εξαιτίας της υψηλής δόσης και ο συνδυασμός βιολογικής-θερμικής ο οποίος έχει αρκετά αυξημένο κόστος εξαιτίας του εξοπλισμού της θερμικής ξήρανσης. Ακολουθεί η ηλιακή και η ξήρανση με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία των οποίων ο εξοπλισμός έχει εξαιρετικά υψηλό κόστος. Η ανάμιξη με χώμα γίνεται από εργολάβο, δεν απαιτεί την προμήθεια εξοπλισμού και επομένως δεν έχει εξοπλισμό προς απόσβεση.

Ως προς το λειτουργικό κόστος, εξαιρουμένης της μηδενικής, το χαμηλότερο με διαφορά έχει η βιολογική ξήρανση και ακολουθεί η κομποστοποίηση η οποία αν και απαιτεί τον ίδιο εξοπλισμό, έχει αυξημένο κόστος σε σχέση με την βιολογική ξήρανση εξαιτίας της ανάγκης για πρόσθετο πληρωτικό υλικό. Ακολουθούν η ασβεστοποίηση με δόση 4% CaO και η ανάμιξη με χώμα η οποία ανατίθεται

κατ'αποκοπή σε εργολάβο. Παρά το γεγονός ότι οι εργολαβικές χρεώσεις για χωματουργικές εργασίες έχουν συρρικνωθεί τα τελευταία χρόνια εξαιτίας της κατακόρυφης πτώσης του κύκλου εργασιών του κατασκευαστικού κλάδου, ο μεγάλος όγκος υλικού (4 φορές περισσότερη μάζα από την αφυδατωμένη ιλύ) που πρέπει να διαχειριστεί ο εργολάβος αυξάνει σημαντικά το κόστος. Στην πέμπτη θέση βρίσκεται ο συνδυασμός βιολογική-θερμικής ξήρανσης. Ακολουθεί η ασβεστοποίηση με δόση CaO 10% εξαιτίας της μεγάλης δόσης ασβέστη και η θερμική ξήρανση με κόστος κοντά σε αυτό της ηλιακής, η οποία απαιτεί μεγάλα ποσά ενέργειας για την ανανέωση του αέρα των θερμοκηπίων. Τελευταίες έρχονται οι δύο περιπτώσεις ξήρανσης με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (IR), οι οποίες απαιτούν εξαιρετικά μεγάλα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας.



**Γράφημα 1: Κόστος επεξεργασίας ιλύος**

Όλες οι μέθοδοι βαθμολογήθηκαν για τα βασικά κριτήρια που επηρεάζουν την απόφαση για την επιλογή της καταλληλότερης όπως αναλύεται παρακάτω και κατατάχτηκαν ανάλογα με την βαθμολογία την οποία συγκέντρωσαν.

Η βαθμολόγηση των μεθόδων έγινε στην κλίμακα 0-10 για τα παρακάτω κριτήρια και με την λογική που αναφέρεται σε καθένα:

- Τελικό DS: 10 για στερεά περισσότερα από 90% και μείωση κατά μία μονάδα για μείωση κατά 10% DS.(Κατηγορία III, TEX)
- Τελική Ποσότητα: 10 για λιγότερο από 1200 τόνους και μείωση κατά μία μονάδα για αύξηση της ποσότητας κατά 700 τόνους. (Κατηγορία I,ΠΕΡ)
- Ευκολία Διάθεσης (βαθμός υγειονομοποίησης – ασφάλεια κατά την διάθεση): 10 για εύκολη διάθεση πλήρους υγειονοποιημένου υλικού, με πολλές εναλλακτικές χωρίς περιορισμούς (ΧΥΤΑ , γεωργία, καύση, αποκαταστάσεις κλπ) ,8 εάν υπάρχουν περιορισμοί και 5 για όσες υπάρχει μόνο ένας τρόπος διάθεσης (στάχτη από καύση).(Κατηγορία I,ΠΕΡ)
- Τεχνολογία: 10 για μεθόδους δοκιμασμένες και αρκετά διαδεδομένες στην Ελληνική επικράτεια, εύκολες στην εφαρμογή ( απαίτηση ειδικευμένου προσωπικού για τη λειτουργία, σταθερότητα του συστήματος), ασφαλείς και με υψηλή απόδοση. (Κατηγορία III, TEX)
- Επιπτώσεις στο περιβάλλον – Κοιν. αποδοχή: 10 για λύσεις βιώσιμες, με ασήμαντες επιπτώσεις στο περιβάλλον, και μεγάλη κοινωνική αποδοχή. Κάτω από 5 για μεθόδους με σημαντική όχληση, που απαιτούν μέτρα αντιρρύπανσης. (Κατηγορία I,ΠΕΡ - Κατηγορία II, ΚΘ)
- Κόστος (λειτουργικό και κεφαλαιακό): 10 για κόστος 1-50 ευρώ/τη DS, 9 για 100 ευρώ και μείωση κατά ένα βαθμό για αύξηση του κόστους κατά 100 ευρώ.(Κατηγορία IV,ΟΙΚ)

Τέλος ο βαθμός για κάθε παράμετρο πολλαπλασιάζεται με έναν συντελεστή βαρύτητας. Ο συντελεστής αυτός εκτιμήθηκε λαμβάνοντας υπόψη την συγκεκριμένη εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων, τις ιδιαιτερότητες της , τα χαρακτηριστικά της ιλύος και τις ιδιαιτερότητες του Νομού. Ο μεγαλύτερος συντελεστής βαρύτητας (0,3) δόθηκε στο κόστος επεξεργασίας. Στο κόστος αυτό συμπεριλαμβάνεται και η απόσβεση του εξοπλισμού αφού αυτό θεωρήθηκε ως ορθό σε σχέση με το κριτήριο μόνο του λειτουργικού κόστους. Ο μεγαλύτερος συντελεστής δόθηκε στο κόστος γιατί τη δεδομένη οικονομική συγκυρία αυτό θεωρείται ως ο καθοριστικότερος παράγοντας για την επιλογή μίας μεθόδου επεξεργασίας της ιλύος. Μεγάλος συντελεστής βαρύτητας (0,2) δόθηκε στην ευκολία διάθεσης για τον Νομό Κορινθίας. Αθροιστικά ο συντελεστής βαρύτητας

της ευκολίας διάθεσης, της τελικής ποσότητας και της τελικής συγκέντρωσης στερεών ανέρχεται σε 0,35. Όλοι αυτά τα κριτήρια καθορίζουν ουσιαστικά την διάθεση της λύος. Η δυνατότητα να διατεθεί με κάποιον τρόπο η λύς είναι εξίσου σημαντική με το κόστος επεξεργασίας της, αφού δεν έχει νόημα να επεξεργαζόμαστε την λύ εάν δεν έχουμε εξασφαλίσει την διάθεσή της. Υψηλό συντελεστή βαρύτητας (0,2) είχε επίσης και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα και η κοινωνική αποδοχή. Είναι σύνηθες στην Ελλάδα σύγχρονα έργα να μην υλοποιούνται εξαιτίας των αντιδράσεων των τοπικών κοινωνιών είτε για την αποφυγή περιβαλλοντικής υποβάθμισης είτε επειδή η κοινωνία δεν είναι εξοικειωμένη με κάποιες μεθόδους διαχείρισης αποβλήτων. Σημαντική επίδραση στην τελική βαθμολογία έχει η πολυπλοκότητα της μεθόδου (0,15) και αυτό γιατί μία πολύπλοκη μέθοδος συνεπάγεται εξειδικευμένο προσωπικό το οποίο είναι δύσκολο να βρεθεί ή να προσληφθεί και αυξημένη πιθανότητα να μην υπάρχει το επιθυμητό αποτέλεσμα με την παραμικρή αστοχία του εξοπλισμού. Οι φορείς διαχείρισης της λύος είναι πιο διστακτικοί στην υιοθέτηση μίας πολύπλοκης τεχνολογίας για την οποία συνήθως δεν υπάρχουν αρκετές δοκιμασμένες μονάδες ούτε η ανάλογη ωριμότητα της τεχνολογίας. Ως ευκολία εφαρμογής της μεθόδου, στην οποία δίνεται ίσως άδικα ένας μικρός συντελεστής βαρύτητας (0,05), νοείται η ευκολία αδειοδότησης, η ύπαρξη ανάλογης εμπειρίας στον Ελλαδικό χώρο και η αποδοχή από την κοινωνία. Είναι πολύ πιο εύκολο να εφαρμοσθεί, να αδειοδοτηθεί και να γίνει αποδεκτή από την κοινωνία μία τεχνολογία η οποία έχει δοκιμασθεί και αλλού στην Ελλάδα με καλά αποτελέσματα σε σχέση με μια τεχνολογία η οποία είναι σχετικά άγνωστη με αποτέλεσμα να υπάρχει αρκετή επιφυλακτικότητα.



Πίνακας 30. Αξιολόγηση-Βαθμολόγηση των μεθόδων επεξεργασίας

Κατηγορία	ΤΕΧ	ΠΕΡ	ΠΕΡ	ΤΕΧ	ΠΕΡ - ΘΚ	ΟΙΚ	
Μέθοδος	Τελικό DS	Τελική Ποσότητα	Ευκολία Διάθεσης	Πολυπλοκότητα μεθόδου	Περιβαλλοντικό αποτύπωμα - κον. Αποδοχή	Κόστος Επεξεργασίας	<b>Βαθμολογία</b>
Βιολογική Ξήρανση	8	9	8	9	7	10	8,55
Συνδυασμός	10	9	10	7,5	8	7	8,4
Κομποστοποίηση	8	8	8	7	9	9	8,4
Ασβεστοποίηση 10%	3	1	9	10	8	9	7,6
Ασβεστοποίηση 4%	2	1	8	10	7	10	7,35
Ηλιακή Ξήρανση	9	9	8	8	9	4	7,2
Θερμική Ξήρανση	10	10	5	5	8	7	7,2
Ανάμιξη με χώμα	8	0	5	10	4	10	7
Ξήρανση με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (90%)	10	9	10	6	10	1	6,85
Ξήρανση με ηλεκτρομαγνητική	6	8	10	6	10	3	6,8

<b>ακτινοβολία (55%)</b>							
<b>Μηδενική λύση</b>	2	0	5	10	0	10	5,3
<b>Συντελεστής</b>	<b>0,15</b>	<b>0,05</b>	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>1</b>

Πίνακας 31. Κατάταξη των μεθόδων με βάση τη βαθμολογία

<b>Μέθοδος</b>	<b>Βαθμολογία</b>
<b>Βιολογική Ξήρανση</b>	<b>8,55</b>
<b>Συνδυασμός</b>	<b>8,4</b>
<b>Κομποστοποίηση</b>	<b>8,2</b>
<b>Ασβεστοποίηση 10%</b>	<b>7,8</b>
<b>Ασβεστοποίηση 4%</b>	<b>7,35</b>
<b>Ηλιακή Ξήρανση</b>	<b>7,2</b>
<b>Θερμική Ξήρανση</b>	<b>7,2</b>
<b>Ανάμιξη με χώμα</b>	<b>7</b>
<b>Ξήρανση με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (90%)</b>	<b>6,85</b>
<b>Ξήρανση με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (55%)</b>	<b>6,4</b>
<b>Μηδενική λύση</b>	<b>5,3</b>

Την υψηλότερη βαθμολογία συγκεντρώνει η μέθοδος της βιολογικής ξήρανσης και ίσως όχι άδικα αν και υπάρχει αρκετός προβληματισμός σχετικά με τυχόν οχλήσεις που μπορεί να προκαλεί. Πρόκειται για μία μέθοδο εξαιρετικά απλή, η οποία απαιτεί φθινό εξοπλισμό με υψηλή τεχνολογική ωριμότητα. Ο εξοπλισμός της μπορεί εύκολα να βρεθεί στην Ελληνική αγορά και μπορεί να αποκτηθεί ακόμη και με ιδίους πόρους από τις τοπικές ΔΕΥΑ αφού το συνολικό κόστος εξοπλισμού και εγκατάστασης είναι αρκετά χαμηλό. Δίνει μία ιλύ αρκετά ξηρή, η οποία μπορεί να διατεθεί με αρκετούς διαφορετικούς τρόπους ενώ είναι σε ικανοποιητικό βαθμό υγειονομοποιημένη. Δεν απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό ούτε συνεχή παρακολούθηση. Μειονέκτημα της αποτελεί το γεγονός το τελικό προϊόν είναι απλά ξηραμένη ιλύ και όχι κομποστοποιημένη, επομένως έχει σημαντικά μικρότερη θρεπτική αξία για γεωργική χρήση ενώ υπάρχει επιφυλακτικότητα για τη δημιουργία οσμών. Στη δεύτερη θέση έρχεται ο συνδυασμός βιολογικής και θερμικής ξήρανσης. Συγκεντρώνει υψηλή βαθμολογία καθώς συνδυάζει τη βιολογική ξήρανση η οποία δίνει ένα αρκετά ξηρό υλικό με πολύ χαμηλό κόστος με την θερμική ξήρανση η οποία δίνει ένα πλήρως υγειονομοποιημένο και σχεδόν εντελώς ξηρό προϊόν. Το προϊόν της συνδυασμένη ξήρανσης μπορεί να μην περιέχει χουμικές ενώσεις, ωστόσο όντας επαρκώς υγειονομοποιημένο και αρκετά ξηρό μπορεί να διατεθεί με αρκετούς τρόπους. Το υψηλό κόστος της για την προμήθεια της μονάδας ξήρανσης και η επιφυλακτικότητα που υπάρχει ακόμη σε μονάδες καύσης και θερμικής ξήρανσης στην Ελλάδα στερούν από τη μέθοδο αυτή μία υψηλότερη βαθμολογία. Την πρώτη τριάδα συμπληρώνει η κομποστοποίηση. Η κομποστοποίηση απαιτεί ίδιο εξοπλισμό με τη βιολογική ξήρανση επομένως έχει αρκετά χαμηλό κόστος προμήθειας και εγκατάστασης του εξοπλισμού. Έχει αυξημένο κόστος καθώς απαιτεί πρόσθετο διογκωτικό υλικό το οποίο έχει κόστος αγοράς ή ακόμη και εάν βρεθεί δωρεάν έχει ένα αξιοσημείωτο κόστος επεξεργασίας. Πρόκειται για μία διεργασία ευαίσθητη, η οποία απαιτεί συνεχή παρακολούθηση και μετρήσεις από εξειδικευμένο προσωπικό. Το δυνατό σημείο της κομποστοποίησης είναι ότι παράγει ένα προϊόν πλούσιο σε χουμικές ενώσεις και επομένως υψηλή θρεπτική αξία για γεωργική χρήση. Οι τρεις αυτοί τρόποι

επεξεργασίας της ιλύος έχουν μικρή διαφορά στην βαθμολογία που έχουν συγκεντρώσει. Επομένως είναι πολύ εύκολο να αλλάξει η σειρά τους στην κατάταξη με την παραμικρή αλλαγή των χωρικών και χρονικών συνθηκών.

Ακολουθεί η ασβεστοποίηση με δόση 10% και 4% CaO. Η ασβεστοποίηση δεν μειώνει σημαντικά τον όγκος της ιλύος ούτε επιτυγχάνει ξήρανσή της. Ωστόσο με την προσθήκη ασβέστη επιτυγχάνεται επαρκής υγειονομοποίηση που επιτρέπει την διάθεση της στην γεωργία ή αλλού. Πρόκειται για μία μέθοδο αρκετά απλή, διαδεδομένη και εύκολη στην εφαρμογή αφού το μονό που απαιτείται είναι ένας αναμίκτης και η προμήθεια του ασβέστη. Μειονέκτημα αποτελούν οι μεγάλες ποσότητες ασβέστη που απαιτούνται, αναλόγως βέβαια και της δοσολογίας που θα επιλεγεί. Η ασβεστοποίηση αποτελεί τη μοναδική μέθοδο η οποία μπορεί να εφαρμοσθεί άμεσα εξαιτίας του πολύ χαμηλού κόστους αγοράς του αναμίκτη δίνοντας έτσι άμεσα μια λύση στη διαχείριση της ιλύος. Μία ασβεστοποιημένη ιλύς με δόση 10% είναι ασφαλής για διάθεση όποιος τρόπος και εάν επιλεγεί.

Στην έκτη θέση, με αρκετά χαμηλή βαθμολογία σε σχέση με την αναμενόμενη κατατάσσεται η ηλιακή ξήρανση. Η χαμηλή βαθμολογία της οφείλεται αφενός στο υψηλό κόστος κατασκευής των εγκαταστάσεων, αφετέρου στο υψηλό λειτουργικό κόστος. Εάν είχαν χρησιμοποιηθεί τα δεδομένα των εταιρειών κατασκευής μονάδων ηλιακής ξήρανσης τότε η βαθμολογία θα ήταν πολύ υψηλότερη. Ωστόσο, τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και προέρχονται από την παρακολούθηση της πρώτης μονάδας ηλιακής ξήρανσης η οποία κατασκευάστηκε και λειτουργεί στην Κρήτη έδειξαν ότι η κατανάλωση ηλεκτρική ενέργειας για την ανανέωση του αέρα του θερμοκηπίου είναι εξαιρετικά μεγάλη. Επιπλέον το προϊόν που παράγει δεν έχει χημικές ενώσεις και είναι επομένως χαμηλής αξίας για γεωργική χρήση. Στα δυνατά σημεία της μεθόδου είναι η ευρεία αποδοχή που υπάρχει, η ευκολία εφαρμογής και λειτουργίας της μεθόδου και η σταθερή απόδοσης της.

Στην έβδομη θέση κατατάσσεται η θερμική ξήρανση. Ο βασικός λόγος της χαμηλής της βαθμολογίας είναι το εξαιρετικά υψηλό κόστος κτήσης του εξοπλισμού και επιφυλακτικότητα που υπάρχει για την καύση ιλύος. Εάν δεν υπήρχε η παραδοχή της χρήσης της ίδιας της ιλύος ως καύσιμο, τότε το λειτουργικό κόστος της θερμικής

ξήρανσης θα εκτοξεύονταν καθιστώντας τη μέθοδο αυτή ασύμφορη. Όπως προέκυψε και από την ανάλυση για την συνδυαστική ξήρανση (βιολογική-θερμική), η θερμική ξήρανση συμφέρει να αναπτυχθεί ως μέρος του συνδυασμού αυτού και όχι αυτοτελώς.

Την αμέσως μικρότερη βαθμολογία συγκεντρώνει η ανάμιξη με χώμα. Αν και είναι μία μέθοδος της οποίας το προϊόν δεν μπορεί να οδηγηθεί προς διάθεση πριν επαναχρησιμοποιηθεί τουλάχιστον δέκα φορές, παράγει τελικά ένα σταθερό προϊόν. Είναι μία οικονομική μέθοδος και δεν απαιτεί την προμήθεια εξειδικευμένου εξοπλισμού ούτε ιδιαίτερες γνώσεις για την εφαρμογή της. Το προϊόν που παράγει συνίσταται ουσιαστικά σε ένα μίγμα ξηρής ιλύος με χώμα σε αναλογία συναρτούμενη των φορών που έχει επαναχρησιμοποιηθεί.

Λίγο πριν το τέλος συναντάμε την ξήρανση με χρήση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Το εξαιρετικά υψηλό κόστος του εξοπλισμού και το επίσης εξαιρετικά υψηλό κόστος λειτουργίας καθιστούν αυτήν την μέθοδο ασύμφορη. Το προϊόν που παράγει είναι ένα εξαιρετικής ποιότητας προϊόν, υγιεινοποιημένο, ξηρό, ασφαλές για κάθε χρήση χωρίς ωστόσο να είναι το ιδανικό υλικό για γεωργική χρήση. Μία τέτοια μέθοδος ίσως να είναι κατάλληλη για εγκαταστάσεις που δεν έχουν διαθέσιμο χώρο για την εφαρμογή άλλων εκτατικών μεθόδων και που είναι αρκετά μακριά από μέρη στα οποία θα μπορούσε να γίνει διάθεση της ιλύος, όπως τα νησιά.

Τη μικρότερη βαθμολογία συγκεντρώνει η μηδενική λύση αφού παρόλο το μηδενικό της κόστος έχει πλήθος από άλλα μειονεκτήματα τα οποία έχουν αναλυθεί σε προηγούμενη παράγραφο.

## 5. Μελέτη τρόπων διάθεσης της ιλύος της ΕΕΛ Κορίνθου-Λουτρακίου

Η ιλύς είτε υποστεί επεξεργασία μετά την αφυδάτωση είτε όχι (μηδενική λύση) θα πρέπει με κάποιον τρόπο να οδηγηθεί προς διάθεση ή επαναχρησιμοποίηση. Για την περίπτωση που γίνει χρήση – αξιοποίηση της ιλύος, σύμφωνα με την υφιστάμενη νομοθεσία αλλά και το σχέδιο για την νέα ΚΥΑ απαιτείται επεξεργασία της. Σύμφωνα με την υφιστάμενη ΚΥΑ, ως επεξεργασμένη ιλύς χαρακτηρίζεται “η ιλύς η οποία έχει υποστεί βιολογική, χημική ή θερμική επεξεργασία με μακροχρόνια αποθήκευση ή με οποιαδήποτε άλλη κατάλληλη επεξεργασία ώστε να έχει μειωθεί σημαντικά η ικανότητά της προς ζύμωση και ο κίνδυνος για την υγεία που προκαλεί η χρησιμοποίησή της”. Σύμφωνα με την ΚΥΑ αυτή δεν προσδιορίζονται επακριβώς ποιες είναι μέθοδοι επεξεργασίας. Σύμφωνα με το σχέδιο της νέας ΚΥΑ οι δυνητικές χρήσεις της ιλύος προσδιορίζονται ανάλογα με το είδος της επεξεργασίας. Οι μέθοδοι επεξεργασίας προσδιορίζονται επακριβώς και χωρίζονται σε συμβατικές και προχωρημένες ανάλογα με το αποτέλεσμα υγειονομποίησης του τελικού προϊόντος. Για την επεξεργασία της απαιτείται άδεια επεξεργασίας ιλύος από την εγκατάσταση που την επεξεργάζεται, κάτι το οποίο συνεπάγεται χρονοβόρες και κοστοβόρες διαδικασίες.

Για την περίπτωσή μας θα μελετηθούν οι παρακάτω τρόποι διάθεσης

- Γεωργική διάθεση
- Διάθεση στο έδαφος (ΧΑΔΑ, ΧΥΤΑ)
- Χρήση ως καύσιμου για την παραγωγή ενέργειας

**Πίνακας 32. Η κατηγοριοποίηση των μεθόδων επεξεργασίας που εξετάστηκαν , σύμφωνα με το σχέδιο της νέας ΚΥΑ**

### **Συμβατικές Μέθοδοι Επεξεργασίας**

Παρατεταμένος αερισμός με χρόνο παραμονής μεγαλύτερο των 20 ημερών και ακολούθως:

- Ηλιακή ξήρανση σε θερμοκήπιο με χρήση του οχήματος Δαιδαλος
- Κομποστοποίηση με χρήση κινούμενου αναστροφέα και προσθήκη διογκωτικών υλικών
- Βιολογική ξήρανση εντός θερμοκηπίου με χρήση κινούμενου αναστροφέα
- Ασβεστοποίηση 4% CaO

### **Προχωρημένες Μέθοδοι Επεξεργασίας**

- 90% DS Θερμική ξήρανση με τεχνολογία περιστρεφόμενου τυμπάνου και καυστήρα βιομάζας-ιλύος - Ελληνικής τεχνολογίας ( AKDRY της Α. Κουτσούκος Α.Ε.)
- 90%DS / 55%DS Ξήρανση με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία
- Ασβεστοποίηση 10% CaO

### 5.1. Γεωργική Διάθεση

Η γεωργική διάθεση της ιλύος μπορεί να γίνει μόνο εφόσον αυτή έχει υποστεί επεξεργασία και τηρεί τα όρια συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων του Παραρτήματος ΙΒ της ΚΥΑ 80568/4225/22.03.1991 (Όμοια με αυτά του σχεδίου της νέας ΚΥΑ).

Θεωρώντας εξεργασμένη ιλύ με μία από τις μεθόδους που εξετάσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο, θα εξετάσουμε τις δυνατότητες για γεωργική επαναχρησιμοποίηση στον Νομό Κορινθίας.

Σύμφωνα με στοιχεία της Διεύθυνσης Αγροτικής Παραγωγής Ν. Κορινθίας το γενικό σύνολο των γεωργικών εκτάσεων είναι 59.353,80 εκτάρια. Για λόγους ασφαλείας επιλέγουμε ξηρικές καλλιέργειες, και από αυτές μόνον όσες δεν παράγουν καρπούς για άμεση ανθρώπινη ή μη κατανάλωση χωρίς επεξεργασία. Επιλέγουμε κατά προτεραιότητα καλλιέργειες στις οποίες μπορεί να γίνει πιο εύκολα η χρήση της ιλύος με κοπροδιανομέα.

**Πίνακας 33. Η κατανομή μέρους εκ των καλλιεργήσιμων εκτάσεων στον Ν. Κορινθίας**

	Έκταση σε εκτάρια  (1 εκτάριο = 10 στρέμματα)
Σύνολο εκτάσεων	59.353,80
Ξηρικές καλλιέργειες	36.923,70
Σιτηρά (σίτος, κριθάρι, βρώμη)	5.797,00
Αμπέλια για κρασί	2.230,00
Ελιές για λάδι	18.254,90
Καλλιέργειες για ζωοτροφές	
Σύνολο:	26.281,90



Αρχικά θα εξεταστεί η διάθεση ιλύος επεξεργασμένης με προχωρημένες μεθόδους (θερμική ξήρανση, ξήρανση IR, ασβεστοποίηση 10%). Ο μόνος περιορισμός στην περίπτωση αυτή είναι η μέγιστη φόρτιση βαρέων μετάλλων στο έδαφος. Προκειμένου για θερμική ξήρανση με τελικό προϊόν συγκέντρωσης DS 90% έχουμε προς διάθεση 1083 τόνους. Σύμφωνα με την ΚΥΑ του 1991 το μόνο κριτήριο για την γεωργική διάθεση της ιλύος είναι η μέγιστη επιτρεπόμενη φόρτιση βαρέων μετάλλων της καλλιέργειας. Υπάρχουν τεχνικές για τον υπολογισμό της δόσης επεξεργασμένης ιλύος, εφόσον τηρούνται τα κριτήρια της φόρτισης των βαρέων μετάλλων, με βάση τις ανάγκες της εκάστοτε καλλιέργειας σε θρεπτικά στοιχεία. Ωστόσο, στα πλαίσια της παρούσας μελέτης θα εξετασθούν μόνο οι περιορισμοί που τίθενται από την νομοθεσία. Με βάση την ανάλυση ιλύος της περίπτωσης μας υπολογίζουμε ποια είναι η μέγιστη δυνατή δοσολογία ώστε να μην υπερβούμε τους περιορισμούς της ΚΥΑ ως προς την ετήσια φόρτιση του εδάφους με βαρέα μέταλλα.

**Πίνακας 34. Οι μέγιστες επιτρεπόμενες φορτίσεις βαρέων μετάλλων του εδάφους ανά έτος για την ιλύ της περίπτωσης**

	Σύσταση ιλύος		ΚΥΑ 1991	
	mg/kg DS	kg/kg DS	kg/ha/έτος	tn DS/ha/εκτάριο
<b>Cd</b>	0,73	7,30E-07	0,15	205,5
<b>Cr</b>	56,18	5,62E-05	-	-
<b>Cu</b>	437,17	4,37E-04	12	27,4
<b>Pb</b>	119,62	1,20E-04	15	125,4
<b>Hg</b>	1,63	1,63E-06	0,1	61,3
<b>Ni</b>	48,02	4,80E-05	3	62,5
<b>Zn</b>	<u>1329,7</u>	<u>1,33E-03</u>	<u>30</u>	<u>22,6</u>

Σύμφωνα με την ΚΥΑ,1991 για τις παραμέτρους Cu, Ni και Zn μπορεί να χορηγηθεί άδεια χρήσης για ποσότητες έως και 50% αυξημένες από τις ανώτερες επιτρεπτές, εφόσον τα εδάφη είναι φτωχά στα μέταλλα αυτά. Δεδομένου ότι δε διαθέτουμε

στοιχεία για τη σύσταση του εδάφους δε θα εξετάσουμε κάποιο τέτοιο ενδεχόμενο. Από τον ανωτέρω πίνακα προκύπτει, ότι περιοριστικός παράγοντας είναι ο ψευδάργυρος και επομένως η μέγιστη δόση ανέρχεται σε 22,6 tn ξηρής ιλύος ανά εκτάριο. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι απαιτούμενες εκτάσεις για τη διάθεση της ιλύος ανάλογα με τη μέθοδο επεξεργασίας της.

**Πίνακας 35. Οι απαιτούμενες εκτάσεις ανάλογα με τη συγκέντρωση στερεών της ιλύος και την οριακή περιοριστική τιμή του Zn . Δόση 22,6 kg DS/ha-έτος**

Μέθοδος Ξήρανσης / Επεξεργασίας	Θερμική / ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία	Ηλιακή	Βιολογική	Κομποστοποίηση	IR	CaO 10%	CaO 4%
DS%	90	80	70	70	55	24	18
Ποσοστό Ιλύος %	100	100	100	69	100	57	96
tn/ha ιλύος (με διόρθωση λόγω αραίωσης)	25,07	28,20	32,23	46,71	41,02	164,92	130,56
Ετήσια Ποσότητα (tn)	1083	1219	1400	2355	1773	7188	7083
ha για το σύνολο της ετήσιας παραγωγής	43,2	43,2	43,4	50,4	43,2	43,6	54,2

Η μεγαλύτερη απαιτούμενη έκταση είναι 54,2 εκτάρια , για την περίπτωση όπου δεν επιτραπεί κατ'εξαίρεση υπέρβαση των ορίων . Όπως προκύπτει σύμφωνα με τα δεδομένα των καλλιεργήσιμων εκτάσεων του νομού η ανωτέρω απαίτηση για γεωργική έκταση είναι εύκολο να καλυφθεί. Η έκταση αυτή μπορεί να καλυφθεί από τις εκτάσεις σιτηρών στις οποίες η εφαρμογή είναι εξαιρετικά εύκολη και οικονομική.

Σύμφωνα με το σχέδιο για τη νέα σχετική ΚΥΑ τα όρια είναι αρκετά πιο αυστηρά. Επιτρέπεται εξαίρεση μόνο για Cu και Zn, χωρίς να προσδιορίζεται το ανώτατο κατ'εξαίρεση όριο, το οποίο ορίζεται κατά περίπτωση από την αρμόδια διεύθυνση αγροτική ανάπτυξης. Ωστόσο οι υπολογισμοί θα γίνουν για τις οριακές τιμές χωρίς εξαίρεση καθώς οι απαιτούμενες εκτάσεις αναμένεται να είναι αρκετά μικρές.

**Πίνακας 36. Οι μέγιστες επιτρεπόμενες φορτίσεις βαρέων μετάλλων του εδάφους ανά έτος για την ιλύ της περίπτωσης σύμφωνα με το σχέδιο της νέας ΚΥΑ**

	Σύσταση Ιλύος		Σχέδιο ΚΥΑ	
	mg/kg DS	kg/KG DS	kg/ha/έτος	tn DS/ha/εκτάριο
<b>Cd</b>	0,73	7,30E-07	0,015	20,5
<b>Cr</b>	56,18	5,62E-05	3	-
<b>Cu</b>	437,17	4,37E-04	3	6,9
<b>Pb</b>	119,62	1,20E-04	1	8,4
<b>Hg</b>	1,63	1,63E-06	0,01	6,1
<b>Ni</b>	48,02	4,80E-05	0,75	15,6
<b>Zn</b>	<u>1329,7</u>	<u>1,33E-03</u>	<u>7,5</u>	<u>5,6</u>

Όπως προκύπτει από τον ανωτέρω πίνακα η μέγιστη δυνατή φόρτιση είναι 5,6 tn DS ανά εκτάριο. Για τη δόση αυτή θα κάνουμε τους υπολογισμούς διάθεσης.

**Πίνακας 37. Οι απαιτούμενες εκτάσεις ανάλογα με τη συγκέντρωση στερεών της ιλύος και την οριακή περιοριστική τιμή του Zn όπως προέκυψε από τα όρια του σχεδίου της νέας ΚΥΑ . Δόση 5,6 kg DS/ha/έτος.**

Μέθοδος Ξήρανσης / Επεξεργασίας	Θερμική / ηλεκτρομαγνητική	Ηλιακή	Βιολογική	Κομποστοποίηση	IR	CaO 10%	CaO 4%
DS%	90	80	70	70	55	24	18
Ποσοστό Ιλύος %	100	100	100	69	100	57	96
tn/ha ιλύος (με διόρθωση λόγω αραίωσης)	6,27	7,05	8,06	11,68	10,26	41,23	32,64
Ετήσια Ποσότητα (tn)	1083	1219	1400	2355	1773	7500	7083
ha για το σύνολο της ετήσιας παραγωγής	172,8	172,9	173,7	201,7	172,9	181,9	217,0

Η μέγιστη έκταση που μπορεί να απαιτηθεί προκύπτει για την περίπτωση της ασβεστοποίησης με δόση 4% και ανέρχεται σε 217 εκτάρια ή 2.170 στρέμματα. Η έκταση αυτή μπορεί πολύ εύκολα να βρεθεί στον Νομό και μάλιστα σε περιοχές κοντά στην εγκατάσταση.

Το διαθέσιμο άζωτο στα φυτά (ΔΑΦ) υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$\Delta A\Phi = NO_3 - N + K_{vol}(NH_4 - N) + K_{min}(Oργ. - N)$$

Όπου:

$K_{vol}$ =Κλάσμα  $NH_4-N$  που δεν έχει διαφύγει στην ατμόσφαιρα

$K_{min}$ =παράγοντας οργανικού N που μετατρέπεται σε ΔΑΦ

Θεωρούμε Οργανικό-N ίσο με:

$$Oργ.-N = TN - NH_4-N - NO_3-N = TN - 30\% TN - 0,5\% TN = 69,5 TN$$

Θεωρούμε ότι η ιλύς διασκορπίζεται επιφανειακά με κοπροδιανομέα και επομένως το 30% του  $NH_4-N$  ( $K_{vol}=0,7$ ) απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα και δεν είναι διαθέσιμο για τις καλλιέργειες.

Το οργανικό άζωτο ανοργανοποιείται με ρυθμό 20% το πρώτο έτος, 10% το δεύτερο και 5% το τρίτο. Θεωρούμε τη μέγιστη δυνατή ποσότητα ανοργανοποιημένου οργανικού αζώτου, η οποία ξεκινά τον τρίτο χρόνο και ανέρχεται σε 35% (20 από την ετήσια ιλύ + 10 από την ιλύ του προηγούμενου έτους + 5 από ιλύ του προηγούμενου έτους  $\rightarrow K_{min} = 0,35$ ).

$$\begin{aligned} \Delta A\Phi &= NO_3 - N + K_{vol}(NH_4 - N) + K_{min}(Oργ. - N) \\ &= 0,5\% * TN + 0,7 * 30\% * TN + 35 * 69,5 * TN \\ &= (0,5\% + 0,7 * 30\% + 0,35 * 69,5\%) * 66,24 \frac{kg N}{tn DS} \\ &= 30,35 \frac{kg N}{tn DS} \end{aligned}$$

Ειδικότερα για την περίπτωση της ασβεστοποίησης θεωρούμε ότι όλο το αμμωνιακό άζωτο απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα. Επομένως, έχουμε :

$$\begin{aligned} \Delta A\Phi &= NO_3 - N + K_{min}(Oργ.-N) = 0,5\% * TN + 35 * 69,5 * TN \\ &= (0,5\% + 0,35 * 69,5\%) * 66,24 \frac{kg N}{tn DS} = \mathbf{16,44} \frac{kg N}{tn DS} \end{aligned}$$

Το μεγαλύτερο ποσοστό του φωσφόρου στην ιλύ βρίσκεται σε ανόργανη μορφή, γ'αυτό θεωρούμε όταν όπως και ανόργανα λιπάσματα, μόνο το 50% του ολικού φωσφόρου της ιλύος είναι διαθέσιμος στα φυτά. Οπότε εύκολα υπολογίζεται η διαθέσιμη στις καλλιέργειες ποσότητα :

$$\text{Διαθέσιμος Φώσφορος} = 0,5 X \frac{TP}{DS \text{ ιλύος}} = 0,5 * 13,83 \frac{TP}{DS \text{ ιλύος}} = \mathbf{6,915} \frac{kg TP}{tn DS \text{ ιλύος}}$$

Το κάλιο ως διαλυτό στοιχείο μεταφέρεται κατά κύριο λόγο στα στραγγίσματα και τελικά στην εκροή της ΕΕΛ , ενώ μόνο ένα μικρό μέρος παραμένει στην ιλύ. Εξαιτίας της διαλυτότητας του θεωρούμε ότι όλη η ποσότητα καλίου θα είναι διαθέσιμη στις καλλιέργειες. Για το κάλιο δεν υπάρχουν στοιχεία από αναλύσεις της ιλύος της περίπτωσης μας οπότε θα θεωρήσουμε τη μέση τιμή για τα ελληνικά δεδομένα 0,29 %DS (Kouloumbis et al).

$$\text{Διαθέσιμο Κάλιο} = 0,29\%DS = \mathbf{2,9} \frac{kg K}{tn DS \text{ ιλύος}}$$

**Πίνακας 38.Οι ανάγκες ξηρικών καλλιεργειών σύμφωνα με την Δ/ση Αγροτικής Ανάπτυξης Φθιώτιδας**

	kg/ha		
	N	P2O5	K (K2O*83%)
Σιτηρά	130	11	66,4
Αμπέλια	80	11	58,1
Ελιές	1	11	3,32

Οι διαθέσιμες ποσότητες κάθε στοιχείου αναλόγως με τη δόση χρήσης της ιλύος υπολογίζονται σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους :

$$\text{Διαθέσιμα } \frac{\text{kg (N ή P ή K)}}{\text{ha}} = \text{διαθέσιμη ποσότητα} * \text{δόση} * \text{ξηρά ουσία} =$$

$$\frac{\text{kg (N ή P ή K)}}{\text{tn DS ιλύος}} * \frac{\text{tn ιλύος}}{\text{ha}} * \frac{\text{tn DS ιλύος}}{\text{tn ιλύος}}$$

Το ποσοστό κάλυψης των αναγκών θρέψης των καλλιεργειών υπολογίζεται :

$$\text{Κάλυψη αναγκών (N ή P ή K) \%} = \frac{\text{διαθέσιμα } \frac{\text{kg (N ή P ή K)}}{\text{ha}}}{\text{απαιτούμενα } \frac{\text{kg (N ή P ή K)}}{\text{ha}}}$$

Σύμφωνα με όλα τα ανωτέρω προκύπτουν οι παρακάτω πίνακες ανάλογα με την μέθοδο επεξεργασίας και την δόση ιλύος

**Πίνακας 39. Κάλυψη των αναγκών θρεπτικών στοιχείων των καλλιεργειών για  
δοσολογίες ώστε να μην γίνεται παραβίαση των ορίων ετήσιας φόρτισης βαρέων  
μετάλλων σύμφωνα με την ΚΥΑ 80586/4225/22-03-1991**

Μέθοδος Ξήρανσης / Επεξεργασίας	Θερμική / ηλεκτρομαγνητική	Ηλιακή	Βιολογική	Κομπο- στοποίηση	IR	CaO 10%	CaO 4%
DS%	90,00	80,00	70,00	70,00	55,00	24,00	18,00
Ποσοστό Ιλύος %	100,00	100,00	100,00	69,00	100,00	57,00	96,00
<b>Δόση = 22,6 tn DS/ha/έτος (ΚΥΑ 1991)</b>							
tn/ha ιλύος (με διόρθωση λόγω αραίωσης)	25,07	28,20	32,23	46,71	41,02	164,92	130,56
<b>Διαθέσιμα kg /ha</b>							
<b>N</b>	684,74	684,74	684,74	992,38	684,74	650,72	386,37
<b>P</b>	156,01	156,01	156,01	226,11	156,01	273,71	162,51
<b>K</b>	65,43	65,43	65,43	94,82	65,43	114,79	68,15
<b>Κάλυψη αναγκών σε N</b>							
Σιτηρά	526,7%	526,7%	526,7%	763,4%	526,7%	500,6%	297,2%
Αμπέλια	195,0%	195,0%	195,0%	282,6%	195,0%	342,1%	203,1%
Ελιές	68474%	68474%	68474%	99238%	68474%	65072%	38637%
<b>Κάλυψη αναγκών σε P</b>							
Σιτηρά/Αμπέλια/Ελιές	1418,3%	1418,3%	1418,3%	2055,5%	1418,3%	2488,2%	1477,4%
<b>Κάλυψη αναγκών σε K</b>							
Σιτηρά	98,5%	98,5%	98,5%	142,8%	98,5%	172,9%	102,6%
Αμπέλια	112,6%	112,6%	112,6%	163,2%	112,6%	197,6%	117,3%
Ελιές	1971%	1971%	1971%	2856%	1971%	3457%	2053%

**Πίνακας 40. Κάλυψη των αναγκών των καλλιεργειών σε θρεπτικά για δοσολογίες ώστε να μην γίνεται παραβίαση των ορίων της ετήσιας φόρτισης βαρέων μετάλλων σύμφωνα με το σχέδιο της νέας ΚΥΑ**

Μέθοδος Ξήρανσης / Επεξεργασίας	Θερμική / ηλεκτρομαγνητική	Ηλιακή	Βιολογική	Κομπο-στοποίηση	IR	CaO 10%	CaO 4%
DS%	90,00	80,00	70,00	70,00	55,00	24,00	18,00
Ποσοστό Ιλύος %	100,00	100,00	100,00	69,00	100,00	57,00	96,00
<b>Δόση = 5,6 tn DS/ha/έτος</b>							
tn/ha ιλύος (με διόρθωση λόγω αραίωσης)	6,27	7,05	8,06	11,68	10,26	27,65	32,64
<b>Διαθέσιμα kg /ha</b>							
<b>N</b>	171,19	171,19	171,19	248,09	171,19	109,09	96,59
<b>P</b>	39,00	39,00	39,00	56,53	39,00	45,89	40,63
<b>K</b>	16,36	16,36	16,36	23,71	16,36	19,24	17,04
<b>Κάλυψη αναγκών σε N</b>							
Σιτηρά	131,7%	131,7%	131,7%	190,8%	131,7%	83,9%	74,3%
Αμπέλια	48,8%	48,8%	48,8%	70,7%	48,8%	57,4%	50,8%
Ελιές	17119%	17119%	17119%	24809%	17119%	10909%	9659%
<b>Κάλυψη αναγκών σε P</b>							
Σιτηρά/Αμπέλια/Ελιές	354,6%	354,6%	354,6%	513,9%	354,6%	417,1%	369,3%
<b>Κάλυψη αναγκών σε K</b>							
Σιτηρά	24,6%	24,6%	24,6%	35,7%	24,6%	29,0%	25,7%
Αμπέλια	28,2%	28,2%	28,2%	40,8%	28,2%	33,1%	29,3%
Ελιές	493%	493%	493%	714%	493%	580%	513%

Από τους παραπάνω πίνακες συμπεραίνουμε ότι η ιλύς μπορεί να χρησιμοποιείται σε καλλιέργειες σιτηρών και αμπελιών για την πλήρη κάλυψη ή σε ορισμένες περιπτώσεις την κάλυψη μέρους των αναγκών τους σε άζωτο, φώσφορο και κάλιο. Οι διαφορές της εφαρμογής της υφιστάμενης ΚΥΑ σε σχέση με το σχέδιο της νέας ΚΥΑ είναι σημαντικές. Σύμφωνα με τα όρια της νέα ΚΥΑ, η επαναχρησιμοποίηση της ιλύος μπορεί να καλύψει τις ανάγκες θρέψης των καλλιεργειών χωρίς ωστόσο να υπερβαίνει σημαντικά τις απαιτούμενες ποσότητες όπως συμβαίνει με την υφιστάμενη ΚΥΑ. Διαφορετικές πηγές αναφέρουν ανάγκες αζώτου για την επίτευξη καλών επιδόσεων ακόμη και 16 φορές υψηλότερες (Pazaroglou,2011) ή ακόμη και 80 φορές υψηλότερες (Μετζιδάκης, 2006) . Δεδομένου μάλιστα ότι τα ελαιόδεντρα



είναι εξαιρετικά ανθεκτικά δέντρα ίσως να μην υπάρχει κανένα πρόβλημα από την περίσσεια θρεπτικών που υπολογίστηκε ανωτέρω. Συνοψίζοντας παρατηρούμε ότι η εξοικονόμηση χρημάτων λόγω της μείωσης των λιπασμάτων μπορεί να αποτελέσει ένα ισχυρό επιχειρήμα, όπως κατά καιρούς έδειξαν και πιλοτικές εφαρμογές σε άλλες καλλιέργειες (Samaras et al, 2008). Ωστόσο, όσον αφορά τους ελαιώνες, με δεδομένα ότι καταλαμβάνουν πολύ μεγάλες εκτάσεις του νομού, συνήθως δεν υπάρχει πρόσβαση σε ανθρώπους και ζώα, ο καρπός δεν καταναλώνεται άμεσα αλλά υπόκειται σε επεξεργασία για την εξαγωγή του ελαιολάδου ενώ οι περισσότεροι δεν ασχολούνται με την λίπανσή τους, η δωρεάν χρήση της ιλύος θα μπορούσε μέσα από μία καμπάνια να λύσει το πρόβλημα διάθεσης της. Οι δυσκολίες στην πράξη είναι πολύ μεγαλύτερες, αφού το κόστος μεταφοράς και διασποράς είναι σημαντικό, ενώ όπως επιβεβαιώνεται και από έρευνες ελάχιστοι είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν για αναλύσεις εδάφους καθώς και κάποιον ο οποίος θα ολοκληρώσει την απαιτούμενη διαδικασία ώστε η εφαρμογή της ιλύος να γίνει σύμφωνα με τις προβλεπόμενες από την νομοθεσία διαδικασίες. Λαμβάνοντας δε υπόψη ότι στον νομό υπάρχει μεγάλη πληθώρα μικρών κλήρων και για κάθε έναν από αυτούς πρέπει να γίνει όλη η διαδικασία της αδειοδότησης, γίνεται αντιληπτό ότι το όλο εγχείρημα είναι εξαιρετικά δύσκολο. Ίσως εάν γινόταν μία προσπάθεια ανά περιοχή με ενιαία αδειοδότηση και παρακολούθηση, γιατί όχι και επιχορηγούμενη, να ήταν εφικτή. Τέλος, σε κάθε περίπτωση τον τελευταίο λόγο έχουν οι γεωπόνοι, των οποίων τα συμφέροντα φαίνεται να συγκρούονται με την διάθεση δωρεάν ή φθηνής ιλύος σε σχέση με το εμπόριο λιπασμάτων.

## 5.2. Διάθεση στο έδαφος

Η διάθεση στο έδαφος αφορά στην μεταφορά της σε Χ.Υ.Τ.Α. Η ιλύς μπορεί να γίνει δεκτή σε ΧΥΤΑ μη επικινδύνων αποβλήτων, αφού σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Κατάλογο Αποβλήτων (ΕΚΑ – Οδηγία 2001/118/ΕΚ) κατατάσσεται στο Κεφάλαιο 20 (Δημοτικά Απόβλητα) με κωδικούς: 20-03-06 «απόβλητα από καθαρισμό λυμάτων» και 20-03-04 «λάσπη σηπτικής δεξαμενής». Για να μπορέσει η ιλύς να διατεθεί σε ΧΥΤΑ θα πρέπει το εκχύλισμα της να έχει συγκεντρώσεις των παραμέτρων του

Πίνακα 41 μικρότερες από τα αντίστοιχα όρια. Ωστόσο για την ιλύ της ΕΕΛ Κ-Λ δεν υπάρχουν σχετικά στοιχεία από δοκιμή έκπλυσης.

**Πίνακας 41: Οριακές τιμές για αποδοχή στους ΧΥΤΑ (Οδηγία 2003/33/ΕΚ)**

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	L/S* = 2	L/S = 10
	mg/kg DS	mg/kg DS
As	0,4	2
Ba	30	100
Cd	0,6	1
Cr	4	10
Cu	25	50
Hg	0,05	0,2
Mo	5	10
Ni	5	10
Pb	5	10
Sb	0,2	0,7
Se	0,3	0,5
Zn	25	50
Ιόντα χλωρίου	10.000	15.000
Ιόντα φθορίου	60	150
Θειικά ανιόντα	10.000	20.000
DOC	380	800
TDS	40.000	60.000

\* L/S = Liquid / Solid

Στην περιοχή υπάρχει μόνο ένας ΧΥΤΑ, αυτός του Κιάτου, ο οποίος δε δέχεται πλέον ιλύ. Επίσης, υπάρχει ένας ΧΑΔΑ στο Λουτρακί με προοπτική μετατροπής σε ΧΥΤΑ στον οποίο εφόσον η ιλύ έχει στερεά >30% μπορεί να διατεθεί δωρεάν. Το κόστος μεταφοράς της ιλύος στον ΧΑΔΑ Λουτρακίου ανέρχεται  $2,45 \frac{\text{€}}{\text{tn}}$ .

Συνεπώς, το κόστος διάθεσης στον ΧΑΔΑ (ΧΥΤΑ) ανάλογα με τη μέθοδο αναλύεται όπως φαίνεται στον πίνακα 42 :

**Πίνακας 42: Κόστος μεταφοράς στον ΧΑΔΑ (μελλοντικό ΧΥΤΑ)**

Μέθοδος	Τελική Ποσότητα (tn)	Κόστος μεταφοράς στον ΧΑΔΑ (€/ tnDS)
Συνδυασμός	1009	2,54 €
Θερμική Ξήρανση	1083	2,72 €
Ξήρανση με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία	1083	2,72 €
Ανάμιξη με χώμα	1083	2,72 €
Ηλιακή Ξήρανση	1219	3,06 €
Βιολογική Ξήρανση	1400	3,52 €
Ξήρανση με IR	1773	4,46 €
Κομποστοποίηση	2355	5,92 €
Ασβεστοποίηση 4%	7083	17,80 €
Ασβεστοποίηση 10%	7188	18,06 €
Μηδενική Λύση	7500	18,85 €

### 5.3. Διάθεση σε εδάφη για αποκατάσταση κλπ

Ύστερα από έρευνα στο Νομό δε βρέθηκε κάποια δυνατότητα διάθεσης της ιλύος για αποκατάσταση χωματερών ή λατομείων. Όσον αφορά τα λατομεία καμία από τις ενεργές εταιρείες δεν έχει στα πλάνα της να προχωρήσει σε αποκατάσταση λατομείου, ενώ κάποια παλιά λατομεία που υπάρχουν είναι εγκαταλελειμμένα και κανείς δεν αναλαμβάνει το κόστος για τυχόν αποκατάσταση. Υπάρχει ένα πλάνο για αποκατάσταση όλων των ΧΑΔΑ του νομού, αλλά αυτό είναι ακόμη σε αρκετά ανώριμο στάδιο, επομένως δεν μπορούμε να υπολογίσουμε πόσες ποσότητες θα μπορούσαν να απορροφηθούν. Ακόμη και εάν προχωρούσαν άμεσα οι αποκαταστάσεις και αξιοποιήσουν την παραγόμενη από την ΕΕΛ Κ-Λ ιλύ, αυτή θα ήταν μία λύση η οποία θα έλυσε το πρόβλημα της διάθεσης μόνο προσωρινά.

#### 5.4. Καύση

Η ιλύς είναι ένα οργανικό υλικό με υψηλή θερμογόνο δύναμη που μπορεί εύκολα να καεί είτε ως καύσιμο είτε με μοναδικό σκοπό την δραστική μείωση του όγκου της. Η καύση της ιλύος εμπεριέχεται εμμέσως και στη χρήση της ως καύσιμο. Η καύση της ιλύος σε μία εγκατάσταση καύσης με μόνο σκοπό την καταστροφή της δεν κρίνεται δόκιμο να μελετηθεί καθώς τέτοια εγκατάσταση δεν υπάρχει στον ελλαδικό χώρο, ενώ ακόμη και εάν δημιουργηθεί θα έχει πολύ υψηλό κόστος κατασκευής και λειτουργίας το οποίο θα την καθιστά ασύμφορη. Καύση της ιλύος εμπεριέχεται στην θερμική ξήρανση που εξετάσαμε, για την παραγωγή θερμικής ενέργειας για την ξήρανση της ιλύος, ωστόσο σε αυτήν την περίπτωση αξιοποιείται ως καύσιμο

Η ξηρή ιλύς χρησιμοποιείται ως συν-καύσιμο σε πολύ μικρά ποσοστά στους κλιβάνους ορισμένων τσιμεντοβιομηχανιών της χώρας. Ενδιαφέρον επίσης υπάρχει και από άλλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις οι οποίες διαθέτουν μονάδες καύσης πολλαπλών καυσίμων όπως οι ασβεστοποιείες. Συγκεκριμένα για την ΕΛΛ Κ-Λ, ήδη έχει εκδηλωθεί ενδιαφέρον βιομηχανίας του Ν. Κορίνθιας για τη χρήση της ιλύος ως καύσιμο σε συνδυασμό με βιομάζα που ήδη χρησιμοποιεί. Παρά το γεγονός ότι πρόκειται για δωρεάν καύσιμο, υπάρχει αρκετή επιφυλακτικότητα τόσο ως προς την περιβαλλοντική επιβάρυνση και το κόστος των μέτρων αντιρρύπανσης των απαερίων και της τέφρας όσο και ως προς τη συμπεριφορά της ως καύσιμο σε σχέση με αυτά που ήδη χρησιμοποιούνται. Η χρήση της ιλύος ως καύσιμο αφενός θα έλυσε το πρόβλημα διάθεσης της ιλύος αφετέρου θα μείωνε την εξάρτηση από εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα και επομένως αξίζει να διερευνηθεί περισσότερο.

#### 5.5. Εξαγωγή σε άλλες χώρες

Μία άλλη λύση η οποία έχει εφαρμοσθεί στο παρελθόν σε άλλες εγκαταστάσεις είναι η εξαγωγή της ιλύος στο εξωτερικό σε χώρες με εδάφη εξαιρετικά φτωχά σε άνθρακα και θρεπτικά. Για τη διερεύνηση μίας τέτοιας δυνατότητας έγιναν κάποιες επαφές με χώρα της Βορείου Αφρικής, καθώς εκεί τα εδάφη είναι κατά κύριο λόγο αμμουδερά με μηδαμινή συγκέντρωση οργανικών και επομένως άγονα. Ωστόσο, παρά τις πρώτες συζητήσεις, για να διερευνηθεί σε βάθος μία τέτοια λύση και να

βγουν κάποια χρήσιμα συμπεράσματα θα πρέπει να γίνουν επαφές με υψηλά ιστάμενους της Αφρικανικής χώρας ενώ απαραίτητη είναι και μία οικονομική ανάλυση του όλου σχεδίου η οποία ξεφεύγει από τον σκοπό της παρούσας εργασίας. Με δεδομένη την επιφυλακτικότητα που υπάρχει στην Ελλάδα σχετικά με τις χρήσεις της ιλύος, η εξαγωγή της ιλύος σε άλλη χώρα μπορεί να αποτελέσει τη λύση για τη διάθεση της ιλύος.

## 6. Συμπεράσματα

---

Σύμφωνα με τη βασική αρχή της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη διαχείριση των αποβλήτων, πριν από όλα πρέπει να εξαντλείται κάθε δυνατότητα για την ελαχιστοποίηση της παραγόμενης ποσότητας αποβλήτων. Η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων Κορίνθου-Λουτρακίου είναι μία μεσαίου μεγέθους εγκατάσταση, της οποίας όμως η δυναμικότητα καθιστά ασύμφορη την εφαρμογή ορισμένων δημοφιλών και δοκιμασμένων μεθόδων μείωσης της παραγόμενης ιλύος. Συνεπώς μέθοδοι όπως η αναερόβια χώνευση, η θερμική υδρόλυση, η υγρή οξείδωση κ.α. είναι ασύμφορο να εφαρμοστούν σε μία εγκατάσταση τέτοιας δυναμικότητας καθώς απαιτούν νέες ακριβές εγκαταστάσεις, εξειδικευμένο προσωπικό και ορισμένες έχουν υψηλό λειτουργικό κόστος. Άλλες απλούστερες μέθοδοι, όπως η αερόβια σταθεροποίηση, είναι εξαιρετικά κοστοβόρες ενώ σε ένα βαθμό μπορούμε να πούμε ότι υλοποιείται ήδη με τους υψηλούς χρόνους παραμονής που λειτουργούν οι βιολογικοί αντιδραστήρες. Από την εξέταση των μεθόδων για τη μείωση της παραγόμενης ποσότητας ιλύος προέκυψε μία μέθοδος η οποία μπορεί να εφαρμοστεί στην εγκατάσταση χωρίς να απαιτούνται νέες υποδομές. Πρόκειται για τη χρήση υπερήχων ή ηχοβόληση. Μία μέθοδο η οποία δεν έχει εφαρμοσθεί ευρέως ωστόσο τα αποτελέσματα από πιλοτικές δοκιμές είναι πολύ ενθαρρυντικά. Η μέθοδος αυτή απαιτεί εξοπλισμό χαμηλού κόστους ενώ δεν απαιτούνται νέες υποδομές ή αλλαγές στις υπάρχουσες. Ωστόσο, τυχόν εφαρμογή αυτής της μεθόδου θα πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω πριν ληφθεί οποιαδήποτε απόφαση.

Το σημαντικότερο μειονέκτημα της παραγόμενης ιλύος της συγκεκριμένης ΕΕΛ είναι η εξαιρετικά μικρή συγκέντρωση στερεών. Επομένως θα ήταν δόκιμο, πρώτα από όλα να βελτιωθεί η απόδοση της μονάδας αφυδάτωσης. Επιτυγχάνοντας μία συγκέντρωση στερεών της τάξεως του 25 %, ο όγκος που θα πρέπει να οδηγηθεί προς περαιτέρω επεξεργασία ή διάθεση θα μειωθεί περίπου στο μισό. Δεδομένου ότι έχουν εξαντληθεί όλα τα περιθώρια βελτίωσης της απόδοσης της υπάρχουσας

μονάδας αφυδάτωσης, η μόνη λύση είναι η εγκατάσταση μίας φιλτρόπρεσσας ή ενός φυγόκεντρου. Κάτι τέτοιο όμως θα απαιτούσε μία πολύ μεγάλη δαπάνη η οποία είναι αδύνατον, με τα σημερινά οικονομικά δεδομένα, να υλοποιηθεί με ιδίους πόρους των δύο ΔΕΥΑ. Υπάρχει ήδη πρόβλεψη για την προμήθεια ενός φυγόκεντρου στα πλαίσια ενός προγράμματος επέκτασης και αναβάθμισης της ΕΕΛ του οποίου η ένταξη στο ΕΠΕΡΑΑ αναμένεται τους επόμενους μήνες. Ωστόσο ακόμη και εάν ενταχθεί, η συγκεκριμένη προμήθεια είναι στην τρίτη φάση του έργου οπότε δεν αναμένεται να έχει ολοκληρωθεί νωρίτερα από τα επόμενα 3 – 5 χρόνια.

Μετά την τεχνοοικονομική ανάλυση των μεθόδων επεξεργασίας της ιλύος και την βαθμολόγηση τους προέκυψε πώς οι καταλληλότερες για την ΕΕΛ Κ-Λ είναι αυτή της βιολογικής ξήρανσης, του συνδυασμού βιολογικής και θερμικής ξήρανσης και της κομποστοποίησης. Πρώτη με ελάχιστη διαφορά έρχεται η βιολογική ξήρανση. Πρόκειται για μία μέθοδο, η οποία έχει εξαιρετικά χαμηλό λειτουργικό κόστος, χαμηλό κόστος προμήθειας του εξοπλισμού, δεν απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό, δεν πρόκειται για ευαίσθητη διεργασία (όπως η κομποστοποίηση), δεν επιβαρύνει το περιβάλλον, παράγει ένα αρκετά ικανοποιητικό υλικό ενώ η απαιτούμενη έκταση δεν είναι πρόβλημα αφού είναι διαθέσιμη εντός της ΕΕΛ. Παρόλα τα πλεονεκτήματα υπάρχει αρκετός προβληματισμός σχετικά με την δημιουργία οσμών και τη προσέλκυση εντόμων. Με ελάχιστη βαθμολογική διαφορά ακολουθεί ο συνδυασμός βιολογικής και θερμικής ξήρανσης ο οποίος έχει το πλεονέκτημα της δραστηρικής μείωσης της μάζας και του όγκου του τελικού προϊόντος. Μειονέκτημα του όμως είναι προβληματισμός σχετικά με τις επιπτώσεις στο περιβάλλον από την καύση της ιλύος καθώς και ο τρόπος διάθεσης της τέφρας. Στην πρώτη τριάδα συμπεριλαμβάνεται και η κομποστοποίηση, μία μέθοδος αρκετά διαδεδομένη στην Ελλάδα η οποία προτιμάται από πολλές μικρές και μεσαίες εγκαταστάσεις ανά τον κόσμο.

Ωστόσο στην παρούσα οικονομική συγκυρία, μία τέτοια επένδυση δεν μπορεί να υλοποιηθεί παρά μόνο με κοινοτική χρηματοδότηση. Επομένως ναι μεν οι ανωτέρω μέθοδοι είναι ίσως οι καταλληλότερες για την ΕΕΛ Κ-Λ, όμως καμία από αυτές δεν μπορεί να μας λύσει το πρόβλημα σήμερα. Τα ανωτέρω συμπεράσματα θα πρέπει να αξιοποιηθούν κατά την υποβολή για χρηματοδότηση ενός σχεδίου επεξεργασίας

της ιλύος. Ένα κριτήριο το οποίο δεν έχει εξετασθεί, είναι κατά πόσο μία μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί άμεσα. Τέτοιες είναι μόνο δύο από τις μεθόδους που εξετάστηκαν. Πρόκειται για την ανάμιξη με χώμα και την ασβεστοποίηση. Η ανάμιξη με χώμα είναι μία λύση η οποία εφαρμόζεται αμέσως απλά και μόνο με την ανάθεση των εργασιών σε έναν εργολάβο ο οποίος διαθέτει σκαπτικά μηχανήματα. Αν και έχει αρκετά υψηλό λειτουργικό κόστος, μπορεί να θεωρηθεί ως μία συμβατική μέθοδος επεξεργασίας αφού η ιλύς είναι ήδη σταθεροποιημένη από τον βιολογικό αντιδραστήρα ενώ το σημαντικότερο πλεονέκτημά της είναι ότι δίνει άμεση λύση στο πρόβλημα. Η ασβεστοποίηση απαιτεί την προμήθεια κατάλληλου εξοπλισμού του οποίου το κόστος όμως είναι εξαιρετικά μικρό. Επομένως είναι μία λύση η οποία απαιτεί ένα χρονικό διάστημα μέχρι την ολοκλήρωση των διαδικασιών προμήθειας και εγκατάστασης του εξοπλισμού, ωστόσο είναι μία σχετικά γρήγορη λύση η οποία μπορεί να δώσει ένα προϊόν επαρκώς υγειονοποιημένο για γεωργική ή άλλη χρήση. Μάλιστα για δόση CaO10% και αποθήκευση 3 μηνών η ιλύς θεωρείται ότι έχει υποστεί προχωρημένη επεξεργασία και επομένως δεν υπάρχουν περιορισμοί για την μετέπειτα χρήση ή διάθεση της ιλύος. Η μηδενική λύση δεν μπορεί να εφαρμοστεί πλέον καθώς δεν υπάρχει κανένας διαθέσιμος χώρος διάθεσης για την ανεπεξέργαστη και αρκετά υδαρή ιλύς, ενώ για την περίπτωση της μεταφοράς σε μονάδα επεξεργασίας το κόστος είναι απαγορευτικό.





**Γράφημα 2: Βαθμολογία λύσεων επεξεργασίας ιλύος**

Ως προς τη διάθεση της ιλύος εξετάστηκαν λεπτομερώς οι δυνατότητες γεωργικής αξιοποίησης, καθώς σύμφωνα με τις ευρωπαϊκές αρχές για τη διαχείριση των αποβλήτων, αυτά θα πρέπει κατά το δυνατό να επαναχρησιμοποιούνται ή να αξιοποιούνται και να μην οδηγούνται προς εδαφική διάθεση. Από τη μελέτη των δυνατών τρόπων διάθεσης της ιλύος διαπιστώθηκε ότι οι απαιτούμενες καλλιεργούμενες εκτάσεις είναι εξαιρετικά μικρές και επομένως η ιλύς θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί αποκλειστικά σε αγροτεμάχια εντός του νομού. Αντίθετα δεν υπάρχουν προς το παρόν προοπτικές για χρήση σε αποκαταστάσεις ΧΑΔΑ ή λατομείων ή για χρήση σε δάση, ενώ η χρήση της ως καύσιμο θα μπορούσε να είναι μια λύση μόνο εάν αυτή έχει υποστεί κατάλληλη επεξεργασία ώστε να έχει ελάχιστη υγρασία. Επομένως εφόσον εφαρμοσθεί μία από τις μεθόδους η οποία δίνει ξηρή ιλύ χωρίς προσμίξεις (θερμική ξήρανση, ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (IR), αερόβια ξήρανση) καθώς και η κομποστοποίηση υπάρχουν αρκετές εναλλακτικές λύσεις για την διάθεση της. Στην περίπτωση της ανάμιξης με χώμα θα πρέπει να περάσουν αρκετά χρόνια ώστε να έχουμε ένα προϊόν με υψηλή συγκέντρωση ιλύος ώστε αυτό να οδηγηθεί προς γεωργική διάθεση ή άλλη διάθεση. Σε περίπτωση που γίνει απομάκρυνση του μίγματος ιλύος-χώματος

νωρίτερα, τότε το υλικό αυτό θα έχει υψηλή συγκέντρωση σε χώμα, επομένως θα πρέπει να μεταφερθεί μεγάλη μάζα μείγματος, ενώ με την απομάκρυνση του χώματος από την εγκατάσταση δεν θα υπάρχει αρκετό διαθέσιμο για να συνεχισθεί η διαδικασία. Στην περίπτωση της ασβεστοποίησης είναι δυνατοί όλοι οι τρόποι διάθεσης που αναλύθηκαν πλην της χρήσης ως καυσίμου καθώς έχει υψηλή περιεκτικότητα σε ανόργανες ενώσεις. Ωστόσο, σε αντίθεση με την ανάμιξη με χώμα, το προϊόν της ασβεστοποίησης μπορεί να απομακρυνθεί αμέσως από την εγκατάσταση προς διάθεση σε ΧΥΤΑ ( δε γίνεται δεκτή προς το παρόν εξαιτίας των προβλημάτων που δημιουργεί η χαμηλή συγκέντρωση στερεών) ή μετά από έναν χρόνο αποθήκευσης ορισμένων μηνών να οδηγηθεί προς γεωργική διάθεση.

Μια λύση η οποία λύνει ταυτόχρονα το πρόβλημα της επεξεργασίας και σε μεγάλο βαθμό το πρόβλημα της διάθεσης είναι η θερμική ξήρανση με χρήση της ιλύος ως καυσίμου. Με την μέθοδο αυτή η τελική ποσότητα μειώνεται στο 15% της αρχικής ποσότητας DS, η οποία για την ΕΕΛ Κ-Λ ανέρχεται σε 146 tn/χρόνο. Η ποσότητα αυτή είναι εξαιρετικά μικρή, όμως η διάθεση της ίσως να αποτελέσει ένα σοβαρό πρόβλημα σε περίπτωση που αυτή χαρακτηριστεί ως επικίνδυνο απόβλητο εξαιτίας των πιθανών υψηλών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων και λοιπών ουσιών.

Κλείνοντας, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι θα πρέπει να ληφθεί μέριμνα για την υλοποίηση μίας επένδυσης για την αύξηση της συγκέντρωσης των στερεών της ιλύος καθώς και για την περαιτέρω επεξεργασία της. Επίσης, χρήσιμο θα ήταν να διερευνηθεί η δυνατότητα εφαρμογής υπερήχων για τη μείωση της περισσειας ιλύος. Προς το παρόν μπορεί να εφαρμοστεί η ανάμιξη με χώμα με αποθήκευση του μίγματος εντός της εγκατάστασης και να προχωρήσει άμεσα η προμήθεια εξοπλισμού για την εφαρμογή της ασβεστοποίησης. Με την εφαρμογή της ασβεστοποίησης το πρόβλημα δεν θα είναι πλέον τόσο έντονο αφού θα είναι δυνατή η διάθεση της επεξεργασμένης ιλύος με διάφορους τρόπους. Ωστόσο, εξαιτίας του υψηλού λειτουργικού κόστους, η ασβεστοποίηση δεν μπορεί να αποτελέσει την οριστική λύση του προβλήματος. Η βιολογική ξήρανση ίσως και να μπορούσε να υλοποιηθεί με ίδιους πόρους, όμως και αυτό χρειάζεται έναν προγραμματισμό ένα ή δύο ετών, επομένως θα μπορούσε να προγραμματιστεί σε

περίπτωση που απορριφθεί η περίπτωση της σύνταξης και υποβολής προς χρηματοδότηση ενός ολοκληρωμένου σχεδίου.

## Βιβλιογραφικές Αναφορές

---

- i. Αναστασίου Θεοφάνης, 2010, Ηλιακή ξήρανση της λυματολάσπης βιολογικών σταθμών. Τεχνοοικονομικά δεδομένα - ποιοτικά χαρακτηριστικά, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Σχολή Θετικών Επιστημών και τεχνολογίας , Ηράκλειο Κρήτης
- ii. Α. Ανδρεαδάκης<sup>1</sup>, Δ. Μαμάης<sup>1</sup>, Γ. Ντινοπούλου<sup>2</sup> και Α. Τζίμας<sup>3</sup>, Ασβεστοποίηση ιλύων από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, 1Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ, 2Χριστόφορος Δ. Κωνσταντινίδης Α.Ε., 3 ΕΜΒΗΣ Σύμβουλοι Μηχανικοί ΕΠΕ
- iii. ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε., 2006, Ινστιτούτο Ελιάς και Υποτροπικών Φυτών Έργασ. Ελαιοκομίας και Μετασυλεκτικής Φυσιολογίας στα πλαίσια του Καν. 2080/05 (Δράση Βii),Χανιά
- iv. Δρ. Ι. Μετζιδάκης, 2006, Εφαρμογή συστήματος ολοκληρωμένης διαχείρισης στην ελαιοκαλλιέργεια
- v. Μιχάλης Σκαρβέλης, 2004, Η ξήρανση του ξύλου, Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων & Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων, ΕΘΙΑΓΕ 2004
- vi. A.N. ANGELAKIS, D. KOUTSOYIANNIS, G. TCHOBANOGLOUS, 2005, URBAN WASTEWATER AND STORMWATER TECHNOLOGIES IN ANCIENT GREECE, WATER RES, 39 , PP. 210–220
- vii. BioConversion Solutions, 2013 ,White Paper: Destroy Municipal Sludge, Save Money or Make Profit, and Improve Environmental Public Relations, Sludge Treatment and Disposal, Management Approaches and Experiences, , Environmental Issues Series no. 7
- viii. Bruce, A.M., H.W. Cambell, P. Balmer. , 1983,“Developments and Trends in Sludge Processing Techniques”,Processing and Use of Sewage Sludge, Commission of the European Communities, L’ Hermite (eds), D. Reidell Publishing Company.

- ix. CEC (Council of the European Communities), 2001. Commission decision of 16 January 2001 amending Decision 2000/532/EC as regards the list of wastes (2001/118/EC). Official Journal of the European Communities No. L 47/1-31.
- x. CEC (Council of the European Communities), 1986. Council Directive of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture (86/278/EEC). Official Journal of the European Communities No. L 181/6-12.
- xi. CEC (Council of the European Communities), 1991. Council Directive of 21 May 1991 concerning urban waste water treatment (91/271/EEC). Official Journal of the European Communities No. L 135/40-52.
- xii. CEU (Council of the European Union), 1999. Council Directive of 26 April 1999, on the landfill of waste (99/31/EC). Official Journal of the European Union No. L182/1-19.
- xiii. M.K. Chatzakis, A.G. Lyrintzis, D.D. Mara, A.N. Angelakis, 2006, Sedimentation tanks through the ages, Proceedings of the IWA 1st International Symposium on Water and Wastewater Technologies in Ancient Civilizations, 28–30 October 2006, Iraklio, Greece , pp. 756–762
- xiv. E.C. (European Community) 2005, Version 1.2 (09/2003), Map produced by: Institute for Environment and Sustainability EC, 2001, Andrea Tilche, How to minimize sludge production: research perspectives , European Commission – Research DG – Bruxelles Head of Unit “Key Action Sustainable Management and Quality of Water”
- xv. EEA, European Environment Agency, 1997, By ISWA’s Working Group on Sewage & Waterworks Sludge
- xvi. E. Paul, P. Camacho, M. Sperandio and P. Ginestet, 2006, Technical and economical evaluation of a thermal and two oxidative techniques for the reduction of excess sludge production, 2006, Institution of Chemical Engineers, Process Safety and Environmental Protection, 84(B4): 247–252
- xvii. EPA , 1992. 40 CFR Part 503 : Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge
- xviii. EPA 1979, EPA 625/1-79-011, Process design manual for sludge treatment and disposal U.S. Environmental Protection Agency, Municipal Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, Center for

- Environmental Research Information, Technology Transfer, September 1979, p. 19.34 -19.36
- xix. FHWA, 2012, U.S. Department of transportation Federal Highway Administration, User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction, Publication Number: FHWA-RD-97-148
- xx. D. Fytili, A. Zabaniotou, 2008 Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods—A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12, 2008 116–140
- xxi. Guohua Chen, Po Lock Yue & Arun S. Mujumdar, 2002, Sludge Dewatering and drying, Drying Technology: An International Journal, 20:4-5, 883-916
- xxii. Kouloumbis, P.a, Rigas, F.b, Mavridou, A.c, 2006, Environmental problems from the disposal of sewage sludge in Greece, International Journal of Environmental Health Research, Volume 10, Issue 1, 2000, Pages 77-83a Natl. Agric. Research Foundation, Soil Science Institute of Athens, I S. Venizeloust. Lycovrysi, GR-14123, Athens, Greece,, b Natl. Technical University of Athens, Department of Chemical Engineering, GR-15780, Athens, Greece, c National School of Public Health, Laboratory of Microbiology, GR-11521, Athens, Greece
- xxiii. Giusy Lofrano, Jeanette Brown, 2010, Wastewater management through the ages: A history of mankind, Science of the Total Environment 408, pp. 5254–5264
- xxiv. Samaras, V.<sup>a</sup>, Tsadilas, C.D.<sup>a</sup>, Stamatiadis, S.<sup>b</sup>, 2008, Effects of repeated application of municipal sewage sludge on soil fertility, cotton yield, and nitrate leaching, Agronomy Journal, Volume 100, Issue 3, Pages 477-483, a National Agricultural Research Foundation, Institute of Soil Classification and Mapping, 1 Theophrastos St., 41335 Larissa, Greece b Soil Ecology and Biotechnology Lab., Gaia Environmental Research and Education Center, Goulandris Natural History Museum, 13 Levidou St., 145 62 Kifissia, Greece
- xxv. Seong-Hoon Yoon, Hyung-Soo Kimb, Sangho Lee, 2004, Incorporation of ultrasonic cell disintegration into a membrane bioreactor for zero sludge production, Process Biochemistry 39, 1923–1929
- xxvi. Sike Wang and T. Viraraghavan, 1997, Wastewater sludge conditioning by fly ash, Waste Management, Vol. 17, No. 7, pp. 443-450

- xxvii. Yamaguchi T, Yao Y, Kihara Y., 2006, Biological sludge solubilisation for reduction of excess sludge production in wastewater treatment process. JFE R&D Corporation, 1-1, Minamiwatarida-cho, Kawasaki-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa 210-0855, Japan. Water Sci Technol. ;54(5):51-8.
- xxviii. H. Yasui\*, K. Nakamura\*, S. Sakuma\*, M. Iwasaki\*, Y. Sakai\*\* , 1996, A full-scale operation of a novel activated sludge process without excess sludge production, Water Quality International '96 Part 2, Selected Proceedings of the 18th Biennial Conference of the International Association on Water Quality, Volume 34, Issues 3-4, Pages 395-404
- xxix. Yves Comeau, Peter L. Dold, Alain Gadbois, Stéphane Déléris, Majdala M.-Geoffrion, Abdellah Ramdani, Marc-André Labelle, 2010, Minimising sludge production by long SRT, trash and grit removal from sludge, Neptune Workshop (FP6 Project), Quebec, Canada , March 25-26,
- xxx. Yong Chen , 2012, Sewage Sludge Aerobic Composting Technology Research Progress, AASRI Conference on Computational Intelligence and Bioinformatics
- xxxi. Yuan-Song Wei \*, Yao-Bo Fan, Min-Jian Wang, 2001, A cost analysis of sewage sludge composting for small and mid-scale municipal wastewater treatment plants, Resources, Conservation and Recycling 33 , 203-216, Department of Water Pollution Control Technology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, P.O. BOX 2871, Beijing 100085, People's Republic of China
- xxxii. Yuansong Weia,\*, Renze T. Van Houtenb, Arjan R. Borgerb, Dick H. Eikelboomc, Yaobo Fan, 2003, Minimization of excess sludge production for biological wastewater treatment, Water Research 37, 4453-4467

## ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

- i. [www.eyat.gr](http://www.eyat.gr)
- ii. [www.ecomud.gr](http://www.ecomud.gr)
- iii. [www.cambi.com](http://www.cambi.com) ,
- iv. [www.opengov.gr/minenv/?p=3354](http://www.opengov.gr/minenv/?p=3354), Δημόσια διαβούλευση επί σχεδίου ΚΥΑ με θέμα «Μέτρα, όροι και διαδικασίες για τη χρησιμοποίηση της ιλύος που

προέρχεται από επεξεργασία οικιακών και αστικών λυμάτων καθώς και ορισμένων υγρών αποβλήτων, σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της οδηγίας 86/278/ΕΟΚ του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων. Αντικατάσταση της 80568/4225/1991 (Β'641) κοινής Υπουργικής απόφασης»

- v. Μιχάλης Παζάρογλου, 2011, Βιολογική καλλιέργεια ελιάς – Θρεπτικές ανάγκες κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας, Ανηρτημένο στις 24 Νοεμβρίου στην ιστοσελίδα Coctailsfromorganic.wordpress.com
- vi. Wikipedia 2013, Sewage sludge treatment
- vii. [http://portal.ncdenr.org/c/document\\_library/get\\_file?uuid=30647ea6-34d1-4371-84ca-128ae3713788&groupId=38364](http://portal.ncdenr.org/c/document_library/get_file?uuid=30647ea6-34d1-4371-84ca-128ae3713788&groupId=38364)