



**«Σχεδιασμός μονάδας αναερόβιας χώνευσης οργανικού κλάσματος στερεών
αποβλήτων και ιλύος βιολογικού καθαρισμού»**

ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ:
Γεώργιος Παπαδημητρίου

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
Αραμπατζής Γεώργιος

ΧΑΝΙΑ ΙΟΥΛΙΟΣ 2021

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Μετά την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Αραμπατζή Γεώργιο για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του καθώς και τον κ. Πατεράκη Κωνσταντίνο, Αν. Γενικό Διευθυντή της ΔΕΔΙΣΑ Α.Ε για την παροχή πληροφοριών που μου προσέφερε και την επίβλεψη του κατά την διάρκεια της εκπόνησης της. Επιπλέον, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου που με στήριξε κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναλύει το σχεδιασμό και την κοστολόγηση μιας μονάδας αναερόβιας χώνευσης με απώτερο σκοπό την παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία δέχεται ως πρώτη ύλη το οργανικό κλάσμα των ΑΣΑ και της ιλύος από την επεξεργασία λυμάτων στην περιοχή των Χανίων σύμφωνα με στοιχεία της ΔΕΔΙΣΑ.

Αρχικά, γίνεται περιγραφή αναλυτικά της διαδικασίας της αναερόβιας χώνευσης με σκοπό τη παραγωγή βιοαερίου, καθορίζοντας ταυτόχρονα και τις χρήσεις του, ενώ ταυτόχρονα γίνεται αναφορά και αναλύεται η ποιότητα του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ ως υποστρώματος για την αναερόβια χώνευση.

Ακόμη, προτείνεται και σχεδιάζεται μια ολοκληρωμένη μονάδα αναερόβιας χώνευσης σύμφωνα με τα δεδομένα που διαθέτουμε, έτσι ώστε να μπορέσει τελικά να λειτουργήσει και να γίνει οικονομικά βιώσιμη .

Στο τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας παρατίθεται η σχετική τεχνοοικονομική μελέτη της εγκατάστασης.

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία έγινε με την βοήθεια της ΔΕΔΙΣΑ καθώς αυτή αποτέλεσε την κύρια πηγή δεδομένων.

ABSTRACT

This paper discusses the design and costing of a unit of anaerobic digestion aiming to the production of thermal energy and electricity taking the organic fraction of solid waste and sludge of sewerage as raw material in the area of Chania, Crete, according to data collected by DEDISA. Initially, there is a detailed description of the process of anaerobic digestion aiming to the production of biogas as well as a definition of its uses. The quality of the organic fraction of solid waste as substrate for anaerobic digestion is also referenced and discussed. Moreover, a complete unit of anaerobic digestion is designed and proposed, according to the existing data, so that it can eventually operate and be economically sustainable. The technological and economic study of the plant is presented in the last chapter of the paper.

Πίνακας περιεχομένων	0
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ABSTRACT	3
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ	7
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	8
ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ – ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ - ΣΥΜΒΟΛΩΝ	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ ΚΑΙ ΒΙΟΑΕΡΙΟ	13
2.1 Γενικά	13
2.2 Ορισμός αναερόβιας χώνευσης	13
2.3 Στάδια αναερόβιας χώνευσης	14
2.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αναερόβιας χώνευσης	15
2.5 Παράμετροι της αναερόβιας χώνευσης.....	16
2.5.1 Θερμοκρασία	16
2.5.2 Τιμές pH	17
2.5.3 Τοξικές ουσίες.....	18
2.5.4 Θρεπτικά στοιχεία και ιχνοστοιχεία	18
2.5.5 Οργανικό φορτίο	19
2.5.6 Υδραυλικός χρόνος παραμονής.....	19
2.5.7 Λόγος C/N	20
2.5.8 Αμμωνία	21
2.6 Βιοαέριο	21
2.7 Καθαρισμός βιοαερίου	22
2.8 Αναβάθμιση του βιοαερίου.....	23
2.9 Χρήσεις Βιοαερίου	24
2.9.1 Συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ)	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ ΑΣΑ.....	27
3.1 Γενικά	27
3.2 Παράγοντες για την εφαρμογή αναερόβιας χώνευσης του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ στην περιοχή των Χανίων	28
3.3 Διαχωρισμός οργανικού κλάσματος από τα ΑΣΑ	28
3.3.1 Διαχωρισμός στην πηγή.....	29
3.3.2 Μηχανικός διαχωρισμός.....	29
3.4 Συγχώνευση αστικών απορριμμάτων με άλλα υποστρώματα	30

3.5 Η σύνθεση και απόδοσης του οργανικού κλάσματος ΑΣΑ ως υπόστρωμα αναερόβιας χώνευσης	31
3.6 Τεχνολογίες αναερόβιας επεξεργασίας.....	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Η ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΔΕΔΙΣΑ.....	34
4.1 Διαχείριση Απορριμμάτων στην Π.Ε. Χανίων	34
4.2 Γενικά στοιχεία	35
4.3 Μηχανική Διαλογή Σύμμεικτων και Προδιαλεγμένων ΑΣΑ.....	35
4.4 Αερόβια επεξεργασία Βιοαποβλήτων	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	44
5.1 Γενικά	44
5.2 Στοιχεία για την μελέτη σχεδιασμού της μονάδας ΑΧ και για την κοστολόγηση της	45
5.3 Κριτήρια αποδοτικότητας της επένδυσης	47
5.3.1 Καθαρή παρούσα αξία (NPV)	47
5.4 Εσωτερικός ρυθμός απόδοσης (IRR)	47
5.5 Payback period	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΟΝΑΔΑ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ	48
6.1 Εισαγωγική περιγραφή της προτεινόμενης μονάδας αναερόβιας χώνευσης ...	48
6.2 Η τεχνολογία Valogra	50
6.2.1 Παρουσίαση της επιλεγόμενης μεθόδου αναερόβιας χώνευσης (Διαδικασία Valogra)	53
6.2.2. Αποδοτικότητα της Valogra	57
6.3 Προτεινόμενη μονάδα υποδοχής και μηχανικής προεπεξεργασίας των ΑΣΑ ..	58
6.4 Αποθήκευση της πρώτης ύλης.....	59
6.5 Σύστημα τροφοδοσίας πρώτης ύλης.....	60
6.6 Αναερόβια χώνευση οργανικού κλάσματος και επεξεργασμένης ιλύος	61
6.7 Επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας αντιδραστήρα	62
6.8 Μονάδα αξιοποίησης βιοαερίου	65
6.8.1 αποθήκευση παραγόμενου βιοαερίου	66
6.8.2 Μεταφορά παραγόμενου βιοαερίου	68
6.8.3 Μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας	68
6.9. Μονάδα ελέγχου	70
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	72
7.1 Γενικά	72
7.2 Λειτουργικά και επενδυτικά κόστη της μηχανικής μονάδας επεξεργασίας των ΑΣΑ	72

7.3 Προσέγγιση επενδυτικών και λειτουργικών κοστών της μονάδας αναερόβιας χώνευσης του οργανικού κλάσματος και ιλύος από βιολογικό καθαρισμό	76
7.4 Υπολογισμός παραγόμενης ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας	80
7.4.1 Παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου	80
7.4.2 Θερμογόνος δύναμη βιοαερίου	81
7.4.3 Βαθμός απόδοσης ηλεκτρικής και θερμικής εγκατάστασης	82
7.5 Συμπεράσματα	84
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	87
8.1 Αποδοτικότητα επένδυσης.....	87
8.1.2 Σενάριο 1 ^ο	87
8.1.2 Σενάριο 2 ^ο	89
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	92
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	94

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

<u>Εικόνα 1:Διάγραμμα ροής σταδίων ΑΧ.....</u>	<u>14</u>
<u>Εικόνα 2:Η διαδικασία Valorga, (Πηγή:http://www.valorgainternational.fr/en/pag1-HISTORIQUE.html).....</u>	<u>53</u>
<u>Εικόνα 3:Μεθανοποίηση με τη διαδικασία Valorga, (Πηγή: Bonhome et al., 1988).....</u>	<u>54</u>
<u>Εικόνα 4:Ισορροπία ύλης και ενέργειας στη διαδικασία Valorga, (Πηγή: http://www.valorgainternational.fr/fr/mpg3-128079--LE-PROCEDE-DE-METHANISATION-VALORGA.html).....</u>	<u>55</u>
<u>Εικόνα 5:Εγκατάσταση του συστήματος Valorga στη Γενεύη, (Πηγή: http://www.valorgainternational.fr/en/pag1-HISTORIQUE.html).....</u>	<u>56</u>
<u>Εικόνα 6:Πρότυπο προτεινόμενης μονάδας, (Πηγή: envima.gr).....</u>	<u>61</u>
<u>Εικόνα 7:Αντιδραστήρας Valorga, (Πηγή:http://www.valorgainternational.fr/fr/mpg3-128079--LE-PROCEDE-DE-METHANISATION-VALORGA.html).....</u>	<u>64</u>
<u>Εικόνα 8:Δομή αεροφυλακίου διπλής μεμβράνης (Πηγή :https://www.bioenergyconsult.com/biogas-storage/).....</u>	<u>66</u>
<u>Εικόνα 9:Αεροφυλάκιο αποθήκευσης βιοαερίου, (Πηγή: http://greek.cectanks.com/supplier-106853-biogas-storage-tank).....</u>	<u>67</u>
<u>Εικόνα 10: Μηχανή εσωτερικής καύσης σύστημα συμπαγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, (Πηγή: ΚΑΠΕ).....</u>	<u>69</u>
<u>Εικόνα 11: Λογισμικό και οθόνη μονάδας ελέγχου, (Πηγή: http://www.envima.gr/).....</u>	<u>70</u>
<u>Εικόνα 12: Εξέλιξη εισροών εκροών επένδυσης σε βάθος εικοσαετίας.....</u>	<u>86</u>
<u>Εικόνα 13: Εξέλιξη εισροών εκροών επένδυσης σε βάθος εικοσαετίας σενάριο 2^ο.....</u>	<u>88</u>

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

<u>Πίνακας 1:Θερμικά στάδια και χαρακτηριστικοί χρόνοι αναμονής, (Πηγή: (Παράμετροι της Αναερόβιας Χώνευσης, 2021)).....</u>	<u>17</u>
<u>Πίνακας 2:Σύσταση παραγόμενου βιομεθάνιου(http://www.dvgw.de).....</u>	<u>22</u>
<u>Πίνακας 3:Μετρήσεις παραγωγής βιοαερίου του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ σε μεσοφιλικές και θερμοφιλικές συνθήκες, (Πηγή: Mata-Alvarez J. (2003).....</u>	<u>32</u>
<u>Πίνακας 4:Στοιχεία ΔΕΔΙΣΑ</u>	<u>44</u>
<u>Πίνακας 5:Ρυθμός αύξησης ΑΣΑ.....</u>	<u>45</u>
<u>Πίνακας 6:Νέα στοιχεία για ΑΣΑ(σενάριο 2^ο).....</u>	<u>46</u>
<u>Πίνακας 7:Αναλυτικά λειτουργικά κόστη, (Πηγή: tsileou et al.,2007).....</u>	<u>72</u>
<u>Πίνακας 8:Επενδυτικά κόστη.....</u>	<u>76</u>
<u>Πίνακας 9:Επενδυτικό σχέδιο σε βάθος 20ετίας.....</u>	<u>81</u>
<u>Πίνακας 10:Χρηματοροές Επενδυτικού Σχεδίου 20ατίας Σενάριο 1.....</u>	<u>84</u>
<u>Πίνακας 11:Χρηματοροές Επενδυτικού Σχεδίου 20ατίας Σενάριο 2.....</u>	<u>86</u>

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ – ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ – ΣΥΜΒΟΛΩΝ

ΑΠΕ	Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
ΑΣΑ	Αστικά στερεά απόβλητα
ΑΧ	Αναερόβια χώνευση
ΚΠΑ ή NPV	Καθαρή παρούσα αξία
ΜΕΚ	Μονάδα συμπαραγωγής θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας
ΣΗΘ	Συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού
ΥΧΠ ή HRT	Υδραυλικός χρόνος παραμονής
Χ.Υ.Τ.Α.	Χώροι υγειονομικής ταφής απορριμμάτων
Χ.Υ.Τ.Υ.	Χώροι υγειονομικής ταφής υπολειμμάτων
C	Άνθρακας
CH ₄	Μεθάνιο
CO ₂	Διοξείδιο του άνθρακα
H ₂ O	Νερό
H ₂ S	Υδρόθειο
Hu	Θερμογόνος ικανότητα
IRR	Εσωτερικός ρυθμός απόδοσης
mB	Παροχή βιοαερίου στην εγκατάσταση παραγωγής
N	Άζωτο
nCHP	Βαθμός απόδοσης συμπαραγωγής
Nel	Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης
NFFO	Νόμος περί μη ορυκτών καυσίμων
NH ₃	Αμμωνία
Nth	Θερμικός βαθμός απόδοσης
O ₂	Οξυγόνο
OLR	Ρυθμός οργανικής φόρτισης

P	Φώσφορο
PeI	Παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς
PET	Πολυαιθυλένιο τereφθαλικό
PP	Πολυπροπυλένιο
PS	Πολυστυρένιο
Qth	Παραγόμενη θερμική ισχύς
RDF	Απορριματογενές ανακτώμενο στερεό καύσιμο
S	Θείο
TS	Συγκέντρωση στερεών
VS	Πτητικά στερεά

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στις μέρες μας, η υπερκατανάλωση, ο υπερπληθυσμός και η υπερβολική χρήση των ορυκτών έχουν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση μίας ενεργειακής, οικονομικής, καθώς και μίας σημαντικής οικολογικής κρίσης. Ένα από τα κύρια προβλήματα της οικολογικής κρίσης είναι η αυξανόμενη παραγωγή αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ) και η διαχείριση αυτών. Η παραγωγή βιοαερίου μέσω των αστικών απορριμμάτων είναι μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας η οποία βοηθά στη λύση του προβλήματος της διαχείρισης των ΑΣΑ. Τα ΑΣΑ είναι οικιακά και παρεμφερή Στερεά Απόβλητα (ή αστικά απορρίμματα) και περιλαμβάνουν τα απόβλητα που παράγονται κυρίως από οικισμούς, αλλά και τα απόβλητα άλλων δραστηριοτήτων που προσομοιάζουν με αυτά. Οι κυριότερες πηγές παραγωγής οικιακών και παρεμφερών απορριμμάτων είναι οι κατοικίες, τα εμπορικά καταστήματα και άλλες «αστικές δραστηριότητες» (π.χ. εστιατόρια, καφετέριες, ξενοδοχεία κλπ). στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται και τα απόβλητα που παράγονται από άλλες δραστηριότητες αλλά προσομοιάζουν με τα αστικά απορρίμματα.

Τα ΑΣΑ μπορούν να μας δώσουν αρκετά σημαντικά ποσά ενέργειας μέσω της βιολογικής επεξεργασίας τους, η οποία ονομάζεται αναερόβια χώνευση (ΑΧ). Η μέθοδος αυτή είναι μία ήπια μέθοδος καθώς είναι φυσική και δεν δημιουργεί περιβαλλοντικά προβλήματα. Η ΑΧ είναι μία διαδικασία στην οποία έχουμε απουσία αέρα όπου οι αναερόβιοι μικροοργανισμοί διασπούν το οργανικό υλικό μέσα από μία πολύπλοκη διαδικασία και έτσι, παράγεται βιοαέριο και χωνεμένη λάσπη. Η διάσπαση αυτή γίνεται με τρόπο που θα γινόταν και σε διάφορα φυσικά συστήματα, δηλαδή, αυτό που κάνουμε είναι μία μικρή αντιγραφή της φύσης.

Η παραγωγή και η συλλογή του βιοαερίου από μια βιολογική διεργασία τεκμηριώθηκε για πρώτη φορά στο Ηνωμένο Βασίλειο το 1895 (Metcalf και Eddy, 1979). Η ΑΧ έκανε τα πρώτα της βήματα σαν διεργασία κατά τη δεκαετία του 70 μαζί με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Στις μέρες μας το ενδιαφέρον για την παραγωγή βιοαερίου ολοένα και αυξάνεται, καθώς γίνεται μία παγκόσμια προσπάθεια απεξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα για την παραγωγή ενέργειας και την αντικατάστασή τους από τις ανανεώσιμες

πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) Το βιοαέριο από την ΑΧ είναι μια φτηνή και ουδέτερη σε CO₂ πηγή ανανεώσιμης ενέργειας που προσφέρει τη δυνατότητα αξιοποίησης και ανακύκλωσης ενός ευρέως φάσματος γεωργικών υπολειμμάτων και υποπροϊόντων, διάφορων βιολογικών αποβλήτων, υγρών οργανικών αποβλήτων από τη βιομηχανία και της ιλύος καθαρισμού των λυμάτων με έναν αειφόρο και φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο. Συγχρόνως, παρέχει διάφορα κοινωνικοοικονομικά οφέλη συνολικά για ολόκληρη την κοινωνία, καθώς επίσης και για τους εμπλεκόμενους χειριστές των εγκαταστάσεων βιοαερίου. Η ανάπτυξη και υλοποίηση συστημάτων ΑΠΕ, όπως είναι το βιοαέριο από ΑΧ, στηριζόμενη σε εθνικούς και περιφερειακούς πόρους, θα αυξήσει την αειφορία και την ασφάλεια του εθνικού ενεργειακού εφοδιασμού και θα μειώσει την εξάρτηση από τις εισαγωγές ενέργειας. Η παραγωγή βιοαερίου από την ΑΧ απαιτεί εργατικό δυναμικό για την παραγωγή, συλλογή και μεταφορά της πρώτης ύλης ΑΧ, την κατασκευή του τεχνικού εξοπλισμού, την κατασκευή, λειτουργία και συντήρηση των μονάδων παραγωγής βιοαερίου. Αυτό σημαίνει ότι η ανάπτυξη ενός εθνικού τομέα βιοαερίου συμβάλλει στη δημιουργία νέων επιχειρήσεων, κάποιων με σημαντικές οικονομικές δυνατότητες, αυξάνει τα εισοδήματα στις αγροτικές περιοχές και δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας. Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρείτε ο σχεδιασμός μιας μονάδας ΑΧ στην περιοχή των Χανίων σύμφωνα με τα στοιχεία τις ΔΕΔΙΣΑ. Με την κατασκευή αυτής της μονάδας αναμένεται ένας οικολογικότερος και οικονομικότερος τρόπος διαχείρισης των ΑΣΑ αλλά και η σημαντική αύξηση διαθέσιμων θέσεων εργασίας στην περιοχή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ ΚΑΙ ΒΙΟΑΕΡΙΟ

2.1 Γενικά

Η ΑΧ είναι μία διαδικασία παραγωγής ενέργειας η οποία ανήκει στα ΑΠΕ με κύριο σκοπό την παραγωγή βιοαερίου και χωνεμένης ύλης μέσω της επεξεργασίας αστικών, γεωργικών και άλλων απορριμμάτων. Η ΑΧ, στην περίπτωση αυτή, ενσωματώνεται σε ένα ολόκληρο σύστημα διαχείρισης αστικών απορριμμάτων που παράλληλα επιτυγχάνεται και η μείωση του όγκου τους. Επίσης, με την διαδικασία της ΑΧ επιτυγχάνεται η μείωση της ανεξέλεγκτης έκλυσης του διοξειδίου του άνθρακα και του μεθανίου στην ατμόσφαιρα, καθώς επίσης και η προστασία των φυσικών πόρων. Το βιοαέριο από την ΑΧ είναι μόνιμα ανανεώσιμο, καθώς έχει παραχθεί από βιομάζα, η οποία είναι μία έμβια αποθήκη της ηλιακής ενέργειας μέσω της φωτοσύνθεσης. Το βιοαέριο από την ΑΧ δεν βελτιώνει μόνο το ενεργειακό ισοζύγιο μιας χώρας, αλλά συμβάλλει σημαντικά στη διατήρηση των φυσικών πόρων και στην προστασία του περιβάλλοντος. Το βιοαέριο έχει πολλές ενεργειακές χρήσεις ανάλογα με τη φύση της πηγής και την τοπική ζήτηση για μια συγκεκριμένη μορφή ενέργειας. (Khalid et al., 2011)

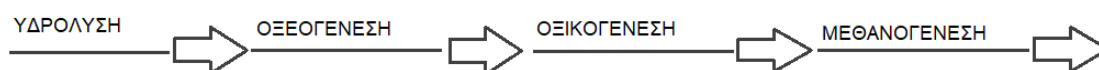
2.2 Ορισμός αναερόβιας χώνευσης

Η ΑΧ θεωρείται ένα μέσο παραγωγής ενέργειας με τη μορφή βιοαερίου, ενώ σταθεροποιείται η οργανική ύλη στα απόβλητα. Ο όρος ΑΧ αναφέρεται σε μια βιολογική διαδικασία στην οποία ο οργανικός άνθρακας μετατρέπεται στην πιο οξειδωμένη (CO_2) και πιο ανοικτή (CH_4) μορφή μέσω συνεχούς οξείδωσης και μείωσης υπό την κατάλυση διαφόρων μικροοργανισμών του O_2 . Τα κύρια προϊόντα αυτής της διαδικασίας είναι το προαναφερθέν CO_2 και το μεθάνιο, αλλά παράγεται επίσης, μια μικρή ποσότητα αζώτου, υδρογόνου, αμμωνίας και υδρόθειου (συνήθως λιγότερο από 1% του συνολικού όγκου αερίου). Το μείγμα αερίων προϊόντων ονομάζεται βιοαέριο, και αυτή η αναερόβια διαδικασία αποδόμησης για τη χρήση του ονομάζεται συνήθως επεξεργασία βιοαερίου. (Hobson και Wheatley, 2021)

2.3 Στάδια αναερόβιας χώνευσης

Τα στάδια της αναερόβιας χώνευσης είναι :

- Υδρόλυση
- Οξεογένεση
- Οξικογένεση
- Μεθανογένεση



Εικόνα 1 : Διάγραμμα ροής σταδίων ΑΧ

Η συνολική διαδικασία της μετατροπής του σύνθετου οργανικού υλικού σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα μπορεί να υποδιαιρεθεί σε διάφορα στάδια. Το πρώτο στάδιο της αναερόβιας χώνευσης είναι η υδρόλυση. Κατά την υδρόλυση, οι σύνθετες πολυμερικές ενώσεις όπως οι υδατάνθρακες, οι πρωτεΐνες και τα λίπη, υδρολύονται από εξωκυτταρικά ένζυμα σε διαλυτά προϊόντα μικρότερου μεγέθους, ώστε να μπορούν να εισχωρήσουν διαμέσου της κυτταρικής μεμβράνης στο εσωτερικό του κυττάρου. Έπειτα, γίνεται η ζύμωση ή η οξείδωση αυτών των μικρών διαλυτών προϊόντων αναερόβια σε πτητικά λιπαρά οξέα, αλκοόλες, διοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και αμμωνία. Στη συνέχεια, τα πτητικά λιπαρά οξέα μετατρέπονται σε οξικό οξύ (Οξικογένεση), καθώς και σε υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα. Τέλος, η παραγωγή του μεθανίου (Μεθανογένεση) πραγματοποιείται είτε από την αναγωγή του διοξειδίου του άνθρακα, είτε από την αναγωγή του υδρογόνου από το οξικό οξύ. (Pratt, 1997)

2.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αναερόβιας χώνευσης

Γενικά, η αναερόβια χώνευση είναι μια διαδικασία με πολυάριθμα οφέλη και τα πλεονεκτήματά της είναι φανερά κατά τη σύγκρισή της με τις υπόλοιπες διαδικασίες διαχείρισης των αποβλήτων (Κουτρούλης, Δέλιος και Χηντήρη, 2014).

Τα κυριότερα **πλεονεκτήματα** της διαδικασίας αυτής είναι:

- Απομάκρυνση οσμών και παθογόνων μικροοργανισμών από τα απόβλητα
- Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου
- Πιο φθηνή λύση για τη διαχείριση των αποβλήτων σε σύγκριση με τις αερόβιες διαδικασίες. εξαιτίας πιο χαμηλών απαιτήσεων σε ενέργεια και όγκο αντιδραστήρα
- Μέσω της επεξεργασίας αποβλήτων προκύπτει το βιοαέριο, το οποίο χρησιμοποιείται για την παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας
- Μικρότερη ζήτηση σε ορυκτά καύσιμα. λόγω της παραγωγής της ενέργειας μέσω του βιοαερίου
- Διαθεσιμότητα υλικών αναερόβιας χώνευσης
- Προστασία του περιβάλλοντος μέσω της επαναχρησιμοποίησης του οργανικού φορτίου των αποβλήτων
- Αύξηση των οικονομικών κερδών λόγω των νέων επενδύσεων και των νέων θέσεων εργασίας που προκύπτουν
- Σημαντικά κέρδη από την πώληση του κομπόστ και της ενέργειας που παράγεται κατά την αναερόβια χώνευση
- Επαναχρησιμοποίηση και εξοικονόμηση του νερού, έπειτα από την απομάκρυνση των επιβλαβών ουσιών από αυτό

Τα σημαντικότερα **μειονεκτήματα** είναι:

- Πιο αργή διεργασία συγκριτικά με την αερόβια χώνευση
- Η μικροβιακή καλλιέργεια για να εγκλιματιστεί χρειάζεται μεγάλο χρονικό διάστημα
- Ευαισθησία συστημάτων λόγω των αυξομειώσεων της οργανικής φόρτισης
- Μικρός ειδικός ρυθμός ανάπτυξης μεθανογόνων βακτηρίων

- Ευαισθησία μεθανογόνων μικροοργανισμών σε ευρύ φάσμα τοξικών ενώσεων
- Επίδραση της θερμοκρασίας και κατανάλωσης ενέργειας στην διεργασία αναερόβιας χώνευσης
- Μικρή ικανότητα εξαφάνισης των παθογόνων μικροοργανισμών σε σύγκριση με την αερόβια επεξεργασία
- Εάν περιέχονται θειικά κατά την εισροή, υπάρχει δυσοσμία στο σύστημα
- Περαιτέρω επεξεργασία των εκροών
(Κουτρούλης, Δέλιος και Χηντήρη, 2014).

2.5 Παράμετροι της αναερόβιας χώνευσης

Υπάρχουν κάποιες σημαντικές παράμετροι από τις οποίες εξαρτάται η αποδοτικότητα της ΑΧ, και αυτό σημαίνει πως πρέπει με βάση αυτές να παρέχονται οι κατάλληλες συνθήκες για τους αναερόβιους μικροοργανισμούς. Η ανάπτυξη των αναερόβιων μικροοργανισμών επηρεάζεται από τον αποκλεισμό του οξυγόνου, την τιμή pH, την θερμοκρασία, την ένταση της ανάδευσης, τον σωστό ανεφοδιασμό με τις κατάλληλες θρεπτικές ουσίες, καθώς και από την παρουσία και την ποσότητα ανασταλτικών παραγόντων, όπως η αμμωνία. (Παράμετροι της Αναερόβιας Χώνευσης, 2021) Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι σημαντικές αυτές παράμετροι.

2.5.1 Θερμοκρασία

Τα τρία θερμοκρασιακά εύρη που μπορεί να πραγματοποιηθεί η διεργασία της αναερόβιας χώνευσης είναι η ψυχρόφιλη (κάτω από 20°C), η μεσόφιλη (30-42°C) και η θερμόφιλη (43-55°C). Η θερμοκρασία που επιλέγεται για τη διεργασία της αναερόβιας χώνευσης επηρεάζει και τον υδραυλικό χρόνο παραμονής (Πρεμέτης, 2016)

Θερμικό στάδιο	Θερμοκρασίες διεργασίας	Ελάχιστος χρόνος παραμονής
----------------	-------------------------	----------------------------

Ψυχρόφιλη	20°C	70 έως 80 ημέρες
Μεσόφιλη	30 έως 42°C	30 έως 40 ημέρες
Θερμόφιλη	-43 έως 55°C	15 έως 20 ημέρες

Πίνακας 1: Θερμικά στάδια και χρόνοι παραμονής (Παράμετροι της Αναερόβιας Χώνευσης, 2021)

Έχει παρατηρηθεί ότι η επεξεργασία των αποβλήτων στην αναερόβια χώνευση γίνεται κυρίως σε μεσόφιλες και σε θερμόφιλες συνθήκες λόγω της υψηλής απόδοσής τους. Μάλιστα, ακόμα και μικρές θερμοκρασιακές αλλαγές κατά τη λειτουργία ενός συστήματος αναερόβιας χώνευσης μπορεί να αποβούν μοιραίες, και αυτό γιατί οι μεθανογόνοι κυρίως, μικροοργανισμοί που είναι και οι πιο ευαίσθητοι της διεργασίας, εισέρχονται σε λανθάνουσα φάση ώστε να προσαρμοστούν στις νέες συνθήκες. Γενικά, η θερμόφιλη αναερόβια χώνευση φαίνεται να υπερτερεί της μεσόφιλης, αφού παρουσιάζει πλεονεκτήματα όπως μικρότερο όγκο εγκαταστάσεων, μεγαλύτερο ποσοστό αποδόμησης των οργανικών και ως εκ τούτου, αύξηση του ρυθμού παραγωγής βιοαερίου, ταχύτερη υδρόλυση, και καταστροφή παθογόνων μικροοργανισμών. Οι υψηλές όμως απαιτήσεις σε ενέργεια, σε συνδυασμό με τη μεγαλύτερη ευαισθησία σε τοξικές ενώσεις, καθώς και με τη μειωμένη ευστάθεια των συστημάτων αυτών, καθιστούν συνήθως την θερμόφιλη αναερόβια χώνευση οικονομικά ασύμφορη και δύσκολα εφαρμόσιμη. (Μαθιουδάκης, 2016)

2.5.2 Τιμές pH

Για την παραγωγή μεθανίου από τα μεθανογενή βακτήρια απαιτείται ένα ουδέτερο, έως και ελάχιστο αλκαλικό περιβάλλον. Η διεργασία της μεσόφιλης αναερόβιας χώνευσης παρεμποδίζεται εάν η τιμή του pH μειωθεί κάτω από 6 ή εάν έλθει πάνω από 8,3. Έτσι, το ιδανικό εύρος του pH είναι μεταξύ 6,5 και 8. Παρατηρείται ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας η διαλυτότητα του διοξειδίου του άνθρακα στο νερό μειώνεται, επομένως η τιμή του pH στους θερμόφιλους χωνευτήρες είναι υψηλότερη από ότι στους μεσόφιλους, καθώς το διαλυμένο διοξείδιο του άνθρακα αντιδρώντας με το νερό διαμορφώνει

ανθρακικό οξύ. (Ahrling, 2003) Η τιμή του pH αυξάνεται από την αμμωνία, η οποία παράγεται κατά την υποβάθμιση των πρωτεϊνών ή από την παρουσία αμμωνίας στον ρεύμα τροφοδοσίας, ενώ μπορεί να μειωθεί από την συσσώρευση πτητικών λιπαρών οξέων. (Κοψαχείλης, 2009) Το σύστημα ανάσχεσης των διττανθρακικών αλάτων ελέγχει κυρίως την τιμή του pH του αναερόβιους αντιδραστήρες. Συνεπώς, στους χωνευτήρες βιοαέριου, η τιμή του pH εξαρτάται από την μερική πίεση του CO₂ και της συγκέντρωσης αλκαλικών και όξινων συστατικών. Στην υγρή φάση, σε περίπτωση συσσώρευσης βάσεων ή οξέων, η ικανότητα ανάσχεσης ισοσταθμίζει τις αλλαγές στο pH μέχρι ένα ορισμένο επίπεδο, ενώ όταν η ικανότητα ανάσχεσης του συστήματος ξεπεραστεί, εμφανίζονται δραστικές αλλαγές στις τιμές του pH, μη επιτρέποντας την ολοκλήρωση της διεργασίας. (Μαθιουδάκης, 2016). Αυτός είναι και ο λόγος που δεν μπορεί μια τιμή του pH να χαρακτηριστεί ως αυτόνομη παράμετρος ελέγχου της διεργασίας (L. Brauer et al., 2014)

2.5.3 Τοξικές ουσίες

Οι τοξικές ουσίες για τα μεθανογενή βακτήρια όπως είναι η αμμωνία, τα βαρέα μέταλλα, το οξυγόνο, τα λιπαρά οξέα, είναι άλλο ένα πιθανό εμπόδιο στην παραγωγή του μεθανίου. Ένας ανασταλτικός παράγοντας για την δράση και την ανάπτυξη των μεθανογόνων βακτηρίων, χωρίς όμως να τα καταστρέφει, είναι το οξυγόνο. Επίσης, εχθρός των αναερόβιων βακτηρίων είναι η αμμωνία, της οποίας οι συγκεντρώσεις εάν υπερβούν μια συγκεκριμένη τιμή (4 gr/l), δρουν ανασταλτικά στην λειτουργία των μικροοργανισμών. (Κοψαχείλης, 2009)

2.5.4 Θρεπτικά στοιχεία και ιχνοστοιχεία

Ο άνθρακας, ο φώσφορος, το άζωτο και το θείο είναι φυτικά οργανικά συστατικά τα οποία περιέχουν θρεπτικά στοιχεία για τα μεθανογενή βακτήρια ώστε να επιτευχθεί η παραγωγή του μεθανίου. Για να επιτευχθεί η βέλτιστη αναλογία των θρεπτικών αυτών στοιχείων χρησιμοποιείται η παρακάτω

κλίμακα 600:15:5:1.(C, N, P, S). Τέλος, για την παραγωγή του βιοαερίου είναι πολύ σημαντική μια σειρά από ιχνοστοιχεία όπως ο σίδηρος, το βάριο, το βολφράμιο, το νικέλιο, το μαγνήσιο, το ασβέστιο και ο μόλυβδος, καθώς βοηθούν στην επιβίωση και στην ανάπτυξη των παραπάνω θρεπτικών στοιχείων (L. Brauer et al., 2014).

2.5.5 Οργανικό φορτίο

Η επιλογή των κατάλληλων εγκαταστάσεων παραγωγής βιοαερίου γίνεται κατόπιν οικονομικών και τεχνικών εκτιμήσεων. Στην πραγματικότητα, η επιλογή του συστήματος στηρίζεται στην μεγαλύτερη δυνατή παραγωγή βιοαερίου με το μικρότερο δυνατό κόστος. Η ανωτέρω μέγιστη παραγωγή βιοαερίου που λαμβάνεται από την πλήρη χώνευση του υποστρώματος απαιτεί ένα μεγάλο υδραυλικό χρόνο παραμονής, καθώς και ένα αντίστοιχου μεγέθους χωνευτήρα (L. Brauer et al., 2014). Το οργανικό φορτίο ως μια από τις σημαντικές παραμέτρους λειτουργίας της αναερόβιας χώνευσης δείχνει την ποσότητα της ξηρής οργανικής ουσίας που τροφοδοτείται στον χωνευτήρα ανά κυβικό μέτρο όγκου και μονάδα χρόνου όπως εμφανίζεται στην παρακάτω εξίσωση .

$$BR = \frac{m \times c}{VR} \quad [1]$$

$$BR = \text{οργανικό φορτίο} \left[\left(\frac{kg}{d} \right) \times m^3 \right]$$

$$m = \text{μάζα τροφοδοτούμενου υποστρώματος ανά μονάδα χρόνου} \left(\frac{kg}{d} \right)$$

$$c = \text{συγκέντρωση οργανικής ουσίας} [\%]$$

$$VR = \text{όγκος του χωνευτήρα} [m^3]$$

(Δεμεντή, 2015)

2.5.6 Υδραυλικός χρόνος παραμονής

Ο υδραυλικός χρόνος, ο οποίος εξαρτάται από τον όγκο του χωνευτήρα και τον όγκο του υποστρώματος που τροφοδοτείται στην μονάδα του χρόνου,

είναι το μέσο χρονικό διάστημα κατά το οποίο το υπόστρωμα διατηρείται μέσα στην δεξαμενή του χωνευτήρα και προκύπτει από την ακόλουθη εξίσωση :

$$(\text{Υδραυλικός χρόνος παραγωγής}) = \frac{VR}{V} \text{ όπου:}$$

VR = όγκος του χωνευτήρα (m^3)

V = όγκος του υποστρώματος που τροφοδοτείται στη μονάδα του χρόνου [$\frac{m^3}{d}$]

Σύμφωνα με την εξίσωση αυτή, όσο αυξάνεται το οργανικό φορτίο θα μειώνεται ο υδραυλικός χρόνος παραμονής (ΥΧΠ). Ο χρόνος παραμονής πρέπει να είναι αρκετά μακρύς για να εξασφαλιστεί ότι η ποσότητα των βακτηριδίων που αφαιρούνται με τα απόβλητα αποχέτευσης (κομπόστ) δεν θα είναι υψηλότερη από την ποσότητα των αναπαραγόμενων βακτηριδίων (πχ. ο ρυθμός διπλασιασμού των αναερόβιων βακτηριδίων είναι 10 ημέρες ή περισσότερο). Ένας μικρός ΥΧΠ παρέχει μια καλή παροχή υποστρώματος, αλλά χαμηλή παραγωγή αερίου. Επομένως, είναι σημαντικό να προσαρμοστεί ο ΥΧΠ στον συγκεκριμένο ρυθμό αποσύνθεσης των χρησιμοποιούμενων υποστρωμάτων. Γνωρίζοντας τον στοιχειοθετημένο ΥΧΠ, την καθημερινή εισαγωγή πρώτης ύλης και τον ρυθμό αποσύνθεσης του υποστρώματος, είναι δυνατό να υπολογιστεί ο απαραίτητος όγκος του χωνευτήρα.

2.5.7 Λόγος C/N

Ο λόγος άνθρακα προς άζωτο (C/N) που περιέχονται σε ένα οργανικό υλικό ονομάζεται σχετική περιεκτικότητα άνθρακα και αζώτου, με την βέλτιστη τιμή του να είναι 20-30. Είναι σημαντικό, ο λόγος αυτός να κυμαίνεται στις αποδεκτές τιμές διότι, στην περίπτωση όπου ο λόγος τις ξεπερνά, το N απορροφάται με γρήγορο ρυθμό από τα μεθανογενή βακτήρια καλύπτοντας τις ανάγκες τους σε πρωτεΐνες, με συνέπεια να μην μπορεί να αντιδράσει με τον άνθρακα (C) που έχει απομείνει στο υπολειπόμενο υλικό και να ανακόπτεται η παραγωγή βιοαερίου. Αντίθετα, όταν ο ανωτέρω λόγος είναι κάτω από τις βέλτιστες τιμές, το άζωτο το οποίο περισσεύει, συσσωρεύεται με την μορφή αμμωνίας μεγαλώνοντας τις τιμές του pH της διεργασίας (Δεμεντή, 2015)

2.5.8 Αμμωνία

Η αμμωνία είναι μια χημική ένωση που υπό φυσιολογικές συνθήκες έχει την μορφή αερίου με δυνατή οσμή και κατά τη διεργασία της αναερόβιας χώνευσης προέρχεται από τις πρωτεΐνες. Πιο ειδικά, η ελεύθερη αμμωνία παρεμποδίζει τη διεργασία μέσα στον χωνευτή, εάν βρεθεί σε υψηλή συγκέντρωση και για αυτό τον λόγο πρέπει να παραμένει κάτω από 80 mg ανά λίτρο. Τονίζεται ότι στη θερμόφιλη αναερόβια χώνευση σε σύγκριση με την μεσόφιλη, υπάρχει αύξηση του κινδύνου μη σωστής ολοκλήρωσης της διεργασίας, διότι η θερμοκρασία αυξάνει αναλόγως τη συγκέντρωση της ελεύθερης αμμωνίας. Επίσης, το pH καθώς αυξάνεται, οδηγεί σε παράλληλη αύξηση της ελεύθερης αμμωνίας (Gallert και Winter, 1997).

2.6 Βιοαέριο

Το βιοαέριο παράγεται από βιομάζα ή βιοαποδομήσιμα απόβλητα μέσω των διεργασιών της αναερόβιας χώνευσης. Το παραγόμενο βιοαέριο αποτελείται κατά κύριο λόγο από μεθάνιο (50%- 70%) και διοξείδιο του άνθρακα (20%- 45%). Καθαρίζοντας το βιοαέριο και αναβαθμίζοντας την ποιότητα του, αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αρκετούς και σημαντικούς σκοπούς. Γενικά, το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμότητας μέσω άμεσης καύσης, παραγωγή ηλεκτρισμού από κυψέλες καυσίμου ή μικροστροβίλους, συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού (ΣΗΘ) ή ως καύσιμο οχημάτων. Το βιοαέριο έπειτα από τον καθαρισμό και την αναβάθμισή του, ονομάζεται βιομεθάνιο. Το βιομεθάνιο ανήκει στα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς, ενώ αυτό που προέρχεται από την αεριοποίηση, θεωρείται βιοκαύσιμο δεύτερης γενιάς. Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζεται η σύστασή του παραγόμενου βιομεθανίου.

Συστατικό	Σύμβολο	Βιομεθάνιο
Μεθάνιο	CH ₄	>97%
Διοξείδιο άνθρακα	CO ₂	<1%

Άζωτο	N ₂	<2%
Οξυγόνο	O ₂	<0,5%
Υδρόθειο	H ₂ S	<0,5 mg/Nm ³
Υδρογονάνθρακες	CxHy	<10 ppm v
Νερό	H ₂ O	<10 ppm v
Θερμογόνος δύναμη	HS,M	max. 11 kWh/m ³

Πίνακας 2. Σύσταση παραγόμενου βιομεθανίου (<http://www.dvgw.de>)

2.7 Καθαρισμός βιοαερίου

Σε μερικές από τις χρήσεις του βιοαερίου είναι απαραίτητος ο καθαρισμός του. Σαν καθαρισμό του βιοαερίου ορίζουμε τη διαδικασία κατά την οποία αφαιρούνται οι ακαθαρσίες από το βιοαέριο. Οι ακαθαρσίες είναι οι ανεπιθύμητες ενώσεις αερίων όπως H₂O, NH₃, H₂S και CO₂, όπου η καθεμία από αυτές δημιουργεί διάφορα προβλήματα στο βιοαέριο ή στην επεξεργασία του. Έτσι έχουμε μία σειρά από τεχνολογίες καθαρισμού για την καθεμία ένωση ξεχωριστά.

α)Νερό (H₂O)

β)Υδρόθειο (H₂S)

γ)Οξυγόνο (O₂) και άζωτο (N₂)

δ)Αμμωνία (NH₃)

α) Το νερό H₂O πρέπει να απομακρυνθεί από το βιοαέριο, διότι δημιουργεί διάβρωση στους αγωγούς αλλά και στον υπόλοιπο εξοπλισμό της εγκατάστασης. Για να επιτευχθεί αυτό υπάρχουν τέσσερις μέθοδοι. Η ψύξη, η συμπίεση, η απορρόφηση και η προσρόφηση. Όταν αφαιρούμε το νερό, μαζί με αυτό αφαιρούμε και άλλες ακαθαρσίες που είναι διαλυμένες. Πιο αναλυτικά, για να πετύχουμε την ψύξη και την συμπίεση, αρκεί να αλλάξουμε τη

θερμοκρασία ή την πίεση του βιοαερίου. Για να πετύχουμε την απορρόφηση του βιοαερίου χρειαζόμαστε τη χρήση διαλυμάτων γλυκόλης για τη δέσμευση του νερού. Η μέθοδος προσρόφησης μπορεί να απομακρύνει το νερό με τη χρήση π.χ. οξειδίου του αργιλίου, οξειδίου του μαγνησίου, ενεργού άνθρακα, διοξειδίου του πυριτίου.

β) Το υδρόθειο (H_2S), όπως και το νερό, πρέπει να απομακρυνθεί, διότι είναι τοξικό και διαβρωτικό για τις σωληνώσεις αλλά και για τον υπόλοιπο εξοπλισμό. Η αφαίρεση του υδρόθειου μπορεί να επιτευχθεί με τρεις διαφορετικούς τρόπους. Αυτοί είναι ο βιολογικός, ο φυσικός και ο χημικός. Κατά την βιολογική μέθοδο, αφήνουμε τον αέρα μέσα στο χωνευτή για να οξειδωθεί το υδρόθειο σε θείο. Για να έχουμε απομάκρυνση του υδρόθειου με φυσικό τρόπο, μπορούμε να το απορροφήσουμε με νερό ή αλλιώς με άλλους οργανικούς διαλύτες. Η χημική απομάκρυνση του υδρόθειου γίνεται με την προσθήκη ιόντων σιδήρου στον αντιδραστήρα.

γ) Το οξυγόνο και το άζωτο είναι δύσκολο να το βρούμε στο βιοαέριο που δημιουργείται από την αναερόβια χώνευση, καθώς η αναερόβια χώνευση είναι μία διαδικασία η οποία γίνεται με απουσία αέρα. Σε περίπτωση όμως που έχει εισέλθει αέρας κατά τη χώνευση, πρέπει να χρησιμοποιήσουμε μοριακά κόσκινα για να τον αφαιρέσουμε, κάτι το οποίο έχει αρκετές δυσκολίες και για αυτό, είναι καλό να αποφευχθεί εισροή αέρα κατά τη χώνευση.

δ) Η αμμωνία δημιουργείται από αποικοδόμηση των πρωτεϊνών, τις οποίες κατά κύριο λόγο τις βρίσκουμε στα οργανικά απόβλητα αλλά και στην υγρή κοπριά. Για να μπορέσουμε να αφαιρέσουμε την αμμωνία, την διαλύουμε συνήθως με νερό και καθώς αφαιρούμε το νερό όπως έχει προαναφερθεί, αφαιρείται και η αμμωνία.

2.8 Αναβάθμιση του βιοαερίου

Το βιοαέριο, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί όπως το φυσικό αέριο και ως καύσιμο οχημάτων, πρέπει να αναβαθμιστεί. Η αναβάθμιση του βιοαερίου

επιτυγχάνεται μέσω της απομάκρυνσης των μολυσματικών ουσιών που υπάρχουν σε αυτό, καθώς και με την απομάκρυνση του διοξειδίου του άνθρακα, ώστε να ενισχυθεί η ποσότητα του σε μεθάνιο. Το βιοαέριο το οποίο το έχουμε αναβαθμίσει ονομάζεται βιομεθάνιο και το ποσοστό του σε μεθάνιο είναι κοντά στο 95% και είναι πολύ υψηλότερο από το ποσοστό του μεθανίου 50-75% που υπάρχει στο μη αναβαθμισμένο βιοαέριο.

Για την απομάκρυνση των μολυσματικών παραγόντων του βιοαερίου, υπάρχουν ποικίλες τεχνολογίες. Για την απομάκρυνση του διοξειδίου του άνθρακα χρησιμοποιούνται συνήθως οι μέθοδοι της απορρόφησης και της προσρόφησης. Στην πρώτη μέθοδο επιτυγχάνεται καθαρισμός μέσω οργανικού διαλύτη ή μέσω νερού, ενώ στη μέθοδο της προσρόφησης χρησιμοποιούμε την μετάπτωση πίεσης. Επίσης, οι μέθοδοι του χωρισμού μέσω μεμβρανών, ο κρυογενής διαχωρισμός και η αναβάθμιση εσωτερικά στην διεργασία είναι μέθοδοι διαχωρισμού με πιο σπάνια χρήση. Η αφαίρεση του διοξειδίου του άνθρακα είναι απαραίτητη έτσι ώστε να επιτευχθεί ο απαιτούμενος δείκτης Wobe του αερίου. Στην ανωτέρω διεργασία γίνεται προσπάθεια για την όσο το δυνατόν μικρότερη απώλεια μεθανίου τόσο για οικονομικούς όσο και για περιβαλλοντικούς λόγους, μιας και το αέριο του μεθανίου είναι ισχυρότερο κατά 21 φορές από το αέριο του διοξειδίου του άνθρακα. Το συνολικό κόστος αναβάθμισης και καθαρισμού του βιοαερίου είναι το άθροισμα του κόστους επένδυσης, της λειτουργίας της εγκατάστασης και της συντήρησης του εξοπλισμού. Οι δαπάνες επένδυσης επηρεάζονται άμεσα από το μέγεθος της εγκατάστασης και αυξάνονται ανάλογα, αλλά το κόστος της ανά μονάδα εγκατεστημένου δυναμικού είναι αντιστρόφως ανάλογο με το μέγεθός της. Τέλος, στα λειτουργικά έξοδα συμπεριλαμβάνεται η διαδικασία της αφαίρεσης του διοξειδίου του άνθρακα, που είναι και το πιο δαπανηρό μέρος της επεξεργασίας.

2.9 Χρήσεις Βιοαερίου

Το βιοαέριο έχει πολλές ενεργειακές χρήσεις ανάλογα με τη φύση της πηγής και την τοπική ζήτηση για μια συγκεκριμένη μορφή ενέργειας. Γενικά, το

βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμότητας μέσω άμεσης καύσης, παραγωγή ηλεκτρισμού από κυψέλες καυσίμου ή μικροστροβίλους, συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού (ΣΗΘ) ή ως καύσιμο οχημάτων. Παρακάτω, πρόκειται να αναλυθεί η συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας που είναι και το αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

2.9.1 Συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ)

Η συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας δίνει στο βιοαέριο μια πολύ σημαντική θέση στην παραγωγή ενέργειας στις περισσότερες προηγμένες χώρες. Για να ξεκινήσουν οι διαδικασίες της μετατροπής της ΣΗΘ απαιτείται η ξήρανση και η στράγγιση του βιοαερίου. Οι μηχανές εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιούνται στις μονάδες ΣΗΘ αποδίδουν μέχρι και 90%, παράγοντας 35% ηλεκτρική ενέργεια και 65% θερμότητα. Στις μονάδες ΣΗΘ έχουμε θερμικές εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής τύπου κορμού (BTTP) με κινητήρες καύσης συνδεδεμένους με γεννήτρια, η οποία συνήθως έχει ταχύτητα περιστροφής σταθερή, ώστε να είναι συμβατή με την συχνότητα του δικτύου (1500 περιστροφές/λεπτό). Οι κινητήρες χωρίς πετρέλαιο ανάφλεξης είναι μηχανές έκχυσης τύπου Otto, Diesel ή πιλοτικές. Οι μηχανές αυτές διαφέρουν μόνο ως προς τη συμπίεση, γι' αυτό και θα τις λέμε μηχανές Otto. Στις παρακάτω εφαρμογές χρησιμοποιούνται νέες τεχνολογίες που αναπτύσσονται συνεχώς, όπως οι μηχανές Stirling, οι κυψέλες καυσίμου και οι μικροί αεριοστροβίλοι. Από το βιοαέριο παράγεται ενέργεια, η οποία χρησιμοποιείται σαν ενέργεια διεργασίας για τον ηλεκτρικό εξοπλισμό (αντλίες, αναδευτήρες, συστήματα ελέγχου κλπ.). Σε χώρες όπου η αγορά της ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας έχει υψηλό κόστος, η ενέργεια που παράγεται, πωλείται στο δίκτυο, ενώ η ενέργεια που απαιτείται για τη διεργασία, αγοράζεται από το εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο. Η χρήση της θερμότητας που παράγεται από τις εγκαταστάσεις βιοαερίου είναι πολύ σημαντική για την ενεργειακή καθώς και την οικονομική απόδοσή τους. Στο παρελθόν, πολλές τέτοιες εγκαταστάσεις δεν είχαν σχεδιαστεί με την πρόβλεψη για την χρήση της θερμότητας και λειτουργούσαν μόνο για

ηλεκτρική παραγωγή. Στις μέρες μας, η χρήση της θερμότητας είναι υποχρεωτικό να γίνεται, μιας και οι τιμές των προϊόντων έχουν ανέβει και δεν αρκεί πια μόνο η πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας για τη βιωσιμότητα των εγκαταστάσεων. Η θερμότητα, η οποία παράγεται από το βιοαέριο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλούς τομείς με καταλληλότερο τον τομέα της βιομηχανίας, μιας και η ζήτηση είναι ίδια σε όλη την διάρκεια του έτους. Κτήρια και νοικοκυριά μπορούν επίσης, να θερμανθούν από την θερμότητα του βιοαερίου, αλλά η σχετική ζήτηση αυτή δεν είναι σταθερή καθώς αυξάνεται τον χειμώνα και μειώνεται το καλοκαίρι. Η ξήρανση προϊόντων, κομματιών ξύλων και ο χωρισμός του κομπόστ είναι επίσης άλλες διαδικασίες στις οποίες χρησιμοποιείται η θερμότητα που παράγεται από το βιοαέριο. Μια ακόμη εφαρμογή της θερμότητας που παράγεται από το βιοαέριο είναι τα συστήματα ηλεκτρισμού, θερμότητας και δροσισμού, που συνδυαζόμενα χρησιμοποιούνται σε ψυγεία ή στον κλιματισμό. Τέλος, υπάρχουν διάφορα πιλοτικά προγράμματα που δουλεύουν πάνω στην συνδυαστική ρήση ηλεκτρισμού-θερμότητας-δροσισμού στις εγκαταστάσεις βιοαερίου (Zhang et al., 2021).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ ΑΣΑ

3.1 Γενικά

Τα τελευταία χρόνια, ολοένα και αυξάνεται η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ για τη δημιουργία ενέργειας. Στις περισσότερες χώρες, τα ΑΣΑ είναι ανεκμετάλλευτα, καθώς μετά τη συλλογή τους διατίθενται για υγειονομική ταφή ή για αποτέφρωση. Η υγειονομική ταφή και η αποτέφρωση είναι μέθοδοι που δεν εκμεταλλεύονται τις ιδιότητες του οργανικού κλάσματος. Συνήθως τα αστικά απορρίμματα συλλέγονται ως κύριο μείγμα, με το μεγαλύτερο ποσοστό τους να είναι εκμεταλλεύσιμη οργανική ύλη και το υπόλοιπο ποσοστό τους να είναι ανακυκλώσιμα υλικά (π.χ γυαλί, χαρτί, πλαστικό). Τα ΑΣΑ είναι μη ομογενή απόβλητα τα οποία αν χωριστούν κατάλληλα μπορούμε να εκμεταλλευτούμε. Τα αστικά απορρίμματα χωρίζονται στα επιμέρους κλάσματα:

- οργανικό κλάσμα
- καύσιμο κλάσμα
- αδρανές κλάσμα

-Το οργανικό κλάσμα είναι η οργανική ύλη που είναι άμεσα αποδομήσιμη, άρα και γρήγορα χωνεύσιμη

-Το καύσιμο κλάσμα είναι η ύλη η οποία είναι αργά ή καθόλου χωνεύσιμη

-Το αδρανές κλάσμα είναι η ύλη η οποία δεν είναι καθόλου χωνεύσιμη

Τέλος, περίπου το 50% των ΑΣΑ αποτελείται από οργανική ύλη, αλλά αυτό είναι κάτι που διαφέρει από περιοχή σε περιοχή. Για το νομό Χανίων συγκεκριμένα, λόγω της μεγάλης τουριστικής περιόδου, περίπου το 40% των ΑΣΑ αποτελείται από οργανική ύλη.

3.2 Παράγοντες για την εφαρμογή αναερόβιας χώνευσης του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ στην περιοχή των Χανίων

Για να μπορέσουμε να εφαρμόσουμε τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης και όχι κάποια άλλη διαδικασία για το οργανικό κλάσμα των αστικών απορριμμάτων, θα πρέπει να εξετάσουμε μία σειρά σημαντικών παραγόντων. Οι παράγοντες αυτοί είναι οι εξής:

- ειδικές συνθήκες στην περιοχή των Χανίων
- δυνατότητα εξαγωγής της παραγόμενης ενέργειας
- τιμές πώλησης ενέργειας και φόροι
- κόστος αγοράς ενέργειας
- κόστος εναλλακτικών λύσεων
- πολιτικές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- τιμές της γης προς εκμετάλλευση
- αγορά για το κομπόστ
- κατάσταση των διαφόρων τεχνολογιών
- η σωστή επιλογή τεχνολογίας αναερόβιας χώνευσης

Σύμφωνα με τους παραπάνω παράγοντες, στην παρούσα διπλωματική εργασία επιλέχθηκε η κατασκευή μιας μονάδας αναερόβιας χώνευσης επεξεργασίας του οργανικού κλάσματος των αστικών απορριμμάτων και της επεξεργασμένης ιλύος από βιολογικό καθαρισμό στην περιοχή των Χανίων .

3.3 Διαχωρισμός οργανικού κλάσματος από τα ΑΣΑ

Ο διαχωρισμός του οργανικού κλάσματος από τα ΑΣΑ για την αξιοποίησή του ως πρώτη ύλη στη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας, καθώς επηρεάζει την ποιότητα της πρώτης ύλης και κατ' επέκταση, τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης. Οι δύο βασικοί τρόποι διαχωρισμού είναι ο διαχωρισμός στην πηγή και ο μηχανικός διαχωρισμός . (Dehkordi et al., 2020)

3.3.1 Διαχωρισμός στην πηγή

Ο διαχωρισμός των αστικών απορριμμάτων στην πηγή είναι η καλύτερη μέθοδος διαχωρισμού και αυτό γιατί το οργανικό κλάσμα το οποίο έχει διαχωριστεί από τα υπόλοιπα ΑΣΑ έχει μικρά ποσοστά βαρέων μετάλλων και πλαστικών. Η μικρή περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα και πλαστικά κάνει το οργανικό κλάσμα πολύ πιο ποιοτικό, με αποτέλεσμα να δημιουργεί ένα καλής ποιότητας κομπόστ. Στην περίπτωση της αναερόβιας χώνευσης, η δημιουργία ποιοτικού οργανικού κλάσματος δημιουργεί πτητικά στερεά VS πάνω από 80%, με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη δημιουργία βιοαερίου. Ο διαχωρισμός στην πηγή στηρίζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό στα νοικοκυριά. Στις ονομαζόμενες ανεπτυγμένες χώρες βλέπουμε ότι τα αποτελέσματα διαχωρισμού στην πηγή είναι ενθαρρυντικά, διότι το 50-70% του οργανικού κλάσματος έχει συλλεχθεί με επιτυχία. Στην Ελλάδα, ο διαχωρισμός στην πηγή είναι σε πρώιμο στάδιο και για να πετύχει αυτή η διαδικασία χρειάζεται πέρα από τους κατάλληλους κάδους που πρέπει να τοποθετηθούν, συστηματική ενημέρωση των πολιτών, καθώς επίσης και μεγάλη υπευθυνότητα των νοικοκυριών.

3.3.2 Μηχανικός διαχωρισμός

Ο μηχανικός διαχωρισμός είναι ο μόνος τρόπος να γίνει η συλλογή του οργανικού κλάσματος των αστικών απορριμμάτων, από τη στιγμή που δεν μπορεί να επιτευχθεί ο διαχωρισμός στην πηγή. Κατά το μηχανικό διαχωρισμό, το οργανικό κλάσμα είναι πιο μολυσμένο από ότι κατά τον διαχωρισμό στην πηγή. Το μολυσμένο οργανικό κλάσμα σημαίνει περισσότερα ποσοστά βαρέων μετάλλων και πλαστικού και έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή κακής ποιότητας κομπόστ, αλλά επίσης και χαμηλότερης ποσότητας βιοαερίου κατά την αναερόβια χώνευση. Στις περιπτώσεις αυτές, το κομπόστ δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βελτιωτικό εδάφους καθώς δεν πληρεί τις προδιαγραφές που απαιτούνται και έτσι, τα σημαντικότερα οφέλη αφορούν την παραγωγή βιοαερίου καθώς τα πτητικά στερεά VS του υποστρώματος είναι μικρότερα του 60%. Όπως θα

φανεί και στα επόμενα κεφάλαια, πρόκειται να γίνει μία αρκετά καλή περιγραφή του μηχανικού διαχωρισμού καθώς δεν υπάρχει ακόμη η δυνατότητα του διαχωρισμού στην πηγή στην περιοχή των Χανίων (Dehkordi et al., 2020).

3.4 Συγχώνευση αστικών απορριμμάτων με άλλα υποστρώματα

Τα απόβλητα που είναι κατάλληλα για αναερόβια χώνευση ποικίλλουν. Παραδοσιακά, η αναερόβια χώνευση γινόταν για ένα είδος υποστρώματος, όμως τα τελευταία χρόνια έγινε αντιληπτό ότι η αναερόβια χώνευση είναι πιο σταθερή όταν αυξάνεται η ποικιλία των υποστρωμάτων που εφαρμόζονται την ίδια στιγμή. Έτσι λοιπόν, εάν το οργανικό κλάσμα των ΑΣΑ συγχωνευθεί με κάποια άλλη κατηγορία αποβλήτων, η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης θα γίνει οικονομικότερη και πιο σταθερή. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, θα γίνει η συγχώνευση του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ και της ιλύος από επεξεργασία λυμάτων. Τις περισσότερες φορές στην αναερόβια χώνευση χρησιμοποιούμε ένα κεντρικό υπόστρωμα, όπως η ιλύς από επεξεργασία λυμάτων, το οποίο αναμειγνύεται και αφομοιώνεται μαζί με τις μικρότερες ποσότητες άλλων υποστρωμάτων. Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα για την περιοχή των Χανίων που αφορούν τις ποσότητες του οργανικού κλάσματος και της ιλύος επιτρέπουν τη συγχώνευση τους ώστε να χρησιμοποιηθούν ως υπόστρωμα για τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης. Τα πλεονεκτήματα της συγχώνευσης του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ με άλλα υποστρώματα είναι πάρα πολλά, κάποια από τα οποία εμφανίζονται παρακάτω.

- Βελτιωμένη ισορροπία θρεπτικών και χώνευση
- Πιθανά μεγαλύτερα έσοδα λόγω της επεξεργασίας των αποβλήτων
- Πρόσθετη ανάκριση λιπάσματος, δηλαδή, βελτιωτικό εδάφους
- Μεγαλύτερη συλλογή βιοαερίου
- Μείωση του όγκου των ΑΣΑ αλλά και των άλλων υποστρωμάτων που χρησιμοποιούνται
- Αποτελεσματικότερη χρήση των όγκων των χωνευτών στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων

3.5 Η σύνθεση και απόδοσης του οργανικού κλάσματος ΑΣΑ ως υπόστρωμα αναερόβιας χώνευσης

Η σύνθεση των ΑΣΑ ποικίλει και επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες όπως την περιοχή, το κλίμα, την εποχή, την έκταση της ανακύκλωσης, τις πολιτιστικές συνήθειες του κάθε τόπου, καθώς και τις αλλαγές της τεχνολογίας. Επίσης, η σύνθεση του οργανικού κλάσματος των αστικών απορριμμάτων επηρεάζεται όπως προαναφέρθηκε, από τον τρόπο διαχωρισμού του. Ο μηχανικός τρόπος διαχωρισμού δημιουργεί ένα οργανικό κλάσμα με περιεκτικότητα πτητικών στερεών λιγότερο από 60%, ενώ ο διαχωρισμός στην πηγή δημιουργεί ένα οργανικό κλάσμα με περιεκτικότητα πτητικών στερεών άνω του 82%. Αν λάβουμε υπόψη τα παραπάνω χαρακτηριστικά, από τον διαχωρισμό στην πηγή το οργανικό κλάσμα που έχουμε έχει ψηλότερη βιοδιασπασιμότητα, άρα και υψηλότερη απόδοση παραγωγής βιοαερίου. Η απόδοση του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ ως υπόστρωμα αναερόβιας χώνευσης μελετήθηκε από αρκετούς επιστήμονες σε μεσοφιλικές αλλά και σε θερμοφιλικές συνθήκες. Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει μία σειρά δοκιμών μέτρησης παραγωγής βιοαερίου του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ κάτω από μεσοφιλικές και θερμοφιλικές συνθήκες και μας δείχνει τον τρόπο διαχωρισμού του οργανικού κλάσματος, την περιεκτικότητα σε πτητικά στερεά κλπ.

Μέθοδος	Λειτουργικές συνθήκες
Μεσόφιλες Θερμοκρασίες – Χαμηλή συγκέντρωση στερεών	ΥΧΠ: 14-30 d ORL 3-4 kg TVS/m ³ . d

Μεσόφιλες Θερμοκρασίες – Μέση συγκέντρωση στερεών	ΥΧΠ: 12-14 d ORL 3-4 kg TVS/m ³ . d ΥΧΠ: 12-14 d
Θερμόφιλες Θερμοκρασίες – Μέση συγκέντρωση στερεών	ORL 8-12 kg TVS/m ³ . d
Μεσόφιλες Θερμοκρασίες – Υψηλή συγκέντρωση στερεών	ΥΧΠ: 17-25 d ORL 3-4 kg TVS/m ³ . d
Θερμόφιλες Θερμοκρασίες – Υψηλή συγκέντρωση στερεών	ΥΧΠ: 12-16 d ORL 4-6 kg TVS/m ³ . d
Συνεπεξεργασία αποβλήτων	ΥΧΠ: 14-16 d ORL 1,9-3,9 kg TVS/m ³ . d

Πίνακας 3. (Mata-Alvarez J., 2003)

3.6 Τεχνολογίες αναερόβιας επεξεργασίας

Ο διαχωρισμός μεταξύ των τεχνολογιών της αναερόβιας χώνευσης γίνεται με τους τρεις εξής τρόπους:

- Με βάση τον αριθμό των αντιδραστήρων:

Κατά τη μέθοδο του ενός σταδίου, δηλαδή, του ενός αντιδραστήρα, όλα τα στάδια της αναερόβιας χώνευσης πραγματοποιούνται σε έναν μόνο

αντιδραστήρα. Κατά τη μέθοδο των πολλαπλών σταδίων, η υδρόλυση και η μεθανιογένεση γίνονται σε ξεχωριστούς αντιδραστήρες.

- Με βάση τη συγκέντρωση στερεών στον αντιδραστήρα:
Όταν υπάρχει χαμηλή συγκέντρωση στερεών στον αντιδραστήρα, τότε υπάρχει υγρή αναερόβια χώνευση (wet digestion <10%) και χρησιμοποιούνται αντιδραστήρες πλήρους αναμίξεως (CSTR). Όταν έχουμε υψηλή συγκέντρωση στερεών στον αντιδραστήρα έχουμε ξηρή αναερόβια χώνευση (dry digestion 20%-40%) και χρησιμοποιούνται αντιδραστήρες εμβολικής ροής (PFR). Επίσης, κάποιες φορές χρησιμοποιούνται οι αντιδραστήρες Batch.
- Με βάση τις θερμοκρασίες λειτουργίας της αναερόβιας χώνευσης, οι οποίες χωρίζονται σε θερμοφίλες (50-55°C) και μεσοφίλες (37°C).

Οι πιο γνωστές τεχνολογίες της αναερόβιας χώνευσης ενός σταδίου και με υψηλή συγκέντρωση στερεών είναι η Dranco, η Valorga και η Kompogas. Επίσης, υπάρχει και η τεχνολογία ενός σταδίου BTA αλλά με χαμηλή συγκέντρωση στερεών.

Η σημαντικότερη τεχνολογία αναερόβιας χώνευσης δύο σταδίων με υψηλή συγκέντρωση στερεών είναι η Biopercolat και η κύρια μέθοδος συστημάτων τύπου Batch είναι η Biocel. Επίσης, οι πιο γνωστές μέθοδοι δύο σταδίων με χαμηλή συγκέντρωση στερεών είναι η BTA και η Pacques. Τέλος, η μέθοδος των δύο σταδίων αν και έχει πολύ υψηλό κόστος, επιλύει πολύ σημαντικά τεχνικά προβλήματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Η ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΔΕΔΙΣΑ

4.1 Διαχείριση Απορριμμάτων στην Π.Ε. Χανίων

Η γνώση της συμπεριφοράς των απορριμμάτων κατά τη διαδικασία της επεξεργασίας διαχωρισμών τους και κατά την αερόβια ζύμωση του οργανικού κλάσματός τους οδήγησε σε τεχνικές επιλογές κατά τον παρόντα σχεδιασμό που σχετίζονται αφ' ενός με τεχνικές λεπτομέρειες που εξασφαλίζουν την πρόληψη λειτουργικών προβλημάτων και αφ' ετέρου με την φύση του σύμμεικτου αστικού απορρίμματος που παράγεται στον Ελλαδικό χώρο.

Ιδιαίτερη έμφαση κατά τον αρχικό σχεδιασμό του παρόντος εργοστασίου δόθηκε στο γεγονός ότι ενσωματώνει μονάδα διαχωρισμού του ξηρού κλάσματος με χειροδιαλογή. Η επιλογή αυτή συνεπάγεται μια τουλάχιστον ουσιώδη διαφορά ως προς τα εργοστάσια αμιγούς μηχανικού διαχωρισμού του ξηρού κλάσματος. Οι ρυθμοί διαχωρισμού περιορίζονται από τις ανθρώπινες δυνατότητες ως προς τον ρυθμό χειροδιαλογής και επομένως η τροφοδοσία των απορριμμάτων πρέπει να γίνεται με αυστηρά αξιόπιστο σύστημα δοσομέτρησης, ενώ παράλληλα οι διατάξεις μεταξύ τροφοδοσίας εισόδου και τμήματος χειροδιαλογής θα πρέπει να παραλαμβάνουν

προσωρινές υπερφορτώσεις οφειλόμενες στην προσαρμογή της παροχής των προσαγόμενων απορριμμάτων στην πραγματική ικανότητα χειροδιαλογής των εργαζομένων που αντιστοιχεί στην εκάστοτε σύσταση των προς χειροδιαλογή απορριμμάτων.

Ο σχεδιασμός που πραγματοποιήθηκε έχει λάβει υπ' όψη την παραπάνω ανάλυση ευαισθησίας με επιλογή των πλέον αξιόπιστων δοσομετρικών συστημάτων στο τμήμα υποδοχής και συντηρητική υπέρ της ασφαλείας διαστασιολόγηση των ενδιάμεσων συστημάτων μεταφοράς και διαχωρισμού.

4.2 Γενικά στοιχεία

Όσον αφορά ορισμένα γενικά χαρακτηριστικά, η είσοδος στον χώρο του εργοστασίου και του Χ.Υ.Τ.Υ. πραγματοποιείται μέσω της κεντρικής πύλης. Τα απορριμματοφόρα ή οι κιβωτάμαξες ζυγίζονται στο ζυγιστήριο εισόδου και έπειτα κατευθύνονται στο κτίριο υποδοχής των απορριμμάτων ή στον Χ.Υ.Τ.Υ., εφ' όσον μεταφέρουν απορρίμματα που είναι αποδεκτά για απ' ευθείας διάθεση στον Χ.Υ.Τ.Υ. Σε κάθε περίπτωση κατά την είσοδο των οχημάτων γνωστοποιείται πως γίνονται αποδεκτά μόνον αστικά μη επικίνδυνα απορρίμματα, όπως η σχετική νομοθεσία έχει καθορίσει. Εν συνεχεία, η απόρριψη ελέγχεται κατά την εκφόρτωση στο κτίριο υποδοχής ή τον Χ.Υ.Τ.Υ. Μετά το ζυγιστήριο, η οδοποιία επιτρέπει την πρόσβαση είτε προς τον Χ.Υ.Τ.Υ. είτε προς το κτίριο Υποδοχής. Το εργοστάσιο επεξεργασίας των απορριμμάτων αναπτύσσεται μετά το ζυγιστήριο και αποτελείται από:

- Το τμήμα υποδοχής και δοσομέτρησης των απορριμμάτων
- Το τμήμα μηχανικής διαλογής και χειροδιαλογής με όλες τις παρελκόμενες διεργασίες
- Το τμήμα κομποστοποίησης
- Το τμήμα ραφίναρίας
- Τις ανοικτές και κλειστές αποθήκες compost
- Τμήμα τυποποίησης

4.3 Μηχανική Διαλογή Σύμμεικτων και Προδιαλεγμένων ΑΣΑ

Ο ίδιος ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός είναι υπεύθυνος για τη μηχανική διαλογή τόσο των σύμμεικτων απορριμμάτων όσο και των προδιαλεγμένων ανακυκλώσιμων υλικών, σε διαφορετικό χρόνο. Η βασική διαφοροποίηση κατά την λειτουργία των σύμμεικτων απορριμμάτων αφορά τον διαχωρισμό του οργανικού (υγρού) κλάσματος το οποίο θα οδηγηθεί για κομποστοποίηση. Ο διαχωρισμός του ξηρού κλάσματος και στις δύο περιπτώσεις ακολουθεί την ίδια φιλοσοφία.

- *Επεξεργασία σύμμεικτων ΑΣΑ*

Στο κτίριο υποδοχής τα απορριμματοφόρα εισέρχονται και εκφορτώνουν με κλειστές τις θύρες μετά από ελιγμό στην πλατεία μπροστά στο κτίριο. Μέσα στο κτίριο υπάρχει διαμορφωμένος ένας υποδοχέας στον οποίο εκφορτώνονται τα απορρίμματα. Εν συνεχεία, μέσω γερανογέφυρας και αρπάγης, τα απορρίμματα μεταφέρονται επί κινούμενου δαπέδου προκειμένου να δοσομετρηθούν προς τον σχίστη σάκων και εν συνεχεία προς τις κατάντη διαδικασίες διαχωρισμού. Το κτίριο είναι εφοδιασμένο με σύστημα απόσμησης - αποκονίωσης. Ο χώρος των χειριστών εντός του κτιρίου είναι απομονωμένος, εξαεριζόμενος και κλιματιζόμενος.

Τα απορρίμματα έπειτα, οδηγούνται στο κτίριο απομάκρυνσης ανεπιθύμητων και άλλων υλικών που ενδεχομένως να παρεμποδίζουν τις κατάντι χειροδιαλογές ανακυκλώσιμων και στη συνέχεια στο κτίριο μηχανικής διαλογής και χειροδιαλογής. Εδώ πραγματοποιείται ο διαχωρισμός του ξηρού κλάσματος (χαρτί, πλαστικό, μέταλλα κ.λπ.) από το υγρό κλάσμα (οργανικό) και παράγεται το ρεύμα των αχρήστων που οδηγείται στον Χ.Υ.Τ.Υ.

Το ξηρό κλάσμα διαχωρίζεται με διάταξη βαλλιστικών και οπτικών διαχωριστών και δεματοποιείται. Τα σιδηρούχα και αλουμινούχα διαχωρίζονται με μαγνητικούς διαχωριστές και διαχωριστές δινορρευμάτων και δεματοποιούνται.

Οι χώροι εργασίας είναι απομονωμένοι και εξαερίζονται έντονα. Τα σημεία του κτιρίου όπου εκλύεται σκόνη συνδέονται με δίκτυο αεραγωγών που οδηγεί σε σακκόφιλτρο για την αποκονίωση του αέρα.

Το οργανικό κλάσμα που οδηγείται στην κομποστοποίηση υφίσταται αερόβια ζύμωση με εμφύσηση αέρα στην κλίνη του κομποστοποιούμενου υλικού.

Διπλάσια ποσότητα από αυτήν που εμφυσάται αναρροφάται από το κτίριο και καταθλίβεται σε βιόφιλτρο για να αποσμηθεί.

Το υπό κομποστοποίηση υλικό αναδεύεται μια φορά την ημέρα και προωθείται με σύστημα κοχλιών αναρτημένων σε παλινδρομική γέφυρα. Η τροφοδοσία του οργανικού και η εκφόρτωση του κομποστοποιημένου υλικού λειτουργούν 6 ώρες. Η ανάδευση και προώθηση πραγματοποιείται εντός του υπολοίπου πέραν του εξώρου χρόνου.

Το κομποστοποιούμενο υλικό μετά την εκφόρτωση του από την μονάδα κομποστοποίησης οδηγείται στην μονάδα ραφιναρίας όπου καθαρίζεται με κοσκίνιση, και συστήματα συνδυασμένου αεροδυναμικού και βαλλιστικού διαχωρισμού. Η ραφιναρία είναι εφοδιασμένη με σύστημα αποκονίωσης του αέρα που παράγεται στα σημεία έκλυσης σκόνης.

Το καθαρό compost αποθηκεύεται σε πλατεία πλησίον της ραφιναρίας για την ωρίμανσή του επί τρεις μήνες. Μετά την ωρίμανσή του, κοσκινίζεται περεταίρω, αποθηκεύεται σε κλειστή αποθήκη απ' όπου παραλαμβάνεται και ενσакκίζεται.

- *Επεξεργασία προδιαλεγμένων ΑΣΑ*

Οι 15.000 περίπου τόνοι προδιαλεγμένων ανακυκλώσιμων υλικών ανά έτος από τον μπλε κάδο, τροφοδοτούνται στην νέα αυτοματοποιημένη Μονάδα Μηχανικής Διαλογής, με παροχή περίπου 13 - 14 τόνους ανά ώρα. Η συνολική τροφοδοσία διαχωρίζεται στις δυο υπάρχουσες γραμμές. Έτσι, κάθε γραμμή θα τροφοδοτείται με 7 τόνους ανά ώρα.

Αρχικά, οι σακούλες των απορριμμάτων ανοίγονται με τον ήδη υπάρχων εξοπλισμό (σχίστες σάκων). Μετά το άνοιγμα των σάκων, τα υλικά διέρχονται από τον υφιστάμενο πρώτο θάλαμο χειροδιαλογής (θάλαμος χειροδιαλογής ανεπιθύμητων υλικών), όπου δυο εργάτες χειροδιαλογής αφαιρούν ορισμένα ανεπιθύμητα υλικά, ώστε να προστατευτεί ο κατάντι μηχανολογικός εξοπλισμός και να διασφαλιστεί η συνεχής ροή του υλικού. Στην συνέχεια, τα υλικά διέρχονται από τα δυο υφιστάμενα πρωτοβάθμια περιστροφικά κόσκινα των 250 mm.

Το ευμεγέθες υλικό (πάνω από 250mm) οδηγείται απευθείας στον υφιστάμενο δεύτερο θάλαμο χειροδιαλογής (θάλαμος χειροδιαλογής ευμεγεθών υλικών), ο οποίος θα επεκταθεί. Στο σταθμό αυτό, 12 εργάτες

χειροδιαλογής συλλέγουν τα καθαρά ανακυκλώσιμα υλικά. Τα ανακυκλώσιμα υλικά διαχωρίζονται σε κατηγορίες όπως χαρτόνι, χαρτί, πλαστικό φιλμ, σκληρό πλαστικό κ.λπ. και απορρίπτονται σε σιλό. Όταν ένα σιλό γεμίσει, τότε το υλικό οδηγείται στις πρέσες δεματοποίησης.

Αφού τα ανακυκλώσιμα υλικά ανακτηθούν, τα υπολείμματα απορρίπτονται σε κάδο και στην συνέχεια οδηγούνται για υγειονομική ταφή.

Το υλικό κάτω των 250 mm οδηγείται στους δυο παράλληλους νέους σχίστες σάκων. Ο λόγος ύπαρξης των νέων σχιστών, είναι ότι όλος ο νέος αυτόματος εξοπλισμός διαλογής μπορεί να λειτουργεί αποδοτικά, μόνον εφόσον έχουν ανοιχτεί όλες οι σακούλες, ακόμα και οι μικρότερες. Μετά τους δεύτερους σχίστες σάκων, το υλικό διέρχεται από τα υφιστάμενα δευτεροβάθμια κόσκινα των 70 mm. Το λεπτόκοκκο υλικό κάτω των 70 mm, διέρχεται από τον υφιστάμενο μαγνήτη για την συλλογή των σιδηρούχων μετάλλων και στην συνέχεια σε κάδο υπολειμμάτων για την μεταφορά του στον Χ.Υ.Τ.Υ.

Το ενδιάμεσου μεγέθους υλικό, μεταξύ 250 mm και 70 mm, το οποίο δεν μπορεί να διαχωριστεί αποτελεσματικά με χειρωνακτικό τρόπο, διέρχεται από τις πρώτες παράλληλες μονάδες οπτικού διαχωρισμού (NIR). Οι μονάδες οπτικού διαχωρισμού NIR (Near Infrared Light) εκπέμπουν υπέρυθρο φως στα υλικά, τα οποία διέρχονται μέσω ταινιόδρομου υψηλής ταχύτητας κάτω από τους οπτικούς διαχωριστές. Σχεδόν όλα τα υλικά απορροφούν κάποια ποσότητα από το φως με μήκος κύματος κοντά στο υπέρυθρο και αντανakλούν κάποια άλλη. Ο μηχανισμός αυτός, επιτρέπει στις μονάδες οπτικού διαχωρισμού να αναγνωρίζουν το «δακτυλικό αποτύπωμα» του υλικού, το οποίο διέρχεται μέσω του ταινιόδρομου. Με τη χρήση μεγάλης ακρίβειας ακροφυσίων αέρα, το επιθυμητό υλικό εκτοξεύεται εκτός του διερχόμενου ρεύματος του υλικού. Οι πρώτοι δύο οπτικοί διαχωριστές διαχωρίζουν όλα τα υλικά που δεν είναι χαρτί. Η απόδοση των μονάδων αυτών είναι πάνω από 90% οπότε το υλικό που διαχωρίζεται από το ρεύμα του υλικού είναι κυρίως χαρτί με πολύ μικρό ποσοστό άλλων υλικών.

Το χαρτί αυτό οδηγείται στους δεύτερους οπτικούς διαχωριστές. Αυτές οι δύο παράλληλες μονάδες συλλέγουν πληροφορίες για το υλικό, τόσο με την ανωτέρω αναφερόμενη διαδικασία, όσο και πληροφορίες για το χρώμα του διερχόμενου υλικού. Με τη χρήση των δύο αυτών πληροφοριών (είδος υλικού

και χρώμα) οι μονάδες διαχωρίζουν είτε το καφέ χαρτόνι ή όλο το χαρτόνι ανάλογα τις επικρατούσες τιμές πώλησης για τα υλικά αυτά. Το χαρτόνι στη συνέχεια οδηγείται στον τελικό ποιοτικό έλεγχο (μέσω χειροδιαλογής) για την απομάκρυνση των τυχών προσμίξεων και κατόπιν απορρίπτεται σε σιλό.

Το χαρτί που διέρχεται από τους δεύτερους οπτικούς διαχωριστές και το οποίο είναι κυρίως ανάμεικτο χαρτί, τροφοδοτείται στην κυρία γραμμή χειροδιαλογής. Στη γραμμή αυτή – αναλόγως τις επικρατούσες τιμές της αγοράς – το ανάμεικτο χαρτί διαχωρίζεται χειρωνακτικά σε διαφορετικές ποιότητες, π.χ. έντυπο ή λευκό χαρτί κ.λπ. Σε αυτό το στάδιο, ένας ή το πολύ δυο εργαζόμενοι κάνουν τον ποιοτικό έλεγχο του ανάμεικτου χαρτιού.

Όλες οι συλλεγόμενες ποιότητες χαρτιού ή το ανάμεικτο χαρτί οδηγούνται σε σιλό. Το υπόλειμμα της διεργασίας οδηγείται σε μεταφορική ταινία και διέρχεται από τους υφιστάμενους μαγνήτες και τον υφιστάμενο αλουμινοδιαχωριστή.

Με τους μαγνήτες και τον αλουμινοδιαχωριστή, όλα τα μέταλλα συλλέγονται σε πολύ καλή ποιότητα, διότι η παροχή στα μηχανήματα αυτά είναι πολύ χαμηλή. Τα μέταλλα στη συνέχεια οδηγούνται ξεχωριστά (σιδηρούχα και μη σιδηρούχα) στις υφιστάμενες πρέσες.

Όλα τα σιλό με τις διάφορες ποιότητες χαρτιού καταλήγουν μέσω μεταφορικών ταινιών σε δυο παράλληλες πρέσες δεματοποίησης (μία υφιστάμενη και μία νέα). Όταν κάποιο από τα παραπάνω σιλό γεμίσει, υπάρχει ένδειξη και τότε το περιεχόμενο υλικό αδειάζει μέσω μεταφορικών ταινιών στις πρέσες. Η δεύτερη πρέσα δεματοποίησης έχει προστεθεί στο σύστημα, διότι οι ποσότητες των ανακτώμενων υλικών αναμένεται να αυξηθούν κατά πολύ.

Τα ρεύμα των υλικών (που δεν είναι χαρτί) που διέρχεται από τους δυο πρώτους οπτικούς διαχωριστές, οδηγείται σε βαλλιστικό διαχωριστή. Στο ρεύμα αυτό περιλαμβάνονται πλαστικά, μέταλλα, υπολείμματα και οτιδήποτε άλλο εκτός από χαρτί. Ο βαλλιστικός διαχωριστής είναι σημαντικός για το διαχωρισμό των διαφόρων πλαστικών υλικών. Στο σημείο αυτό έχει εγκατασταθεί και μία εναλλακτική όδευση (bypass) του υλικού για την περίπτωση βλάβης του βαλλιστικού διαχωριστή. Στην περίπτωση αυτή, το υλικό κατευθύνεται απευθείας στη γραμμή των τρισδιάστατων υλικών,

παρακάμπτοντας το βαλλιστικό διαχωριστή. Τότε η παροχή είναι μειωμένη και η ποιότητα των ανακτώμενων υλικών αναμένεται μειωμένη. Έτσι, στην περίπτωση βλάβης του βαλλιστικού διαχωριστή, είναι αναγκαία η απασχόληση επιπλέον εργατών χειροδιαλογής για τον ποιοτικό έλεγχο των διαχωρισμένων υλικών. Σε κάθε περίπτωση, διασφαλίζεται η απρόσκοπτη λειτουργία του εργοστασίου.

Ο βαλλιστικός διαχωριστής λειτουργεί με παράλληλες δοκούς, οι οποίες κινούνται από ένα στροφαλοφόρο άξονα. Ο διαχωριστής βρίσκεται υπό γωνία 160 περίπου. Όταν οι δοκοί κινούνται, όλα τα εύκαμπτα ή επίπεδα (δυσδιάστατα) υλικά, όπως υφάσματα ή πλαστικό φιλμ ανέρχονται στην κορυφή και καταλήγουν σε ταχεία κινούμενη μεταφορική ταινία. Όλα τα σκληρά ή κυλινδρικά (τρισδιάστατα) υλικά, όπως μπουκάλια, ξύλο ή σκληρό πλαστικό, καταλήγουν στο ρεύμα των τρισδιάστατων υλικών σε ταχεία κινούμενη μεταφορική ταινία. Με το σύστημα αυτό είναι πολύ εύκολος ο διαχωρισμός των επίπεδων (δυσδιάστατων) από τα κυλινδρικά (τρισδιάστατα) υλικά, ο οποίος είναι ιδιαίτερα αναγκαίος για το διαχωρισμό του PE (Polyethylene) φιλμ από τις PE φιάλες. Ο διαχωρισμός αυτός δεν μπορεί να γίνει αποτελεσματικά με τη χρήση οπτικών διαχωριστών, λόγω της ίδιας σύστασης των δυο υλικών.

Ο βαλλιστικός διαχωριστής διαθέτει ανοίγματα των 60mm στο πάνω μέρος των δοκών, τα οποία αποτελούν ένα ακόμα πλεονέκτημα, καθώς κοσκινίζουν και απομακρύνουν σκόνες και ακαθαρσίες. Τα μικρότερα υλικά κάτω των 60mm θα καταλήγουν στην γραμμή ως υπόλειμμα προς απόρριψη.

Το επίπεδο κλάσμα, το οποίο αποτελείται κυρίως από πλαστικό φιλμ και κάποια υφάσματα, οδηγείται μέσω υψηλής ταχύτητας μεταφορικής ταινίας στον επόμενο οπτικό διαχωριστή. Με αυτή την μονάδα διαχωρίζεται το καλής ποιότητας PE φιλμ. Στη συνέχεια, οδηγείται σε ποιοτικό έλεγχο ώστε να επιτευχθεί περίπου 98% καθαρότητα ή και παραπάνω. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα οι εργάτες χειροδιαλογής που κάνουν το συγκεκριμένο ποιοτικό έλεγχο να ανακτούν το διάφανο PE φιλμ, το οποίο έχει πολύ υψηλή εμπορική αξία. Μετά τη διαλογή του φιλμ, τα υπολείμματα καταλήγουν στη γραμμή υπολειμμάτων της Μηχανικής Διαλογής.

Το τρισδιάστατο υλικό από το βαλλιστικό διαχωριστή οδηγείται επίσης σε οπτικούς διαχωριστές. Οι τρεις αυτές μικρές μονάδες εν σειρά διαχωρίζουν PE, PET (Polyethylenterephthalat) και PP (Polypropylen). Όλες οι οπτικές μονάδες είναι πλήρως παραμετροποιήσιμες, έτσι ώστε να μπορούν να διαχωρίζουν διαφορετικά υλικά αναλόγως τις διακυμάνσεις της αγοράς. Όλες οι μονάδες μπορούν να διαχωρίσουν ένα υλικό ή μείγμα διαφορετικών υλικών, π.χ. PP και PS μαζί. Τα τρία κύρια πολυμερή PE, PET και PP οδηγούνται στη συνέχεια σε ποιοτικό έλεγχο με την απασχόληση τριών εργατών χειροδιαλογής.

Όλα τα συλλεγόμενα υλικά καταλήγουν σε σιλό, από τα οποία στην συνέχεια οδηγούνται ξεχωριστά στις πρέσες δεματοποίησης. Το υπόλειμμα της διεργασίας διοχετεύεται σε μεταφορική ταινία και διέρχεται από τους υφιστάμενους μαγνήτες και τον υφιστάμενο αλουμινοδιαχωριστή. Μετά την ανάκτηση των μετάλλων, τα υπολείμματα τροφοδοτούνται σε κάδους και θα οδηγούνται για υγειονομική ταφή.

Η συνολική ποσότητα των υπολειμμάτων της διεργασίας υπολογίζεται σε 10 με 15% του εισερχομένου υλικού ανάλογα με την σύσταση του υλικού αυτού.

4.4 Αερόβια επεξεργασία Βιοαποβλήτων

Το οργανικό κλάσμα των απορριμμάτων που διαχωρίζεται στο δευτεροβάθμιο κόσκινο κατά την επεξεργασία σύμμεικτων απορριμμάτων, οδηγείται μέσω των ταινιών προς μαγνητικό διαχωρισμό ώστε να εξασφαλισθεί η ελάχιστη, κατά το δυνατόν, παρουσία σιδηρούχων υλικών στο προς κομποστοποίηση κλάσμα. Μετά τον μαγνητικό διαχωρισμό ακολουθεί η διάταξη προωθήσεως του προς ταχεία κομποστοποίηση οργανικού κλάσματος μαζί με τα τεμαχισμένα φυτικά υπολείμματα.

- *Αποθήκευση-τεμαχισμός και δοσομέτρηση κλαδιών-χόρτων*

Η παραλαβή των κλαδιών - χόρτων γίνεται από τον προβλεπόμενο χώρο αποθήκευσης τους. Πρόκειται για στεγασμένο χώρο, καλυπτόμενο περιμετρικά ώστε να διευκολύνεται η στοίβαξη των κλαδιών - χόρτων που εκφορτώνονται στο δάπεδο από τα φορτηγά. Από εκεί με χρήση φορτωτή, τα

κλαδιά τροφοδοτούνται στο τεμαχιστή κλαδιών - χόρτων. Ο τεμαχιστής φέρει διάταξη δοσομέτρησης των τεμαχιδίων τα οποία τροφοδοτούνται επί της μεταφορικής ταινίας. Αυτή με τη σειρά της τροφοδοτεί την μεταφορική ταινία στην οποία επίσης συλλέγεται και το οργανικό κλάσμα από τη δευτεροβάθμια κοσκίνιση. Το αναμεμιγμένο κλάσμα οδηγείται στην δεξαμενή ταχείας αερόβιας κομποστοποίησης.

- *Τμήμα ταχείας αερόβιας κομποστοποίησης*

Το τμήμα κομποστοποίησης σχεδιάστηκε για την συνεπεξεργασία συνολικά 156,1 τόνων οργανικού κλάσματος, (υπολειμμάτων τροφών και ποσότητα χαρτιού που περιέχονται στα ΑΣΑ και διαχωρίζονται στο τμήμα μηχανικής διαλογής και χειροδιαλογής) και 40 τόνων τεμαχισμένων φυτικών υπολειμμάτων (κλαδιά και χόρτα) που θα προσκομίζονται στην μονάδα καθημερινά.

Η διάταξη κομποστοποίησης διαθέτει:

- Αυτόματο - μηχανικό σύστημα ομοιόμορφης τροφοδοσίας και διανομής του υλικού στο μέτωπο φόρτωσης του υλικού.
- Αυτόματο - μηχανικό σύστημα προώθησης και ανάδευσης του υλικού μία φορά ανά ημέρα.
- Παραμονή του υλικού σε θερμοκρασίες της τάξης των 65°C για τουλάχιστον 2 εβδομάδες με στόχο την υγειονοποίηση του
- Μέγιστο επιτρεπόμενο ύψος σωρού υλικού 2.5 m.
- Σύστημα αυτόματης διαβροχής του υλικού τουλάχιστον κατά την τελευταία εβδομάδα με υγρό διαβροχής
- Σύστημα παραλαβής στραγγισμάτων από όλο το δάπεδο του σωρού του κομποστοποιούμενου υλικού
- Αυτόματο-μηχανικό σύστημα ελεγχόμενης εξαγωγής του υλικού.
- Δεν απαιτείται η παραμονή εργαζομένων εντός του χώρου του τμήματος για λειτουργικούς λόγους
- Η λειτουργία της μονάδας παρακολουθείται με σύστημα τηλεεπίβλεψης
- Οι διαστάσεις της δεξαμενής κομποστοποίησης είναι τέτοιες ώστε να επιτυγχάνεται χρόνος παραμονής 6 εβδομάδων, εκ των οποίων κατ' ελάχιστων οι τρεις σε συνθήκες ταχείας κομποστοποίησης με αερισμό και

ανάδευση προώθηση του υλικού, ενώ οι υπόλοιπες μόνο ανάδευσης προώθησης

Το τμήμα κομποστοποίησης αναπτύσσεται σε δύο (2) όμοιες γραμμές λειτουργίας. Οι γραμμές λειτουργίας της μονάδας εγκαθίστανται εντός ανεξάρτητων κτιρίων, πανταχόθεν κλειστών για αποφυγή διαρροής οσμών στο εξωτερικό περιβάλλον της μονάδας. Τα εν λόγω κτίρια χωροθετούνται στη δυτική πλευρά του τμήματος του οικοπέδου που αφορά στη μονάδα μηχανικής διαλογής και κομποστοποίησης, μετά το συγκρότημα κτιρίων υποδοχής και μηχανικής διαλογής - χειροδιαλογής και παραπλεύρως της εσωτερικής οδοποιίας της μονάδας. Μεταξύ των κτιρίων των γραμμών λειτουργίας του τμήματος κομποστοποίησης χωροθετούνται τα βιόφιλτρα απόσμησης του αέρα αναρρόφησης των εν λόγω κτιρίων.

Έκαστο εκ των κτιρίων του τμήματος κομποστοποίησης έχει συνολικό μήκος 35 m και πλάτος 72 m. Το μέγιστο ύψος του κτιρίου ανέρχεται στα 11 m. Το κτίριο φέρει μεταλλικά υποστυλώματα, πλευροκάλυψη και στέγη με περιμετρικό τοίχείο ύψους 1,5 m από οπλισμένο σκυρόδεμα. Εντός του κτιρίου υπάρχει δεξαμενή από σκυρόδεμα μήκους 22 m και πλάτους 67,2 m για την κομποστοποίηση του υλικού. Απέναντ της δεξαμενής κομποστοποίησης υπάρχει υπερυψωμένη πλάκα από σκυρόδεμα επί της οποίας εδράζεται ο ταινιόδρομος τροφοδοσίας και διανομής του προς κομποστοποίηση υλικού. Κατάντη της δεξαμενής κομποστοποίησης, επί του δαπέδου του κτιρίου εδράζεται ο ταινιόδρομος παραλαβής του κομποστοποιημένου υλικού προς τροφοδοσία του κατάντη τμήματος εξευγενισμού του compost.

Με φορητές συσκευές και από το διάδρομο πρόσβασης επί της γέφυρας λαμβάνονται οι απαραίτητες μετρήσεις για την εξέλιξη της κομποστοποίησης κατά το μήκος και πλάτος της δεξαμενής.

- *Τμήμα εξευγενισμού (Ραφιναρία)*

Το παραγόμενο compost μετά την επεξεργασία του στο τμήμα κομποστοποίησης-ωρίμανσης για συνολική χρονική περίοδο έξι (6) εβδομάδων οδηγείται προς ραφινάρισμα, που συνίσταται στο διαχωρισμό του compost από ξένες προσμίξεις (κυρίως γυαλί, σκληρά πλαστικά, χαλικάκι, film

πλαστικών), καθώς και από τα μη κομποστοποιούμενα οργανικά στερεά τα οποία και στην συνέχεια οδηγούνται προς τελική διάθεση στο παρακείμενο Χ.Υ.Τ.Υ.

Ο διαχωρισμός των υλικών με κριτήριο το μέγεθος γίνεται με διέλευση του compost από διάταξη κοσκίνισης, με χρήση δονητικού κόσκινου (τύπου f1ip-f1op). Κατόντη του σταδίου κοσκίνισης φέρεται διάταξη αεροδιαχωρισμού βαλλιστικού διαχωρισμού (βαρυμετρικές τράπεζες). Οι εν λόγω διατάξεις επιτυγχάνουν τον καθαρισμό του compost από τις ξένες προσμίξεις, με βάση το ειδικό βάρος (διαχωρισμός ελαφρών και βαρέων).

Μετά την επεξεργασία που υφίσταται στο τμήμα ραφιναρίας το compost οδηγείται σε ανοικτή πλατεία για την ωρίμανσή του.

Η λειτουργία της μονάδας ραφιναρίσματος εξασφαλίζει την παραγωγή compost υψηλής καθαρότητας (σε ποσοστό>99%), βέλτιστης εμφάνισης (άνευ διακριτών προσμίξεων) και επομένως μέγιστης εμπορευσιμότητας τελικού προϊόντος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

5.1 Γενικά

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται μια προσπάθεια προσέγγισης μιας μονάδας παραγωγής βιοαέριου ΑΧ στην Π.Ε Χανίων, σύμφωνα με τα στοιχεία της ΔΕΔΙΣΑ. Επίσης εξετάζεται μια πιθανή αύξηση των ΑΣΑ στην επόμενη δεκαετία λόγω της συνεχόμενης αύξησης του του πληθυσμού στην περιοχή αυτή. Στα επόμενα κεφάλαια γίνεται η ο σχεδιασμός της μονάδας αυτής, η κοστολόγηση της καθώς και η αποδοτικότητα της. Αρά το 1^ο σενάριο είναι η κατασκευή και η κοστολόγηση της μονάδας ΑΧ σύμφωνα με τα στοιχεία της ΔΕΔΙΣΑ και το 2^ο σενάριο είναι η κατασκευή και η κοστολόγηση της μονάδας με αυξημένο τον αριθμό των ΑΣΑ

5.2 Στοιχεία για την μελέτη σχεδιασμού της μονάδας ΑΧ και για την κοστολόγηση της

• Σενάριο 1

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήσαμε για την μελέτη σχεδιασμού της μονάδας της αναερόβιας χώνευσης αλλά και για κοστολόγηση της είναι τα επίσημα δεδομένα της ΔΕΔΙΣΑ. Τα δεδομένα είναι

	ΑΣΑ	Οργανικό κλάσμα	Ιλύς από επεξεργασία λυμάτων
Ποσότητα ανα χρόνο	55.000 tn	22.000 tn	7.000 tn
Ποσότητα ανα ημέρα	150,6 tn	60,3 tn	19,2 tn
Ειδικό Βάρος		600 kg/m ³	1.000 kg/m ³
Υγρασία		50%-60%	80%
Ημερήσιος όγκος		100,5 m ³	19,2 m ³
Λίτρα ιλύος ανα ημέρα			19.200 lt

Πίνακας 4 : Στοιχεία ΔΕΔΙΣΑ

Τέλος για την καλύτερη προσέγγιση της τεχνολογικής Μελέτης έχει θεωρηθεί επιτόκιο αναγωγής 4% η εκτιμώμενη διάρκεια ζωής για την παραπάνω μονάδα 20 χρόνια και οι ώρες λειτουργίας της μονάδας 8.300 ώρες ανά έτος.

• Σενάριο 2

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήσαμε για αυτό το σενάριο είναι τα ίδια για την επεξεργασμένη ιλύς ενώ για το οργανικό κλάσμα υπολογίζονται παρακάτω :

Κάνουμε την υπόθεση ότι έχουμε αύξηση στον ρυθμό παραγωγής των ΑΣΑ 0,5% ανά έτος

$$ΑΣΑ_x = (ΑΣΑ_{x-1} \times 0,5\%) + ΑΣΑ_{x-1}$$

Οπού :

Χ: τα έτη

Άρα :

ΕΤΗ	ΑΣΑ ανα έτος
1	55.000 tn
2	55.275 tn
3	55.551,375 tn
4	55.829,131 tn
5	56.108,276 tn
6	56.388,817 tn
7	56.670,761 tn
8	56.954,114 tn
9	57.238,884 tn
10	57.525,078 tn

Πίνακας 5:Ρυθμός αύξησης των ΑΣΑ

Αρά από τους παραπάνω υπολογισμούς προκύπτει ότι στα 10 χρόνια θα έχουμε 57.525 tn.

	ΑΣΑ	Οργανικό κλάσμα
Ποσότητα ανα χρόνο	57.525 tn.	23.010 tn
Ποσότητα ανα ημέρα	157,6 tn	63,04 tn

Πίνακας 6:Στοιχεία ΑΣΑ 2^ο σενάριου

Γνωρίζουμε ότι το 40% των ΑΣΑ είναι οργανικό κλάσμα και ανέρχεται σε 22.000 tn/yr για το σενάριο 1 και 23.010 tn/yr για το σενάριο 2 αντίστοιχα.

Στην συνέχεια της εργασίας μελετάτε η αποδοτικότητα της επένδυσής και για τα δύο σενάρια μέσω των κριτήριων αποδοτικότητας.

5.3 Κριτήρια αποδοτικότητας της επένδυσης

5.3.1 Καθαρή παρούσα αξία (NPV)

Από τον παρακάτω τύπο προκύπτει η καθαρή παρούσα αξία (NPV) της επένδυσης η οποία είναι η διαφορά της παρούσας αξίας του αθροίσματος των εξόδων μείον την παρούσα αξία των δαπανών και των εξόδων.

$$NPV = B_0 - C_0 = \sum_{j=0}^n \frac{B_j}{(1+r)^j} - \sum_{j=0}^n \frac{C_j}{(1+r)^j} \quad [2]$$

- Όταν η τιμή της $NPV > 0$ η επένδυση χαρακτηρίζεται ως οικονομικά βιώσιμη
- Όταν η τιμή της $NPV < 0$ τότε τα έργα πρέπει να απορρίπτονται

Έτσι λοιπόν, όσο πιο υψηλή είναι η τιμή της NPV τόσο πιο αποδοτική είναι η επένδυση. Ο δείκτης της NPV είναι σημαντικός για την κατάσταση διαφόρων λύσεων κατά σειρά οικονομικής βιωσιμότητας

5.4 Εσωτερικός ρυθμός απόδοσης (IRR)

Ο λόγος των εσοδών προς τα έξοδα και της NPV είναι ένα από τα κριτήρια στο οποίο τα μεγέθη προκειμένου να είναι συγκρίσιμα ανάγονται στην παρούσα αξία τους. Στην αναγωγή αυτή σημαντικό ρόλο κατέχει η τιμή του επιτοκίου η οποία τιμή αυτή είναι αντιστρόφως ανάλογη από την τιμή του BCR

και της NPV. Συνεπώς, όσο αυξάνεται η τιμή του επιτοκίου τόσο και πιο πιθανό να είναι, η επένδυση να χαρακτηριστεί μη οικονομικά βιώσιμη. Η τιμή του IRR στην οποία η τιμή της NPV είναι μηδενική ονομάζεται εσωτερική απόδοση μιας επένδυσης. Η τιμή του επιτόκιο IRR είναι το κριτήριο του πιθανού κινδύνου να διαφοροποιηθεί η οικονομική βιωσιμότητα ενός έργου λόγω μεταβολής των επιτοκίων.

- Όταν $IRR > k_{min}$ τότε η επένδυση χαρακτηρίζεται ως οικονομικά βιώσιμη
- Όταν $IRR < k_{min}$ τότε η επένδυση χαρακτηρίζεται ως μη οικονομικά βιώσιμη

Όπου k_{min} η ελάχιστη απαιτούμενη απόδοση των κεφαλαίων του επενδυτή

5.5 Payback period

Το payback period εκφράζει το σύνολο των ετών που χρειάζονται ώστε τα προσδοκώμενα καθαρά έσοδα (έσοδα μείον τα λειτουργικά έξοδα) να αποπληρώσουν το πόσο που δαπανήθηκε για την επένδυση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΜΟΝΑΔΑ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ

6.1 Εισαγωγική περιγραφή της προτεινόμενης μονάδας αναερόβιας χώνευσης

Οι μονάδες αναερόβιας χώνευσης ολοένα και αυξάνονται ανά τον κόσμο, με σκοπό την καλύτερη διαχείριση των απορριμμάτων και το σημαντικότερο, την παραγωγή ενέργειας μέσω της εκμετάλλευσής τους. Οι μονάδες αυτές είναι σύνθετες μονάδες αποτελούμενες από μία ποικιλία κύριων στοιχείων. Η κάθε μονάδα αναερόβιας χώνευσης εξαρτάται από τον τύπο και την ποσότητα της πρώτης ύλης που είναι έτοιμη για χώνευση. Επίσης ανάλογα με τον τύπο, το

μέγεθος και τις συνθήκες λειτουργίας κάθε εγκατάστασης αναερόβιας χώνευσης, είναι δυνατόν να εφαρμοστούν διάφορες τεχνολογίες για τη βελτίωση την αποθήκευση και την χρήση του βιοαερίου.

Τα τελευταία χρόνια βλέπουμε ότι χρησιμοποιούνται μονάδες αναερόβιας χώνευσης για την επεξεργασία του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ. Η αναερόβια επεξεργασία του οργανικού αυτού κλάσματος, γίνεται κατά κύριο λόγο σε αντιδραστήρες με ελεγχόμενες συνθήκες έχοντας ως στόχο την παραγωγή του μεθανίου αλλά και την μείωση του όγκου των αστικών στερεών απορριμμάτων.

Η προτεινόμενη εγκατάσταση μιας τέτοιας μονάδας διαχείρισης του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ και της ιλύος βιολογικού καθαρισμού στην περιοχή των Χανίων περιλαμβάνει τα ακόλουθα σημαντικά στάδια:

- Μονάδα υποδοχής και μηχανική προεπεξεργασία των ΑΣΑ
- Συστήματα διαχωρισμού και βελτιστοποίησης του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ
- Αποθήκευση οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ καθώς και συγχώνευση με την ιλύς που προέρχεται από τον βιολογικό καθαρισμό
- Δίκτυο τροφοδοσίας και μεταφοράς στον αντιδραστήρα
- Μονάδα αναερόβιας χώνευσης
- Σύστημα καθαρισμού και ξήρανσης του παραγόμενου βιοαερίου πριν την αποθήκευση του σε δεξαμενές
- Μονάδα συμπαράγωγής Ηλεκτρισμού θερμότητας
- Μονάδα ωρίμανσης χωνεμένης ύλης προς παραγωγή καλής ποιότητας κομπόστ

Η πρόταση που γίνεται στη συνέχεια της εργασίας αναφέρεται στην εγκατάσταση μιας μονάδας διαχείρισης του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ και της επεξεργασμένης ιλύος στην περιοχή των Χανίων σύμφωνα με τα στοιχεία της ΔΕΔΙΣΑ. Στην περίπτωση αυτή η ΔΕΔΙΣΑ διαθέτει μονάδα υποδοχής και μονάδα μηχανικής προεπεξεργασίας των αστικών απορριμμάτων καθώς επίσης και μονάδα κομποστοποίησης. Όμως στην παρούσα διπλωματική εργασία θα συμπεριληφθούν οι παραπάνω μονάδες με σκοπό να έχουμε ένα πλήρες πλάνο για την διαχείριση του οργανικού κλάσματος και της ιλύος.

6.2 Η τεχνολογία Valorga

Η τεχνολογία Valorga αναπτύχθηκε αρχικά στη Γαλλία και αργότερα από την εταιρία Steinmuller Valorga Sarl, θυγατρική της γερμανικής εταιρείας Steinmuller Rompf Wassertechnik GmbH. Η διαδικασία σχεδιάστηκε αρχικά για την επεξεργασία οργανικών MSW και αργότερα προσαρμόστηκε στην επεξεργασία των μικτών ΑΣΑ, των βιολογικών αποβλήτων (οικιακά απόβλητα που διαχωρίζονται από την πηγή) και των γκρίζων αποβλήτων (οργανικό υπολειμματικό κλάσμα μετά τη συλλογή βιολογικών αποβλήτων) (The Anaerobic Digestion and the Valorga Process, Jan, 1999). Η μονάδα επεξεργασίας Valorga αποτελείται ουσιαστικά από έξι μονάδες: μονάδα λήψης και προετοιμασίας αποβλήτων, αναερόβια χώνεψη, επεξεργασία κομποστοποίησης, χρήση βιοαερίου, επεξεργασία αέρα και μια προαιρετική μονάδα επεξεργασίας νερού (όταν τα λύματα δεν υποβάλλονται σε επεξεργασία σε δημοτική μονάδα επεξεργασίας νερού). Η μονάδα υποδοχής έχει μια κλίμακα ζύγισης των φορτηγών που φέρνουν τα οργανικά υλικά. Τα απόβλητα εκφορτώνονται σε κλειστό λάκκο εξοπλισμένο με σύστημα συλλογής βρώμικου αέρα. Το υλικό τροφοδοσίας διέρχεται από ένα ηλεκτρομηχανικό σύστημα, σχεδιασμένο σύμφωνα με τα προς επεξεργασία απόβλητα, το οποίο περιλαμβάνει εξοπλισμό ανοίγματος και μείωσης μεγέθους πλαστικής σακούλας. Στη συνέχεια τα απόβλητα μεταφέρονται και τροφοδοτούνται συνεχώς στη μονάδα αναερόβιας χώνεψης. Στη μονάδα αναερόβιας χώνεψης, τα απόβλητα αναμιννύονται με επανακυκλοφορούν

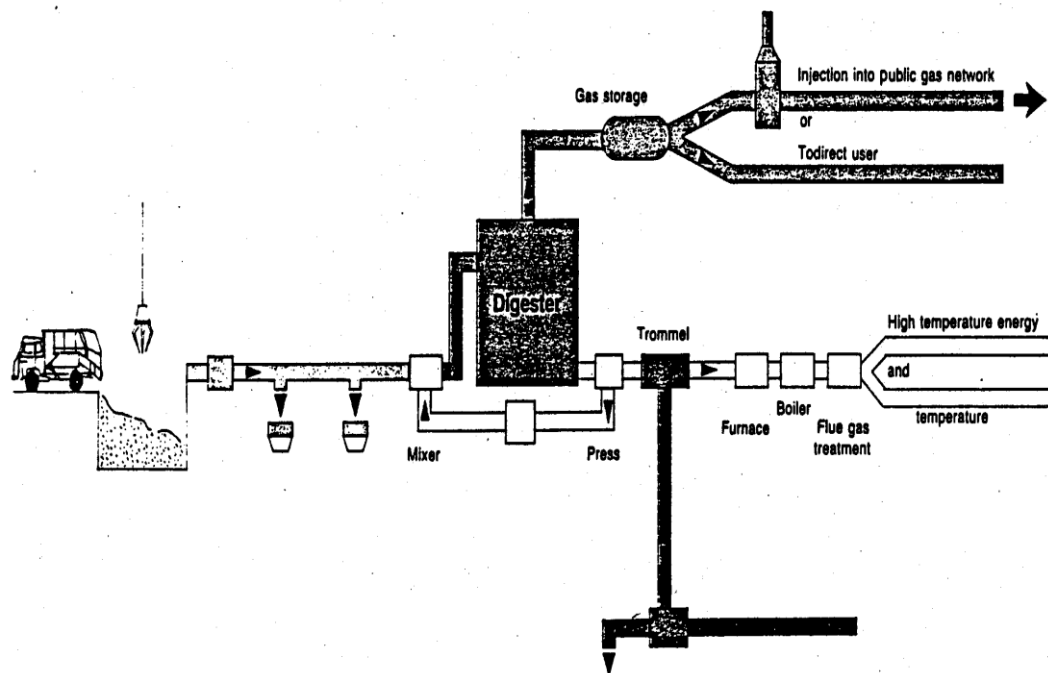
εκπλύματα σε μια παχιά λάσπη περίπου 20-35% περιεκτικότητα σε στερεά, ανάλογα με τον τύπο των αποβλήτων. Επομένως, η απαίτηση νερού είναι ελάχιστη. Ο χωνευτής λειτουργεί είτε στη μεσοφιλική περιοχή, είτε στη θερμοφιλική περιοχή. Οι χωνευτές Valorga είναι κάθετοι κύλινδροι σκυροδέματος ύψους περίπου 20 μέτρων και εσωτερικής διαμέτρου 10 μέτρων. Είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να διατηρούν τη ροή του βύσματος μέσω του αντιδραστήρα. Είναι εξοπλισμένα με ένα κατακόρυφο διαμέρισμα στο κέντρο που εκτείνεται πάνω από τα $\frac{2}{3}$ της διαμέτρου και σε όλο το ύψος του αντιδραστήρα. Αυτό το εσωτερικό διαμέρισμα ελαχιστοποιεί την εμπλοκή του ιζήματος ή της λασπώδους ύλης και εξασφαλίζει τη ροή τσε ολόκληρο τον όγκο του αντιδραστήρα. Τα στόμια για την εισαγωγή τροφοδοσίας και την αφαίρεση της χωνεμένης ύλης βρίσκονται αμφότερα στις δύο πλευρές του εσωτερικού τοιχώματος. Η ανάμιξη του υλικού ζύμωσης επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός πνευματικού συστήματος. Το βιοαέριο σε υψηλή πίεση εγχύεται μέσω στομιών στο κάτω μέρος του αντιδραστήρα και η ενέργεια των ανερχόμενων φυσαλίδων χρησιμεύει για την ανάμιξη της ιλύος. Δεν υπάρχουν μηχανικά εξαρτήματα και η συντήρηση συνίσταται στον περιοδικό καθαρισμό των ακροφυσίων στο κάτω μέρος του χωνευτήρα. Το χωνευμένο υλικό που εξέρχεται από τον αντιδραστήρα περνά από μια πρέσα φίλτρου που διαχωρίζει το υλικό λιπασματοποίησης από το διάλυμα έκπλυσης. Η έκπλυση επαναχρησιμοποιείται για την αραίωση των εισερχόμενων αποβλήτων και οποιαδήποτε περίσσεια μεταφέρεται στη μονάδα επεξεργασίας νερού ή στο δημοτικό δίκτυο αποχέτευσης. Το κέικ φίλτρου μεταφέρεται σε σωρούς λιπασματοποίησης όπου υποβάλλεται σε σκλήρυνση σε κλειστό κτίριο για περίπου δύο εβδομάδες. Οι πέτρες και άλλα αδρανή υλικά αφαιρούνται. Το προϊόν λιπασματοποίησης θεωρείται υψηλής ποιότητας και πωλείται ως χώμα. Το παραγόμενο βιοαέριο χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ατμού ή τροφοδοτείται στο δίκτυο φυσικού αερίου της πόλης. Τα βιολογικά φίλτρα και οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού εξασφαλίζουν ότι τα εργοστάσια Valorga ελέγχουν όλες τις εκπομπές αέρα και νερού και πληρούν τους τοπικούς κανονισμούς. Η Valorga λειτουργεί εγκαταστάσεις που επεξεργάζονται μια ποικιλία αποβλήτων, αλλά κυρίως το οργανικό κλάσμα των ΑΣΑ. Το παραγόμενο λίπασμα χρησιμοποιείται σε γεωργικές

εφαρμογές και το βιοαέριο χρησιμοποιείται για την παροχή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας. Το σύστημα Valorga είναι αρκετά διαφορετικό στο ότι η οριζόντια ροή βύσματος είναι κυκλική σε έναν κυλινδρικό αντιδραστήρα και η ανάμιξη πραγματοποιείται μέσω έγχυσης βιοαερίου σε υψηλή πίεση στο κάτω μέρος του αντιδραστήρα κάθε 15 λεπτά μέσω ενός δικτύου εγχυτήρων (Fruteau de Laclos et al., 1997). Αυτός ο κομψός τρόπος πνευματικής ανάμιξης φαίνεται να λειτουργεί πολύ ικανοποιητικά, καθώς τα απόβλητα που έχουν υποστεί πέψη που εξέρχονται από τον αντιδραστήρα δεν χρειάζεται να κυκλοφορούν ξανά για να αραιώσουν τα εισερχόμενα απόβλητα. Ένα τεχνικό μειονέκτημα αυτού του σχεδιασμού ανάμιξης είναι ότι οι θύρες ψεκασμού αερίου γίνονται φραγμένες και η συντήρηση αυτών είναι προφανώς δυσκίνητη. Όπως και στη διαδικασία Kompogas, το νερό διεργασίας επανακυκλοφορεί προκειμένου να επιτευχθεί ένα στερεό περιεχόμενο 30% TS μέσα στον αντιδραστήρα. Ο σχεδιασμός Valorga είναι ακατάλληλος για σχετικά υγρά απόβλητα, καθώς η καθίζηση βαρέων σωματιδίων μέσα στον αντιδραστήρα πραγματοποιείται σε στερεά περιεχόμενα κάτω από 20% TS. Λόγω μηχανικών περιορισμών, ο όγκος του αντιδραστήρα Kompogas είναι σταθερός και η χωρητικότητα του εργοστασίου προσαρμόζεται δημιουργώντας παράλληλα πολλούς αντιδραστήρες, καθένας με ικανότητα επεξεργασίας είτε 15.000 είτε 25.000 τόνων / έτος (Thurm and Schmid, 1999). Από την άλλη πλευρά, ο όγκος των αντιδραστήρων Dranco και Valorga μπορεί να ρυθμιστεί σε συνάρτηση με την απαιτούμενη χωρητικότητα, αν και δεν έχουν κατασκευαστεί να υπερβαίνουν τα 3300 m³ και το ύψος των 25 m. Η Valorga διαθέτει τουλάχιστον 13 εγκαταστάσεις η στην Ευρώπη από το 2003. Οι πρώτες ύλες περιλαμβάνουν κυρίως αστικά στερεά απόβλητα και βιολογικά απόβλητα. Η βασική διάταξη των φυτών Valorga παρέμεινε σχεδόν ίδια από τα μέσα της δεκαετίας του 1990. Ο αντιδραστήρας χώνευσης είναι χτισμένος σε σκυρόδεμα και αναμιγνύεται κατά διαστήματα με προσθήκη συμπιεσμένου βιοαερίου. Το σχήμα 18 παρακάτω απεικονίζει την εγκατάσταση αναερόβιας χώνευσης της Γενεύης. Τα περισσότερα από τα συστήματα της Valorga λειτουργούν σε μεσοφιλικές θερμοκρασίες σε αντίθεση με τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα θερμοφιλά. Λόγω των λειτουργικών χαρακτηριστικών της Γενεύης, η περιεκτικότητα σε βιοαέριο σε

μεθάνιο είναι χαμηλότερη σε σύγκριση με ορισμένες άλλες διεργασίες. Η μέση περιεκτικότητα σε μεθάνιο του βιοαερίου είναι περίπου 55% όταν το σύστημα λειτουργεί σε μεσοφιλικές θερμοκρασίες. Η διαδικασία έχει ελαφρώς υψηλότερη περιεκτικότητα σε μεθάνιο όταν λειτουργεί υπό θερμοφιλικές συνθήκες.

6.2.1 Παρουσίαση της επιλεγόμενης μεθόδου αναερόβιας χώνευσης (Διαδικασία Valorga)

Το 1980, το γραφείο μηχανικού σχεδιασμού της CARENE (ένωση κοινοτήτων της Περιφέρειας Loire-Atlantique) ανέλαβε ένα έργο για τον προσδιορισμό της δυνατότητας χρησιμοποίησης της πίεσης ενός μέρους του βιοαερίου που παράγεται μέσω ζύμωσης στη διαδικασία ανάμιξης του υποστρώματος στο σύστημα χώνευσης. Αυτή η ιδέα είχε προταθεί από τον καθηγητή Ducellier, έναν από τους πρωτοπόρους στο τομέα της μεθανοποίησης στη Γαλλία. Σε συνεργασία με τον καθηγητή Pavia, Διευθυντή του Laboratoire de Chimie Appliquee de L'Universite des Science et Technoques du Languedoc στο Montpellier, η CARENE απέδειξε, σε πιλοτική κλίμακα, ότι ένα υπόστρωμα με συγκέντρωση στερεών έως και 35 τοις εκατό θα μπορούσε αποτελεσματικά να μεθανοποιηθεί. Δεδομένου ότι η δομή του οργανισμού CARENE δεν ήταν κατάλληλη για να ανάγει το έργο σε βιομηχανική κλίμακα, το 1981 συστήνεται η εταιρεία Valorga. Η επιτυχής ολοκλήρωση ενός διετούς προγράμματος έρευνας και ανάπτυξης είχε ως αποτέλεσμα την εφαρμογή σε βιομηχανική κλίμακα της διαδικασίας μεθανοποίησης της Valorga στο La Buisse. Το 1984 τέθηκαν αρχικά σε λειτουργία ένα εργοστάσιο κομποστοποίησης, μεθανοποίησης και διύλισης, ενώ προστέθηκε και μια μονάδα καύσης το 1987. Το La Buisse λειτουργεί 6 ώρες την ημέρα, 260 ημέρες ετησίως, επεξεργάζοντας 66 TPD (60 tpd) MSW, ή 1,6600 TPY (1 6,000 tpy). Μια επισκόπηση της διαδικασίας Valorga παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχεδιάγραμμα (εικόνα 1).

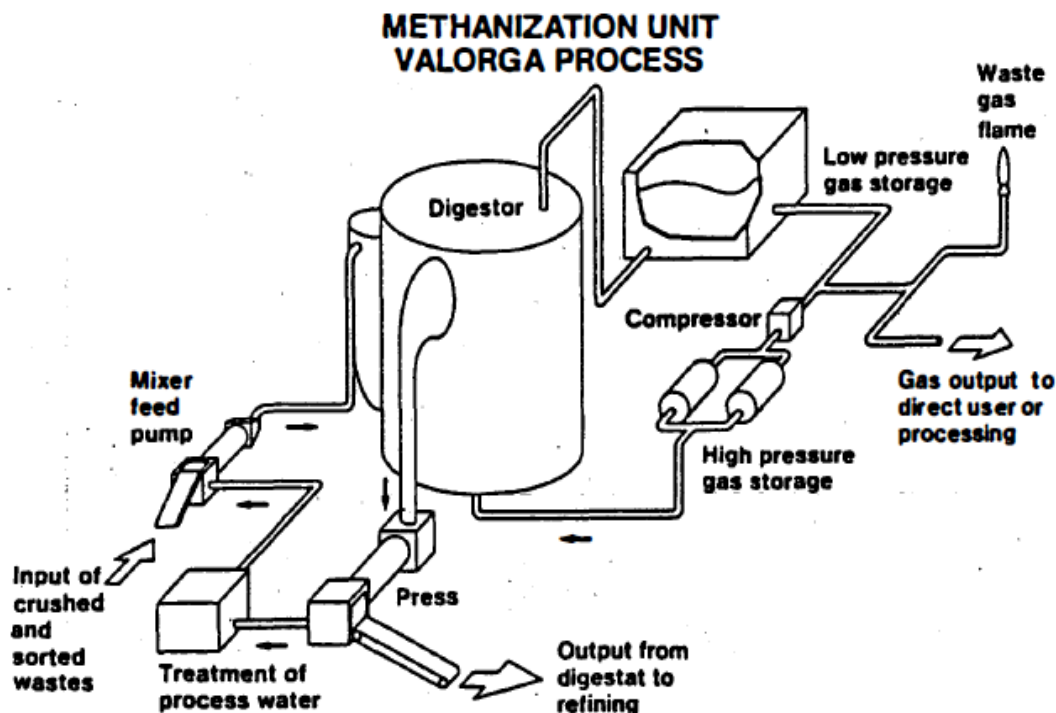


Εικόνα 2: Η διαδικασία Valorga,
(πηγή:<http://www.valorgainternational.fr/en/pag1-HISTORIQUE.html>)

Το σύστημα αποτελείται συνολικά από τα εξής στάδια:

Προετοιμασία, διύλιση, καύση και επεξεργασία αερίου. Τα απόβλητα που παραδίδονται στο εργοστάσιο απορρίπτονται σε ένα λάκκο παραλαβής / αποθήκευσης, από το οποίο τροφοδοτείται στο σύστημα παρασκευής μέσω μιας λαβής. Μετά τον τεμαχισμό, τα σιδηρούχα μέταλλα αφαιρούνται μαγνητικά για ανακύκλωση. Στη συνέχεια, τα απόβλητα περνούν από τρεις ιμάντες περιστροφής, ο καθένας με διαφορετικό μέγεθος οπών., μεγέθους 6 mm, 50 mm και 200 mm. Απόβλητα μεγαλύτερα από 200 mm διοχετεύονταν σε χωματερές.

Το υλικό ωθείται μέσω του χωνευτήρα από το εισερχόμενο υλικό και από πεπιεσμένο αέριο που κυκλοφορεί μέσω του χωνευτήρα. Η διαδικασία χώνεψης απεικονίζεται στη παρακάτω εικόνα (εικόνα 2).



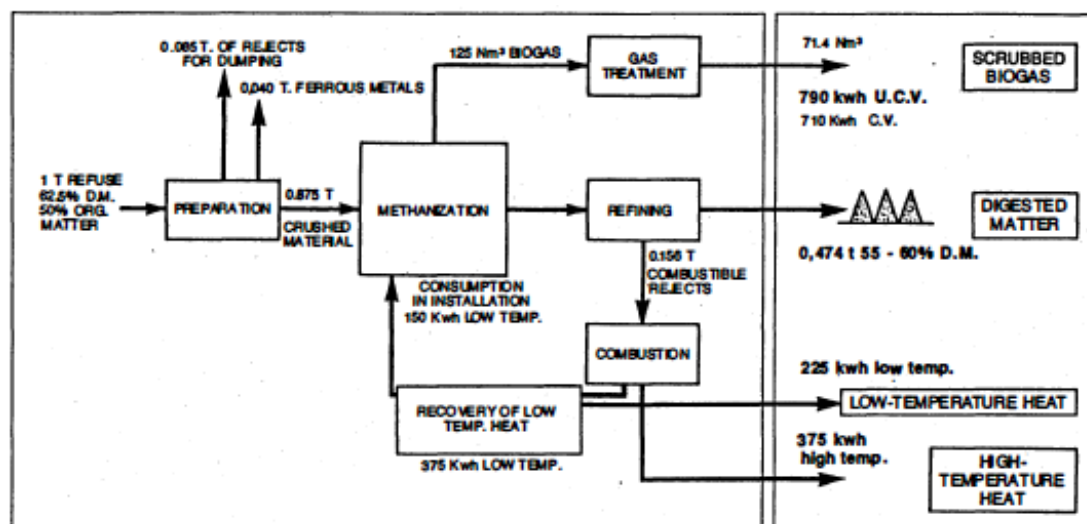
Εικόνα 3: Μεθανοποίηση με τη διαδικασία Valorga, (Πηγή: Bonhome et al., 1988)

Ο πολτός που τροφοδοτείται στο χωνευτήριο παραμένει στη δεξαμενή για 15 ημέρες υπό μεσοφιλικές συνθήκες (37C), ή για 8 ημέρες υπό θερμοφίλες συνθήκες (55C). Μετά την πέψη, το προϊόν πέψης αφυδατώνεται με τη χρήση πίεσης έως ότου τα ξηρά στερεά αυξηθούν από 30 σε 60 τοις εκατό. Το προϊόν πέψης διασπάται και κοσκινίζεται μέσω οπών πλέγματος διάστασης 10 mm. Το τελικό προϊόν πέψης που προκύπτει αποτελείται από οργανική ύλη με υψηλή περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά (άζωτο, φώσφορο, κάλιο) και πωλείται ως λίπασμα. Το παραγόμενο βιοαέριο περιέχει 60 έως 65 τοις εκατό μεθάνιο, 35 έως 40 τοις εκατό διοξείδιο του άνθρακα και είναι κορεσμένο με νερό. Η μέγιστη τιμή θέρμανσης του κυμαίνεται από 625 έως 675 Btu / lb. Το αέριο πωλείται είτε σε ένα γειτονικό εργοστάσιο είτε μπορεί να κατευθυνθεί στο κύριο δίκτυο εφοδιασμού της Gaz de France., μέσω ενός ρυθμιστικού βρόχου που ελέγχεται από ένα εξειδικευμένο σύστημα μέτρησης. Η μέση παραγωγή βιοαερίου, που πωλήθηκε χωρίς επεξεργασία από την Gaz de France, αναφέρεται σε περίπου 4.500 cf / T (140 m³/t) υλικού που τροφοδοτείται στο χωνευτήριο. Τυχόν καύσιμα που απορρίφθηκαν μετά τη διαλογή που έπεται της διαδικασίας χώνεψης συνδυάζονται με το

απορριμματογενές ανακτώμενο στερεό καύσιμο (RDF) και τροφοδοτούνται σε πυρολυτικό καυστήρα που παράγει χαμηλής θερμοκρασίας θερμότητα η οποία χρησιμοποιείται για να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες της εγκατάστασης. Η πλεονάζουσα ενέργεια πωλείται σε άλλους χρήστες θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας. Τα χαρακτηριστικά της διαδικασίας Valorga αναφέρονται ως εξής:

- Δυνατότητα μεθανοποίησης υποστρωμάτων με υψηλή περιεκτικότητα σε στερεά (35 τοις εκατό), αποδίδοντας χωνεμένη ιλυ περιεκτικότητας περίπου 28% ξηρή ύλη
- Συνεχής τροφοδοσία του συστήματος χώνεψης
- Κυλινδρικού σχεδιασμού δεξαμενή με ένα τοίχωμα διαχωρισμού εισόδου εξόδου
- Πνευματική ανάμιξη χωρίς εσωτερικά μηχανικά εξαρτήματα
- Προσαρμοστικότητα στη μεθανοποίηση (π.χ. οικιακά απορρίμματα συν λασπώδης μάζα λυμάτων συν λασπώδης μάζα αποστακτήρων, οικιακά απορρίμματα συν κοπριά)

Μέση ετήσια παραγωγή για 1 τόνο οικιακών απορριμμάτων και υποπροϊόντα



Εικόνα 4: Ισορροπία ύλης και ενέργειας στη διαδικασία Valorga, (πηγή: <http://www.valorgainternational.fr/fr/mpg3-128079--LE-PROCEDE-DE-ETHANISATION-VALORGA.html>)



Εικόνα 5: Εγκατάσταση του συστήματος Valorga στη Γενεύη, (πηγή: <http://www.valorgainternational.fr/en/pag1-HISTORIQUE.html>)

6.2.2. Αποδοτικότητα της Valogra

Στην Ευρώπη έως σήμερα χρησιμοποιούνται τέσσερις σημαντικές ξηρές διαδικασίες ενός σταδίου. Αυτές οι διεργασίες διακρίνονται μεταξύ τους με τη μέθοδο θέρμανσης, τη μέθοδο ροής υλικού και τη μέθοδο ανάμιξης. Η θέρμανση γίνεται με έγχυση ατμού ή εναλλάκτη θερμότητας. Οι διαδικασίες αυτές εφαρμόζουν οριζόντια ροή, κατακόρυφη, καθοδική ή ανοδική ροή. Η ανάμιξη επιτυγχάνεται με την ανακύκλωση, την ακτινική ανάμιξη, την εγκάρσια ανάμειξη ή την πλήρη ανάμιξη με έγχυση αερίου. Ωστόσο, αυτές οι ξηρές

διεργασίες ενός σταδίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν με συγκεντρώσεις 28% -35% TS.

Δεδομένης της συνάφειας της αναστολής της ακετογένεσης και της μεθανογένεσης στα «υγρά» συστήματα ενός σταδίου που συζητήθηκαν στην προηγούμενη ενότητα, ακόμη και μεγαλύτερα προβλήματα αναστολής ενδέχεται να αναμένονται στα «ξηρά» σχέδια καθώς δεν προστίθεται φρέσκο νερό αραίωσης. Ο υψηλός οργανικός ρυθμός φόρτωσης OLR που επιτυγχάνεται τόσο σε εφαρμογές πάγκου όσο και σε πλήρη κλίμακα εφαρμογών ενός σταδίου «στεγνού» συστήματος δείχνει ωστόσο ότι τα «στεγνά» συστήματα δεν είναι πιο ευαίσθητα στην αναστολή από τα «υγρά» συστήματα. Στην πραγματικότητα, τα «ξηρά» συστήματα μπορούν να διατηρήσουν τουλάχιστον τόσο υψηλό OLR όσο και τα «βρεγμένα» συστήματα, χωρίς να υποστούν αναστολή. Η ανθεκτικότητα των «ξηρών» συστημάτων προς αναστολή τεκμηριώθηκε από τους Oleszkiewicz και Roggi-Varaldo (1997), αλλά απαιτείται περαιτέρω έρευνα σε αυτόν τον τομέα. Οι Six και De Baere (1992) ανέφεραν ότι δεν σημειώθηκε αναστολή αμμωνίου στη θερμοφιλική διαδικασία Dranco για απόβλητα με αναλογίες C / N μεγαλύτερες από 20. Η ίδια τιμή κατωφλίου σημειώθηκε από τον Weiland (1992) για τα μεσοφιλικά «υγρά» συστήματα, παρόλο που Το τελευταίο σύστημα θα πρέπει να αποδίδει πολύ λιγότερο από το τοξικό είδος NH₃ (υποθέτοντας ίση έκταση αμμωνιοποίησης). Οι τιμές κατωφλίου για αναστολή αμμωνίου μπορούν επίσης να εκφραστούν ως συγκέντρωση αμμωνίου εντός του αναερόβιου αντιδραστήρα. Η διαδικασία Valorga που λειτουργεί στους 40 ° C διατηρεί υψηλή OLR σε συγκέντρωση αμμωνίου έως 3 g/l (Fruteau de Laclos et al., 1997), ενώ η διαδικασία Dranco που εκτελείται στους 52 ° C παραμένει σταθερή για συγκεντρώσεις αμμωνίου έως και 2,5 g/l. Δεδομένου ότι αυτές οι τιμές κατωφλίου δεν φαίνονται πολύ υψηλότερες από αυτές που συνήθως αναφέρονται για συστήματα «υγρού» (αν και αυτές είναι πολύ διαφορετικές).

6.3 Προτεινόμενη μονάδα υποδοχής και μηχανικής προεπεξεργασίας των ΑΣΑ

Αρχικά τα ΑΣΑ φτάνουν στη μονάδα υποδοχής όπου ζυγίζονται, ελέγχονται και αποθηκεύονται στις ειδικά διαμορφωμένες δεξαμενές αποθήκευσης μέχρι να καταλήξουν στη χοάνη τροφοδοσίας της μηχανικής επεξεργασίας.

Τα αστικά στερεά απορρίμματα χωρίζονται μέσω χειροδιαλογής και δημιουργούνται τρία βασικά ρεύματα. Το πρώτο ρεύμα είναι το ρεύμα των οικιακών το δεύτερο είναι το ρεύμα των πράσινων και το τρίτο είναι το ρεύμα των ανεπιθύμητων υλικών. Αφού γίνει αυτός ο διαχωρισμός τα τρία διαφορετικά ρεύματα τοποθετούνται σε διαφορετικούς αποθηκευτικούς χώρους. Τα οικιακά απόβλητα χωρίζονται σε δύο ρεύματα με τη βοήθεια ενός περιστρεφόμενου κυλινδρικού τυμπάνου με οπές διαμέτρου 80mm. Το πρώτο ρεύμα που δημιουργείται, είναι ένα υγρό κλάσμα το οποίο μπορεί να περάσει από τις οπές του τυμπάνου και είναι κατά κύριο λόγο το οργανικό κλάσμα από τα οικιακά απορρίμματα, περίπου της τάξης του 90%. Το δεύτερο ρεύμα το οποίο δεν περνάει από τις οπές αλλά βγαίνει από την άκρη του τυμπάνου, περιέχει κυρίως χαρτί, γυαλί, ξύλο και υφάσματα

Έπειτα και τα δύο αυτά ρεύματα διέρχονται από έναν μαγνητικό διαχωριστή και ένα διαχωριστή δινορρευσμάτων. Μέσω της παραπάνω διαδικασίας διαχωρισμού επιτυγχάνεται η ανάκτηση σιδηρούχων και μη σιδηρούχων μετάλλων. Το ελαφρύ κλάσμα αναμειγνύεται με το πράσινο κλάσμα και με την ιλύς βιολογικού καθαρισμού. Το βαρύ κλάσμα δηλαδή τα ανεπιθύμητα υλικά θα τεμαχιστούν και θα πάνε για αποθήκευση ώστε να γίνει η επεξεργασία τους για μετέπειτα διαδικασίες όπως η ανακύκλωση.

Τέλος το οργανικό και το πράσινο κλάσμα καθώς και η επεξεργασμένη ιλύς ομογενοποιούνται και προορίζονται για το χωνευτήρα

6.4 Αποθήκευση της πρώτης ύλης

Η αποθήκευση της πρώτης ύλης είναι πολύ σημαντική γιατί αντισταθμίζει τις εποχιακές διακυμάνσεις του ανεφοδιασμού της. Επιπλέον διευκολύνει την ανάμειξη των υποστρωμάτων. Ο τύπος των εγκαταστάσεων αποθήκευσης εξαρτάται από την πρώτη ύλη. Οι σημαντικότεροι τύποι αποθήκευσης είναι η

αποθήκευση τύπου σιλό για στερεά απόβλητα και η αποθήκευση σε δεξαμενές για υγρή πρώτη ύλη. Οι αποθήκες τύπου σιλό έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν την πρώτη ύλη για μεγάλο χρονικό διάστημα, περίπου ενός έτους, ενώ οι δεξαμενές αποθήκευσης υγρής ύλης έχουν την ικανότητα να την αποθηκεύουν για αρκετές ημέρες. Οι διαστάσεις για τον κάθε αποθηκευτικό χώρο καθορίζονται από την ποσότητα της πρώτης ύλης.

Στην προτεινόμενη μονάδα υπάρχει χώρος αποθήκευσης για το οργανικό κλάσμα των ΑΣΑ αλλά δεν υπάρχει χώρος αποθήκευσης της ιλύος. Η ιλύς ως αντλήσιμη πρώτη ύλη με 80% υγρασία θα αποθηκευτεί σε μία σφραγισμένη δεξαμενή η οποία θα είναι κατασκευασμένη από ανοξείδωτο μέταλλο. Ο υπολογισμός του όγκου της δεξαμενής υπολογίστηκε με βάση το ειδικό βάρος της ιλύος σε συνδυασμό με την καθημερινή ποσότητα της.

Η ποσότητα της ιλύος ανέρχεται στους 7.000t/yr. Άρα η ποσότητα της ανά μέρα, είναι 19,2 τόνους. Γνωρίζουμε ότι το ειδικό βάρος της ύλης είναι 1.000lt/m^3 άρα έχουμε 19200lt/d οπότε $19,2\text{ m}^3$ ανά ημέρα. Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία ο όγκος της δεξαμενής θα είναι 20m^3 και το κόστος του ανοξείδωτου μετάλλου είναι 0,20€/Lt

6.5 Σύστημα τροφοδοσίας πρώτης ύλης

Έπειτα από την μηχανική επεξεργασία των ΑΣΑ έχοντας δημιουργήσει το οργανικό κλάσμα και μετά την αποθήκευση της επεξεργασμένης ιλύος στην δεξαμενή που κατασκευάσαμε και οι δύο ύλες τροφοδοτούνται στον χωνευτήρα. Η ιλύς ως αντλήσιμη πρώτη ύλη, μεταφέρεται από τη δεξαμενή αποθήκευσης στο χωνευτήρα μέσω φυγοκεντρικών αντλιών. Οι αντλίες αυτές χρησιμοποιούνται συνήθως για να μπορεί να υπάρξει κίνηση των υγρών μέσα στο σύστημα των σωληνώσεων και για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται πιο συχνά για υγρή ύλη.

Το οργανικό κλάσμα μπορεί να μεταφερθεί και μέσω αντλιών μετατόπισης πίεσης στο χωνευτήρα καθώς έχει ψηλό περιεχόμενο σε ξηρή ουσία. Οι

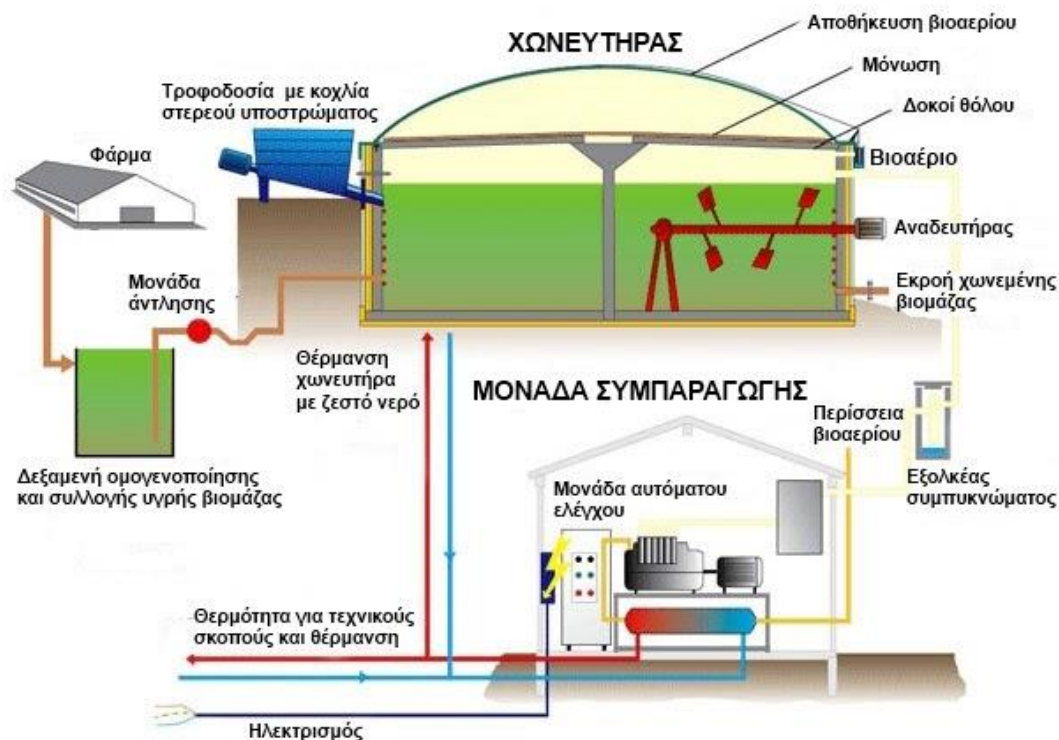
αντλίες μετατόπισης αναρροφούν από μόνες τους και είναι περισσότερο ευσταθείς ως προς την πίεση από ότι οι φυγοκεντρικές αντλίες που χρησιμοποιήθηκαν για την υγρή ύλη. Επιπλέον οι αντλίες μετατόπισης είναι επιρρεπείς σε προβλήματα για αυτό το λόγο πρέπει να εξοπλιστούν με κόπτες και διαχωριστές προκειμένου αυτά να αποφεύγονται .

6.6 Αναερόβια χώνευση οργανικού κλάσματος και επεξεργασμένης ιλύος

Πριν ξεκινήσει η αναερόβια χώνευση του οργανικού κλάσματος και της επεξεργασμένης ιλύος πρέπει πρώτα το υπόστρωμα να ομογενοποιηθεί. Θα μπορούσαμε να κατασκευάσουμε μία ακόμη δεξαμενή όπου θα γινόταν η συγχώνευση της ιλύος με το οργανικό κλάσμα πριν μπουν στο χωνευτή ώστε να έχουμε καλύτερα αποτελέσματα στη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης. Η δεξαμενή αυτή δεν χρειάζεται μεγάλη συντήρηση, θέλει όμως κατά κύριο λόγο τη συχνή αφαίρεση των ιζηματικών στρωμάτων εφόσον το οργανικό κλάσμα δεν έχει καθαριστεί από τα βαριά αντικείμενα. Επίσης απαιτείται η ύπαρξη ενός μηχανικού συστήματος ανάδευσης ώστε να γίνεται καλύτερα η ομογενοποίηση της πρώτης ύλης. Η δεξαμενή αυτή θα είναι κατασκευασμένη από ανοξείδωτο μέταλλο με όγκο της τάξης των $120,5\text{m}^3$ εφόσον ο όγκος του συνολικού υποστρώματος είναι 79,5 τόνους ανά ημέρα. Από τα ανωτέρω συμπεραίνουμε ότι η κατασκευή αυτής της δεξαμενής δεν είναι συμφέρουσα λόγω του υψηλού κόστους της.

Συνεπώς και οι δύο ύλες θα οδηγούνται κατευθείαν μέσω του συστήματος τροφοδοσίας που αναφέραμε παραπάνω στον αντιδραστήρα και εκεί θα γίνεται η ανάμειξη τους. Για να γίνει η κατάλληλη ανάμειξη θα πρέπει πρώτα να εισέρχεται η επεξεργασμένη ιλύς και σταδιακά να εισέρχεται και το οργανικό κλάσμα των ΑΣΑ. Στον αντιδραστήρα το ομογενοποιημένο υπόστρωμα θα πρέπει να παραμείνει για περίπου 18 μέρες που χρειάζονται για την καλύτερη χώνευση του ώστε να λάβουμε την κατάλληλη ποσότητα βιοαερίου και λάσπης που θα παραχθούν εντός αυτού. Το βιοαέριο που θα συλλέξουμε στη συνέχεια, θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής

και θερμικής ενέργειας ενώ η λάσπη που θα απομείνει στο χωνευτή θα πάει για περαιτέρω επεξεργασία στην μονάδα κομποστοποίησης ώστε να γίνει ένα καλής ποιότητας εδαφοβελτιωτικό και να πάει προς πώληση.



Εικόνα 6: Πρότυπο προτεινόμενης μονάδας, (πηγή: envima.gr)

6.7 Επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας αντιδραστήρα

Για την επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας και διαδικασίας που θα χρησιμοποιηθεί πολύ σημαντικό ρόλο έχει η ποσότητα του οργανικού κλάσματος και της επεξεργασμένης ιλύος. Η ποσότητα του ομογενοποιημένου υποστρώματος ανά ημέρα είναι 79,5 τόνους και με υγρασία 65%. Αυτό σημαίνει ότι η αναερόβια χώνευση που επιλέξαμε να πραγματοποιήσουμε είναι ξηρή αναερόβια χώνευση και τεχνολογία που θα χρησιμοποιηθεί είναι η διαδικασία Valorga.

Ο σχεδιασμός της διαδικασίας Valorga είναι μοναδικός. Ο αντιδραστήρας είναι ένας κάθετος κυλινδρικός αντιδραστήρας διαιρεμένος με ένα μερικό κατακόρυφο τοίχωμα στο κέντρο. Η τροφοδοσία εισέρχεται μέσω μιας εισόδου

κοντά στο κάτω μέρος του αντιδραστήρα και κινείται αργά γύρω από την κατακόρυφη πλάκα έως ότου εκφορτωθεί μέσω μιας εξόδου που βρίσκεται διαμετρικά απέναντι από την είσοδο. Το επανακυκλοφορούμενο βιοαέριο εγχύεται μέσω ενός δικτύου εγχυτήρων στο κάτω μέρος του αντιδραστήρα και η αυξανόμενη φυσαλίδα οδηγεί σε πνευματική ανάμιξη του πολτού. Οι εγχυτήρες χρειάζονται τακτική συντήρηση, καθώς είναι επιρρεπείς σε απόφραξη.

Η υψηλή περιεκτικότητα σε στερεά σε συστήματα υψηλής συγκέντρωσης στερεών απαιτεί διαφορετικό χειρισμό, ανάμιξη και προεπεξεργασία από αυτά που χρησιμοποιούνται στις διεργασίες χαμηλής συγκέντρωσης. Ο εξοπλισμός που απαιτείται για το χειρισμό και τη μεταφορά πολτών υψηλής περιεκτικότητας σε στερεά είναι πιο στιβαρός και ακριβός από αυτόν του χαμηλής συγκέντρωσης, που αποτελείται από μεταφορικές ταινίες, βίδες και ισχυρές αντλίες. Από την άλλη πλευρά, η προεπεξεργασία είναι λιγότερο επαχθής από ό, τι για τα συστήματα χαμηλής συγκέντρωσης.

Τα συστήματα υψηλής συγκέντρωσης μπορούν να χειριστούν ακαθαρσίες όπως πέτρες, γυαλί ή ξύλο που δεν χρειάζεται να αφαιρεθούν όπως στα συστήματα χαμηλής συγκέντρωσης ενός σταδίου. Αντίθετα με την πλήρη ανάμιξη που επικρατεί στα συστήματα χαμηλής συγκέντρωσης ενός σταδίου, τα στα συστήματα υψηλής συγκέντρωσης ενός σταδίου είναι αντιδραστήρες βύσματος, επομένως δεν απαιτείται μηχανική συσκευή εντός του αντιδραστήρα (De Baere, 1999). Οι οικονομικές διαφορές μεταξύ συστημάτων χαμηλής και υψηλής συγκέντρωσης είναι μικρές, ενώ υπάρχουν έντονες διαφορές μεταξύ των αντιδραστήρων των δυο συστημάτων, όσον αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η διαδικασία χαμηλής περιεκτικότητας σε στερεά καταναλώνει ένα m³ γλυκού νερού ανά τόνο επεξεργασμένου ΑΣΑ, ενώ η χρήση νερού στα συστήματα χαμηλής συγκέντρωσης στερεών είναι περίπου το ένα δέκατο αυτής (Nolan - ITU, 1999).

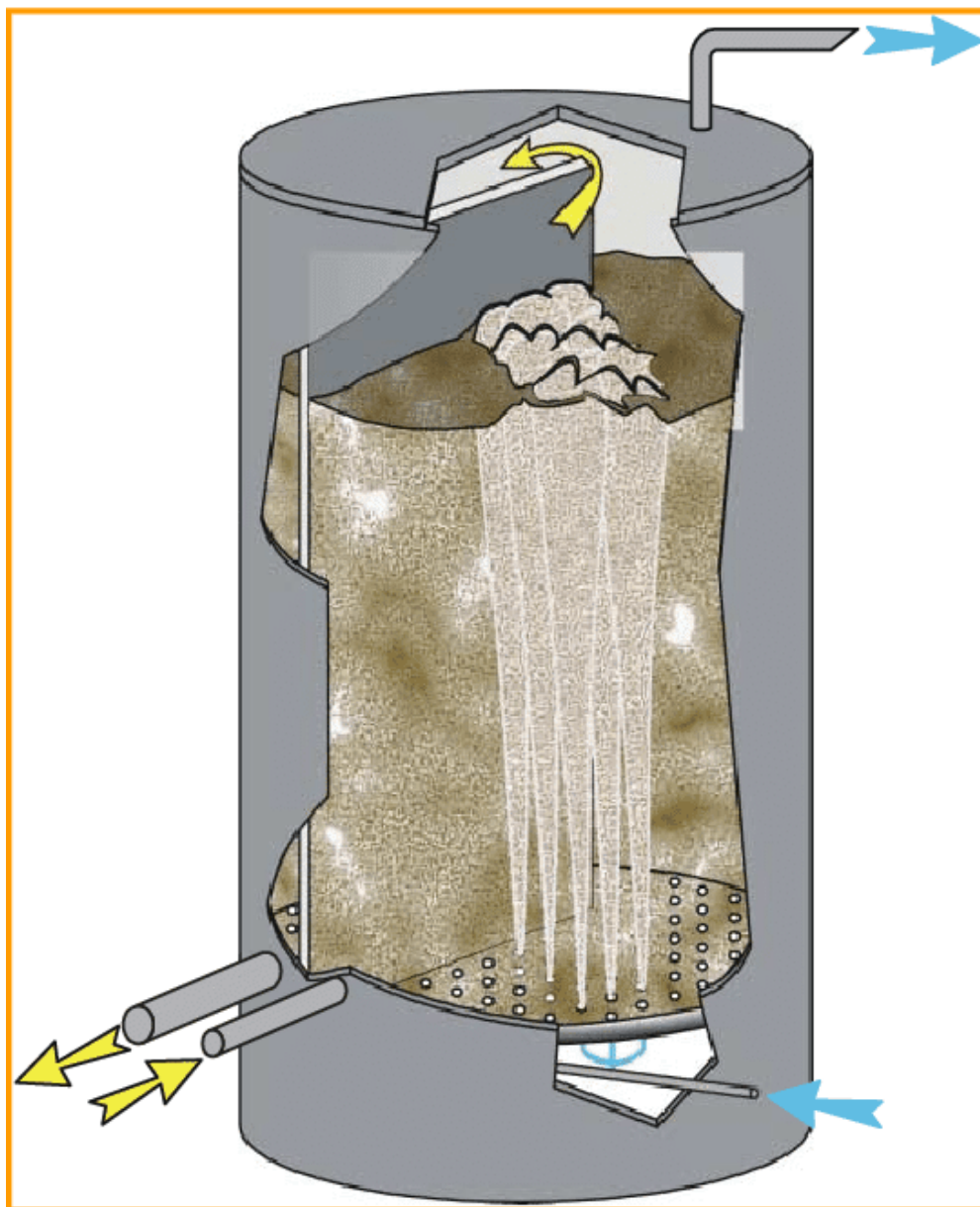
Κατά συνέπεια, ο όγκος των απορριμμάτων που πρέπει να απορριφθούν είναι αρκετά φορές μικρότερος για τους αντιδραστήρες χαμηλής συγκέντρωσης στερεών.

Οι συγκεκριμένοι τύποι χωνευτηρων κατασκευάστηκαν για την επεξεργασία του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ. Τα τελευταία όμως χρόνια ολοένα και αυξάνεται η κατασκευή τους για την επεξεργασία του οργανικού κλάσματος σε συνδυασμό με τα βιολογικά καθώς και τα γκρι απόβλητα. Οι απαιτήσεις σε νερό σε αυτή τεχνολογία είναι ελάχιστες και ο χωνευτής λειτουργεί σε μεσόφιλη κατά κύριο λόγο θερμοκρασία. Οι χωνευτές valorga είναι συνήθως κάθετοι τσιμεντένιοι κύλινδροι. Περιέχουν ένα κάθετο μέρισμα στο κέντρο που εκτείνεται περίπου στα $2/3$ της διαμέτρου τους και καθ' όλο το ύψος του αντιδραστήρα. Το κάθετο μέρισμα βοηθά στην ελαχιστοποίηση της κίνησης της λάσπης και εξασφαλίζει την εμβολοειδή ροή στο σύνολο του όγκου του αντιδραστήρα.

Σύμφωνα με τα δεδομένα μας ο όγκος του αντιδραστήρα θα είναι 1431 κυβικά μέτρα το ύψος του θα είναι 20 μέτρα και η ακτίνα του 5 M. Τέλος ο συγκεκριμένος τύπος αντιδραστήρα έχει ανοίγματα που βρίσκονται στις κάθετες πλευρές του για την εισαγωγή της πρώτης ύλης αλλά και την αφαίρεση του κομπόστ και επιπλέον η ανάμειξη του ζυμώσιμου υλικού παρέχεται από ένα πνευματικό σύστημα. Το πνευματικό σύστημα είναι η χορήγηση μέσω ανοιγμάτων του πυθμένα υψηλής πίεσης βιοαερίου στον αντιδραστήρα. Ο αντιδραστήρας αυτός δεν εμπεριέχει μηχανικά μέρη και στην συντήρησή του περιλαμβάνεται μόνο ο περιοδικός καθαρισμός των ακροφυσίων στο κάτω μέρος του χωνευτή. Το χωνεμένο υλικό, κατά την έξοδο του περνάει από ένα φίλτρο και έπειτα το τελικό κομπόστ μεταφέρεται στη μονάδα κομποστοποίησης ώστε να πωληθεί κατόπιν επεξεργασίας.

Κάποιες φορές το ελάχιστο νερό το οποίο χρησιμοποιείται κατά την αναερόβια χώνευση επαναχρησιμοποιείται για την αραίωση των εισερχομένων αποβλήτων. Πολύ σημαντικό ρόλο στην τεχνολογία valorga έχουν τα

βιολογικά φίλτρα και οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού διότι ελέγχουν όλες τις εκπομπές αέρα και νερού για την κάλυψη των τοπικών κανονισμών.



Εικόνα 7: Αντιδραστήρας Valorga, (πηγή: <http://www.valorgainternational.fr/fr/mpg3-128079--LE-PROCEDE-DE-METHANISATION-VALORGA.html>)

6.8 Μονάδα αξιοποίησης βιοαερίου

Το παραγόμενο βιοαέριο αφού μαζευτεί στην οροφή του αντιδραστήρα μέσω συστημάτων αντλιών μεταφέρεται σε μία δεξαμενή αποθήκευσης βιοαερίου. Έπειτα, από τη δεξαμενή αποθήκευσης προωθείται σε εξελιγμένα συστήματα καθαρισμού και μείωσης της υγρασίας του προς βελτιστοποίηση των

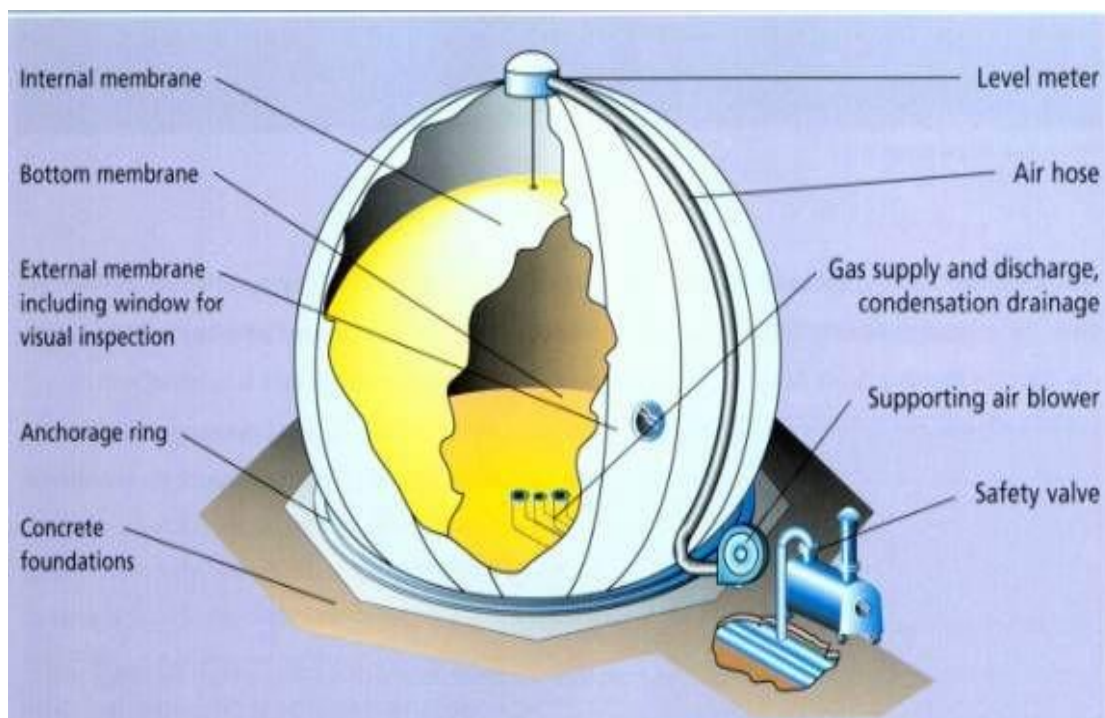
ποιοτικών χαρακτηριστικών του έτσι ώστε να γίνει η διοχέτευση του αναβαθμισμένου πλέον βιοαερίου στη μονάδα εσωτερικής καύσης για την παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Η ροή του βιοαερίου παρακολουθείται καθόλη τη διάρκεια μέσω ενός μετρητή παροχής.

6.8.1 Αποθήκευση παραγόμενου βιοαερίου

Υπάρχουν δύο βασικοί λόγοι για την αποθήκευση βιοαερίου ή βιομεθανίου: αποθήκευση για μεταγενέστερη επιτόπια χρήση και αποθήκευση πριν ή / και μετά τη μεταφορά σε σημεία ή συστήματα διανομής εκτός του χώρου.

Τα λιγότερο ακριβά και ευκολότερα στη χρήση συστήματα αποθήκευσης είναι τα συστήματα χαμηλής πίεσης. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούνται συνήθως για επιτόπου ενδιάμεση αποθήκευση βιοαερίου. Οι απαιτήσεις ενέργειας, ασφάλειας και καθαρισμού των συστημάτων αποθήκευσης μέσης και υψηλής πίεσης τα καθιστούν δαπανηρές και υψηλής συντήρησης επιλογές.

Τόσο το βιοαέριο όσο και το βιομεθάνιο μπορούν να αποθηκευτούν σε τέτοιου ελιδους κατασκευές. Στην πράξη, ωστόσο, το μεγαλύτερο μέρος του βιοαερίου χρησιμοποιείται καθώς παράγεται. Έτσι, η ανάγκη αποθήκευσης βιοαερίου είναι συνήθως προσωρινής φύσης, και συντελείται σε περιόδους όπου η παραγωγή υπερβαίνει την κατανάλωση ή κατά τη διάρκεια της συντήρησης του εξοπλισμού χώνευσης. Σημαντικές εκτιμήσεις για την αποθήκευση βιοαερίου στο αγρόκτημα περιλαμβάνουν (1) τον απαιτούμενο όγκο (συνήθως, μόνο μικρές ποσότητες βιοαερίου πρέπει να αποθηκεύονται ανά δεδομένη στιγμή), (2) πιθανή διάβρωση από υδροθείου (H_2S) ή υδρατμούς που μπορεί να υπάρχουν, ακόμη και εάν το αέριο έχει υποστεί μερικό καθαρισμό, και (3) το κόστος (δεδομένου ότι το βιοαέριο είναι ένα καύσιμο σχετικά χαμηλής αξίας).



Εικόνα 8: Δομή αεροφυλακίου διπλής μεμβράνης (πηγή : <https://www.bioenergyconsult.com/biogas-storage>)

Στις μέρες μας οι δύο σημαντικότεροι τρόποι αποθήκευσης του βιοαερίου είναι η αποθήκευση του στην οροφή του αντιδραστήρα σε ειδικά αεροφυλάκια και ο πιο συνηθισμένος που είναι η αποθήκευση του σε αεροφυλάκιο εξωτερικού χώρου με ειδικά αεριζόμενο υπόστεγο διαφορετικό από το χωνευτήρα. Το αεροφυλάκιο εξωτερικού χώρου είναι κατασκευασμένο από πλαστικό PVC διότι το συγκεκριμένο υλικό είναι πολύ ανθεκτικό σε υψηλές τάσεις καθώς και σε περιπτώσεις πυρκαγιάς. Η τροφοδότηση του βιοαερίου από το χωνευτήρα στο αεροφυλάκιο γίνεται με τη χρήση σωληνώσεων τύπου HDPE DIN 150.

Τέλος το αεροφυλάκιο θα πρέπει να έχει βαλβίδα πίεσης ώστε να γίνεται συχνός έλεγχος για τη στεγανότητα του χώρου αποθήκευσης.



Εικόνα 9: Αεροφυλάκιο αποθήκευσης βιοαερίου, (πηγή: <http://greek.cectanks.com/supplier-106853-biogas-storage-tank>)

6.8.2 Μεταφορά παραγόμενου βιοαερίου

Η μεταφορά του βιοαερίου στη μονάδα συμπαραγωγής θα γίνεται με ένα σύστημα σωληνώσεων το οποίο θα ενώνεται με ένα πτερυγιοφόρο συμπιεστή. Επίσης το βιοαέριο πρώτα θα πρέπει να περάσει τις επεξεργασίες αφύγρυνσης και αποθείωσης πριν πάει στη μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας.

6.8.3 Μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας

Η μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας ονομάστηκε έτσι γιατί ουσιαστικά η ίδια πηγή ενέργειας παράγει θερμική και ηλεκτρική ενέργεια.

Το σύστημα αυτό δημιουργήθηκε διότι τα προηγούμενα χρόνια τα συμβατικά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής κατά κύριο λόγο ενέργειας είχαν πολύ μικρό χαμηλό βαθμό απόδοσης. Η διάκριση των μονάδων συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας γίνεται ανάλογα με το είδος της μηχανής, το είδος του καυσίμου που χρησιμοποιούν και τέλος ανάλογα με το μέγεθος της απόδοσης τους.

Τα κύρια μέρη μίας μονάδας συμπαραγωγής είναι η μηχανή, η γεννήτρια και ένας εναλλάκτης θερμότητας.

Τα τελευταία χρόνια ολοένα και αυξάνεται η επιλογή μονάδας ΜΕΚ για τη συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Έτσι λοιπόν επιλέγουμε και εμείς μία μονάδα ΜΕΚ. Παρακάτω φαίνεται το κόστος της αλλά και τα κέρδη που επιφέρει η πώληση της ηλεκτρικής κατά κύριο λόγο ενέργειας που παράγεται. Πιο συγκεκριμένα η επιλογή για τη δική μας μονάδα είναι ένα σύστημα συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας με μηχανή εσωτερικής καύσης.



Εικόνα 10:Μηχανή εσωτερικής καύσης σύστημα συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, (πηγή: ΚΑΠΕ)

6.9. Μονάδα ελέγχου

Η μονάδα παραγωγής βιοαερίου θα πρέπει συνεχώς να παρακολουθείται για την ομαλή λειτουργία της. Ένα εξειδικευμένο άτομο παρακολουθεί στην οθόνη του υπολογιστή τα στοιχεία που εμφανίζονται μέσω ενός λογισμικού και διαφόρων αισθητήρων κάνοντας τις απαραίτητες παρεμβάσεις όταν και όπου αυτές χρειάζονται



Εικόνα 11: Λογισμικό και οθόνη μονάδας ελέγχου, (πηγή: <http://www.envima.gr/>)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

7.1 Γενικά

Το συγκεκριμένο κεφάλαιο αναφέρεται στον υπολογισμό του συνολικού ετήσιου κόστους που θα προκύψει από την λειτουργία της προτεινόμενης μονάδας διαχείρισης του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ και της ιλύος που προέρχεται από βιολογικό καθαρισμό. Τα χαρακτηριστικότερα οικονομικά μεγέθη που αφορούν τα έξοδα της παραπάνω εγκατάστασης είναι το κόστος επένδυσης και το ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης της. Συνεπώς θα πρέπει να γίνει μία ρεαλιστική προσέγγιση σε αυτά τα μεγέθη ενώ παράλληλα θα γίνει η εκτίμηση των κερδών από την πώληση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας όσο και από την πώληση του κομπόστ. Τέλος τα κέρδη αυτά θα αφαιρεθούν από το άθροισμα του ετήσιου επενδυτικού και λειτουργικού κόστους για να βρεθεί το συνολικό ετήσιο κόστος της μονάδας αναερόβιας χώνευσης. το οποίο θα μας οδηγήσει στο ειδικό συνολικό ετήσιο κόστος.

$$ΣΚΜ = ΕΕΚ + ΕΛΚ - ΕΠΗ - ΕΠΚ$$

όπου:

ΣΚΜ: ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΜΟΝΑΔΑΣ

ΕΕΚ: ΕΤΗΣΙΟ ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ

ΕΛΚ: ΕΤΗΣΙΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ

ΕΠΗ: ΕΣΟΔΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΩΛΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΕΠΚ: ΕΣΟΔΑ ΠΩΛΗΣΗΣ ΚΟΜΠΟΣΤ

7.2 Λειτουργικά και επενδυτικά κόστη της μηχανικής μονάδας επεξεργασίας των ΑΣΑ

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, η μονάδα μηχανικής επεξεργασίας υπάρχει ήδη στην ΔΕΔΙΣΑ.Η οικονομική προσέγγιση της θα

γίνει προκειμένου να έχουμε ένα πλήρες πλάνο για όλη την διαχείριση των ΑΣΑ.

Στο οκτάωρο η ποσότητα των ΑΣΑ είναι 50,2 tn ενώ η ποσότητα του οργανικού κλάσματος είναι 20,1 tn για το σενάριο 1. Για το σενάριο 2 η ποσότητα ΑΣΑ στο οκτάωρο είναι 52,5 ενώ η ποσότητα του οργανικού κλάσματος είναι 21,01 tn.

Ο μηχανολογικός εξοπλισμός που έχει χρησιμοποιηθεί είναι μία μηχανή ανοίγματος για τις σακούλες σκουπιδιών, ταινιομεταφορείς, κόσκινο περιστρεφόμενου τυμπάνου, διαχωριστές μαγνητικοί και δινορρευμάτων, διαχωριστής εμφύσησης αέρα και τέλος ένας δεματοποιητής. Επιπλέον στο επενδυτικό κόστος θα συμπεριληφθεί και το κόστος των κτιριακών υποδομών.

Ο παρακάτω πίνακας δείχνει αναλυτικά τα επενδυτικά κόστη.

ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ(tn/h)	ΤΙΜΗ (€)	ΧΩΡ. ΜΕΛΕΤΗΣ(tn/h) Σενάριο 1 ^ο	ΧΩΡ. ΜΕΛΕΤΗΣ(tn/h) Σενάριο 2 ^ο	ΤΕΛΙΚΗ ΤΙΜΗ(€) Σενάριο 1 ^ο και 2 ^ο
ΤΑΙΝΙΟΜΕΤΑΦΟΡΕΙΣ		7000-25000	20,1	21,01	11000
ΜΗΧΑΝΗ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ ΣΑΚΟΥΛΑΣ	3-35,2	48900-157000	20,1	21,01	100000
ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟ ΤΥΜΠΑΝΟ	15,2-191,20	35300-218600	20,1	21,01	37000
ΤΕΜΑΧΙΣΤΕΣ	0,40-30	11700-103600	20,1	21,01	60000
ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗΣ	4,30-30	7300-54300	20,1	21,01	30000
ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗΣ ΔΙΝΟΡΕΥΜΑΤΩΝ	1,30-35	29300-108600	20,1	21,01	69000
ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΕΣ ΑΕΡΑ	6,40-26,40	44000-102700	20,1	21,01	75000
ΣΥΝΟΛΟ					382.000€

Πίνακας 7: Αναλυτικά λειτουργικά κόστη, (Πηγή: Yosypovych et al., 2021)

Οι δεματοποιητές κοστίζουν 5.000 € και έτσι το τελικό κόστος και για τα δύο σενάρια είναι **387.000 €**. ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΑ ΚΟΣΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ = 387.000€

Το ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης της μηχανικής μονάδας επεξεργασίας σύμφωνα με την αναφορά των Stegman,Heyer,Hupe (2015) κυμαίνεται μεταξύ 20- 33€/tn. Αν το ειδικό λειτουργικό κόστος είναι περίπου 28€/tn.

- Για το σενάριο 1 με παραγωγή 29.000 tn/yr το ετήσιο λειτουργικό κόστος θα είναι 812.000 €
- Για το σενάριο 2 με παραγωγή 30.010 tn/yr το ετήσιο λειτουργικό κόστος θα είναι 840.280 €

ΕΤΗΣΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΚΟΣΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ
 $ΑΣΑ(1) = 28€/tn \times 29.000 tn/yr = 812.000€$

ΕΤΗΣΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΚΟΣΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ
 $ΑΣΑ(2) = 28€/tn \times 30.010 tn/yr = 840.280€$

Στα λειτουργικά έξοδα το μεγαλύτερο ποσοστό δαπανών το έχει το κόστος συντήρησης του μηχανολογικού εξοπλισμού και ανέρχεται στο 43% του συνολικού ετήσιου κόστους ενώ στο 35% ανέρχονται οι δαπάνες για τις πρώτες ύλες και την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων(π χ. ηλεκτρική ενέργεια, νερό, καύσιμα,). Τέλος το ποσοστό κόστους για το προσωπικό ανέρχεται στο 17% ενώ τα υπόλοιπα κόστη που μπορεί να προκύψουν είναι της τάξης του 5%.

7.3 Προσέγγιση επενδυτικών και λειτουργικών κοστών της μονάδας αναερόβιας χώνευσης του οργανικού κλάσματος και ιλύος από βιολογικό καθαρισμό

Το σύστημα της αναερόβιας χώνευσης τεχνολογίας Valorga περιλαμβάνει:

1. Σύστημα αποθήκευσης και τροφοδοσίας

Έχουμε αποθηκευτικό χώρο για το οργανικό κλάσμα και θα γίνει η κατασκευή μίας δεξαμενής αποθήκευσης της ιλύος καθώς δεν υπάρχει αποθηκευτικός χώρος για αυτήν. Η τροφοδοσία γίνεται με φυγοκεντρικές αντλίες και αντλίες πίεσεως.

2. Χωνευτήρα με τις εξής διαστάσεις: $V=1431 \text{ m}^3$, $r=5\text{m}$ και $h=20\text{m}$

Η τεχνολογία αυτή επίσης διαθέτει και το σύστημα ανάδευσης που περιγράψαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο

3. Μονάδα αξιοποίησης βιοαερίου

Η συγκεκριμένη μονάδα συμπεριλαμβάνει συστήματα καθαρισμού του βιοαερίου και της ξήρανσης του. Επίσης συμπεριλαμβάνει δεξαμενή αποθήκευσης του εξευγενισμένο αερίου.

4. Μονάδα ΣΗΘ

5. Δεξαμενή χωνεμένης ιλύος

Σύμφωνα με (Eunomia, 2009) το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι 31€/tn ενώ το κόστος της επένδυσης ανέρχεται στα 399€/tn για μία μονάδα ξηρής αναερόβιας χώνευσης δυναμικότητας 20.000tn/yr και με διάρκεια ζωής τα 15 χρόνια. Σύμφωνα με τα δικά μας δεδομένα το πιθανό επενδυτικό κόστος είναι $360\text{€/tn} \times 29.000\text{tn/yr} = 10.440.000\text{€}$ για το 1^ο σενάριο. Και αντιστοιχα για το 2^ο σενάριο είναι $360\text{€/tn} \times 30.010\text{tn/yr} = 10.803.600\text{€}$

Άρα βλέπουμε ότι το κόστος της επένδυσης και στις δύο περιπτώσεις είναι περίπου

- Για το σενάριο 1: 10.500.000€
- Για το σενάριο 2 : 10.804.000€

Το κόστος της επένδυσης αναλύεται ποσοστιαία ως εξής :

- ✓ οικόπεδο και έργα υποδομής 5%
- ✓ μονάδα καθαρισμού και ξήρανσης του βιοαερίου 5%
- ✓ εξοπλισμός αναερόβιας χώνευσης 20%
- ✓ μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας 30%
- ✓ μελέτες και κατασκευές κτιρίων 25%
- ✓ εξοπλισμός 3%
- ✓ άδειες και περιβαλλοντολογικά πιστοποιητικά 7%
- ✓ απρόβλεπτα κόστη 5%

ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΑ ΚΟΣΤΗ ΑΧ(1) = 10.500.000€

ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΑ ΚΟΣΤΗ ΑΧ(2) = 11.804.000€

Τα λειτουργικά κόστη της αναερόβιας χώνευσης χωρίζονται σε σταθερά και μεταβλητά κόστη. Στα σταθερά κόστη συμπεριλαμβάνονται οι αμοιβές η ασφάλιση και η εκπαίδευση του προσωπικού ενώ στα μεταβλητά κόστη, συμπεριλαμβάνεται το κόστος συντήρησης και λειτουργίας, το κόστος για πρώτες ύλες και καύσιμα καθώς και το κόστος διαφόρων αναγκών που μπορεί να προκύψουν. (Ng et al., 2021)

Τα κόστη λειτουργίας της ΑΧ(σταθερά και μεταβλητά) αναλύονται ποσοστιαία ως εξής :

- **Κόστος συντήρησης και λειτουργίας 25%**
- **Κόστος προσωπικού 30%- 40%**
- **Κόστος για πρώτες ύλες 5%- 10%**

- **Διάφορες ανάγκες 10%- 20%**

(Olivard, 2017)

Στα λειτουργικά κόστη δεν συμπεριλαμβάνεται το κόστος επεξεργασίας του κομπόστ καθώς υπάρχει ήδη μονάδα επεξεργασίας χωνεμένης ιλύος στη ΔΕΔΙΣΑ

Το ειδικό λειτουργικό κόστος ανέρχεται στα 47€/tn με ανθρώπινο δυναμικό 10 ατόμων.

Το ετήσιο λειτουργικό κόστος είναι $29.000\text{tn/yr} \times 47\text{€/tn} = 1.363.000\text{€}$ και $30.010\text{tn/yr} \times 47\text{€/tn} = 1.410.470\text{€}$

ΕΤΗΣΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΚΟΣΤΗ ΑΧ(1) = 1.363.000€

ΕΤΗΣΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΚΟΣΤΗ ΑΧ(2) = 1.410.470€

	Σενάριο 1 ^ο	Σενάριο 2 ^ο
ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΑ ΚΟΣΤΗ		
ΜΟΝΑΔΑ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ	387.000€	387.000€
ΜΟΝΑΔΑ ΑΧ	10.500.000€	10.804.000€
ΕΙΔΙΚΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΑΡΧΙΚΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ	362€/tn	360€/tn
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΑΡΧΙΚΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ	10.887.000€	11.191.000€
ΝΕΟ ΕΙΔΙΚΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ	375€/tn	375€/tn
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΚΟΣΤΗ		
ΜΟΝΑΔΑ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ	812.000€	840.280€
ΜΟΝΑΔΑ ΑΧ	1.363.000€	1.410.470€
ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΤΗΣΙΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ	2.175.000€	2.250.750€
ΕΙΔΙΚΕΣ ΕΤΗΣΙΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ	47€/tn	47€/tn

Πίνακας 8: Επενδυτικά κόστη μονάδας ΑΧ

7.4 Υπολογισμός παραγόμενης ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας

Η παραγόμενη ενέργεια μέσω της πώλησης της δημιουργεί έσοδα και έτσι διαμορφώνονται τα ετήσια ειδικά κόστη. Αυτό συμβαίνει γιατί η μεγαλύτερη ποσότητα ηλεκτρικής Ενέργειας(90%) θα πωλείται στο δίκτυο και η υπόλοιπη ποσότητα(10%) θα καλύπτει τις ανάγκες των εγκαταστάσεων. Για να βρούμε την ποσότητα της ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας που παράγεται θα πρέπει να γνωρίζουμε την παραγόμενη ποσότητα του βιοαερίου από την αναερόβια χώνευση, την θερμογόνο ικανότητα του καθώς και το βαθμό απόδοσης του ηλεκτρικού και θερμικού σταθμού.

7.4.1 Παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου

Τα επίπεδα παραγωγής βιοαερίου εξαρτώνται από το ποσοστό πτητικών που περιέχει η πρώτη ύλη. Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια ο διαχωρισμός της πρώτης ύλης στην πηγή, δημιουργεί ένα υπόστρωμα με πτητικά στερεά της τάξης του 80% ενώ ο μηχανικός διαχωρισμός δημιουργεί μία πρώτη ύλη με ποσότητα πτητικών στερεών της τάξης του 60%. Η δική μας πρώτη ύλη προέρχεται από τον μηχανικό διαχωρισμό καθώς ο διαχωρισμός στην πηγή στην Ελλάδα βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο. Για αυτό τον λόγο το οργανικό κλάσμα των ΑΣΑ συγχωνευμένο με την ιλύς από την επεξεργασία λυμάτων έχουν ποσοστό πτητικών στερεών 65%. Αυτό σημαίνει ότι σύμφωνα με τα δεδομένα της RIS International Ltd του Απριλίου του 2015 η παραγωγή βιοαερίου με βάση το υπόστρωμα το οποίο έχουμε θα είναι μεταξύ 80 - 95 m³/tn. Επίσης σύμφωνα με τον Brown James στη σχετική έρευνα του το 2011 η περιεκτικότητα του βιοαερίου σε μεθάνιο είναι περίπου 65%.

Η εκτίμηση μας για τη μελέτη με βάση τα παραπάνω δεδομένα είναι ότι η παραγωγή βιοαερίου ανέρχεται στα 90m³/tn απορριμμάτων.

- Σενάριο 1

Αρά το παραγόμενο βιοαέριο της μονάδας είναι : $29.000\text{tn} \times 90\text{m}^3/\text{tn} = 2.610.000\text{m}^3/\text{yr}$

Επιπλέον σύμφωνα με τα στοιχεία των εγκαταστάσεων Valorga στην υπόλοιπη Ευρώπη η ετήσια παραγωγή βιοαερίου για τη συγκεκριμένη τεχνολογία βγαίνει από τον τύπο: $y=(10^{(-9)} \times x^3) - (0,0009 \times x^2) + (252,34 \times x) - (4 \times 10^6)$

Όπου X η ετήσια ποσότητα της πρώτης ύλης και y η παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου ανά έτος

$$y=2.585.349 \text{ m}^3 / \text{yr}$$

Βλέπουμε ότι και τα δύο πιθανό σενάρια της παραγωγής βιοαερίου δεν διαφέρουν πολύ και έτσι επιλέγουμε ως ετήσια ποσότητα βιοαερίου **2.600.000 m³/yr**

- Σενάριο 2

Το παραγόμενο βιοαέριο είναι: $30.010\text{tn} \times 90\text{m}^3/\text{tn} = 2.700.900 \text{ m}^3/\text{yr}$

7.4.2 Θερμογόνος δύναμη βιοαερίου

Το βιοαέριο αποτελείται κατά κύριο λόγο από CH₄ μεταξύ 60 - 70% και από CO₂ γύρω στο 30 - 40%. Επίσης το βιοαέριο εμφανίζονται και άλλα αέρια αλλά σε πολύ μικρότερες ποσότητες όπως το H₂S και το NH₃ σε ποσοστά 1% και 0,05% αντίστοιχα. Εμείς θεωρούμε ότι το βιοαέριο στη μονάδα που μελετάμε περιέχει 65% CH₄ και 34% CO₂ ενώ το υπόλοιπο 1% είναι οι ποσότητες του H₂S και της NH₃. Αυτή η επιλογή έγινε σύμφωνα με τα δεδομένα των υπολοίπων εγκαταστάσεων Valorga. Με βάση την παραπάνω σύσταση η θερμογόνος ικανότητα κυμαίνεται μεταξύ 19 - 30MJ/m³. (Φραντζής και Συνεργάτες Ε.Π.Ε, Απρίλιος 2008).

Άρα στη δική μας περίπτωση η θερμογόνος ικανότητα του αερίου καυσίμου είναι 23 MJ/m³

Καταλήγοντας έχουμε:

	Σενάριο 1	Σενάριο 2
παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου	89,6 m ³ /tn	90m ³ /tn
ετήσια παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου	2.600.000 m ³	2.700.900 m ³ /yr
θερμογόνος ικανότητα	23 MJ/m ³	23 MJ/m ³

7.4.3 Βαθμός απόδοσης ηλεκτρικής και θερμικής εγκατάστασης

Ο ολικός βαθμός απόδοσης συμπαραγωγής (nCHP) για την εγκατάσταση είναι γύρω στο 80%. Ο βαθμός απόδοσης για το θερμικό nth ήταν 42% , ο βαθμός απόδοσης για το ηλεκτρικό nel ήταν 38% και τέλος η θερμογόνος ικανότητα Hu ήταν 23 MJ/m³

Η παραγόμενη θερμική ισχύς βγαίνει από τον τύπο:

$$Q_{th} = n_{th} \times m_B \times H_u$$

Η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς βγαίνει από τον τύπο :

$$P_{el} = n_{el} \times m_B \times H_u$$

$$m_B = X \div (8.300 \times 3600) \text{ m}^3/\text{sec}$$

οπoù X το παραγόμενο αέριο της μονάδας

	Σενάριο 1	Σενάριο 2
Q_{th}	0,84 MW _{th}	0,87 MW _{th}
P_{el}	0,76 MW _{el}	0,79 MW _{el}
Ετήσια παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας	6.308 MW	6.557 MW
Ετήσια παραγωγή θερμικής ενέργειας	6.972 MW	7.221 MW

Η ετήσια παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας είναι:

$$Y = P_{el} \times 8.300$$

Η ετήσια παραγωγή θερμικής ενέργειας είναι:

$$Z = Q_{th} \times 8.300$$

Σύμφωνα με το νόμο 4414/ 2016 (ΦΕΚ Α 149/ 9- 8- 2016) η τιμολόγηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από μία μονάδα αναερόβιας χώνευσης γίνεται με τιμή πώλησης 129€/MW. Το 90% της παραγόμενης Ηλεκτρικής Ενέργειας πωλείται στη ΔΕΗ ενώ το υπόλοιπο 10% χρησιμοποιείται για τις απαιτήσεις της μονάδας.

Τέλος τα συνολικά έσοδα από την πώληση της Ηλεκτρικής Ενέργειας θα είναι:

- Σενάριο 1

$$0,9 * 129 * 6.308 = 732.359 \text{ €/yr}$$

- Σενάριο 2

$$0,9 * 129 * 6.557 = 761.268 \text{ €/yr}$$

7.5 Συμπεράσματα

	ΣΕΝΑΡΙΟ 1	ΣΕΝΑΡΙΟ 1	ΣΕΝΑΡΙΟ 2	ΣΕΝΑΡΙΟ 2
	ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ 20 ΕΤΗ	ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ 20 ΕΤΗ
ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΑ ΚΟΣΤΗ				
ΜΟΝΑΔΑ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ	387.000€	387.000€	387.000€	387.000€
ΜΟΝΑΔΑ ΑΧ	10.500.000€	10.500.000€	10.804.000€	10.804.000€
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΑΡΧΙΚΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ	362€/tn	362€/tn	360€/ tn	360€/ tn
ΝΕΟ ΕΙΔΙΚΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ	375€/tn	375€/tn	373€/tn	373€/tn
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΑΡΧΙΚΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ	10.887.000€	10.887.000€	11.191.000€	11.191.000€
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΚΟΣΤΗ				
ΜΟΝΑΔΑ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ	812.000€	16.240.000€	840.280€	16.805.600€
ΜΟΝΑΔΑ ΑΧ	1.363.000€	27.260.000€	1.410.470€	28.209.400€

ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΤΗΣΙΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ	2.175.000€	43.500.000€	2.250.750€	45.015.000€
ΕΙΔΙΚΕΣ ΕΤΗΣΙΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ	47€/tn		47€/tn	
ΕΣΟΔΑ ΑΠΟ ΠΩΛΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	732.359€	14.647.180€	761.268 €	15.225.360€
ΕΣΟΔΑ ΑΠΟ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ	895.075€	17.901.500€	910.000€	18.200.000€
ΕΣΟΔΑ ΑΠΟ ΠΩΛΗΣΗ ΚΟΜΠΟΣΤ	425.333€	8.506.666€	440.147 €	8.802.940€
ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΕΣΟΔΑ	2.052.767€	41.055.340€	2.111.415€	42.228.300€

Πίνακας 9: Επενδυτικό σχέδιο σε βάθος 20ετίας

τα έσοδα από την πώληση του κομπόστ υπολογίστηκαν από την τιμή πώλησης 44 ευρώ/τόνο και από το $\frac{1}{3}$ της αρχικής ποσότητας του υποστρώματος

$$\text{ΕΣΟΔΑ ΚΟΜΠΟΣΤ(1)} = 44 \times (\frac{1}{3} \times 29.000) = 425.333 \text{ €/yr}$$

$$\text{ΕΣΟΔΑ ΚΟΜΠΟΣΤ(2)} = 44 \times (\frac{1}{3} \times 30.010) = 440.147 \text{ €/yr}$$

Τέλος η μονάδα προεπεξεργασίας των ΑΣΑ υπάρχει ήδη οπότε αν δεν την λάβουμε υπόψη οι συνολικές δαπάνες θα είναι τα ετήσια λειτουργικά κόστη μόνο της μονάδας ΑΧ και τα ετήσια επενδυτικά κόστη πάλι μόνο της μονάδας της αναερόβιας χώνευσης.

Άρα:

$$\text{ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΕΤΗΣΙΑ ΚΟΣΤΗ(1)} = 10.500.000\text{€} + 1.363.000\text{€} = 11.863.000\text{€}$$

$$\text{ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΕΤΗΣΙΑ ΚΟΣΤΗ(2)} = 10.804.000\text{€} + 1.410.470\text{€} = 12.214.470\text{€}$$

και

$$\begin{aligned} \text{ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΚΟΣΤΗ ΣΕ 20 ΧΡΟΝΙΑ(1)} &= 10.500.000\text{€} + 27.260.000\text{€} \\ &= 37.760.000\text{€} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΚΟΣΤΗ ΣΕ 20 ΧΡΟΝΙΑ(2)} &= 10.804.000\text{€} + 28.209.400\text{€} \\ &= 39.013.400\text{€} \end{aligned}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

8.1 Αποδοτικότητα επένδυσης

8.1.2 Σενάριο 1^ο

Εξετάζουμε την απόδοση της επένδυσης με τη μέθοδο της NPV, το payback period και το IRR. Από τα παραπάνω κριτήρια αποδοτικότητας γνωρίζουμε ότι ένα σχέδιο είναι αποδοτικό όταν $NPV > 0$ καθώς επίσης και όταν $IRR > 0$.

ΧΡΗΜΑΤΟΡΡΟΕΣ				
Έτος	ΕΚΡΟΕΣ	ΕΙΣΡΟΕΣ	ΣΥΝΟΛΟ ΕΤΟΥΣ	ΣΥΝΟΛΟΧΡΗΜΑΤΟΡΟΗΣ
0	-10.887.000 €		-10.887.000 €	-10.887.000 €
1	-1.363.000 €	2.052.767 €	689.767 €	-10.197.233 €
2	-1.363.000 €	2.052.767 €	689.767 €	-9.507.466 €
3	-1.363.000 €	2.052.767 €	689.767 €	-8.817.699 €
4	-1.363.000 €	2.052.767 €	689.767 €	-8.127.932 €
5	-1.363.000 €	2.052.767 €	689.767 €	-7.438.165 €
6	-1.363.000 €	2.052.767 €	689.767 €	-6.748.398 €
7	-1.363.000 €	2.052.767 €	689.767 €	-6.058.631 €
8	-1.363.000 €	2.052.767 €	689.767 €	-5.368.864 €
9	-1.363.000 €	2.052.767 €	689.767 €	-4.679.097 €
10	-1.363.000 €	2.052.767 €	689.767 €	-3.989.330 €
11	-1.363.000 €	2.052.767 €	689.767 €	-3.299.563 €
12	-1.363.000 €	2.052.767 €	689.767 €	-2.609.796 €
13	-1.363.000 €	2.052.767 €	689.767 €	-1.920.029 €
14	-1.363.000 €	2.052.767 €	689.767 €	-1.230.262 €
15	-1.363.000 €	2.052.767 €	689.767 €	-540.495 €
16	-1.363.000 €	2.052.767 €	689.767 €	149.272 €
17	-1.363.000 €	2.052.767 €	689.767 €	839.039 €
18	-1.363.000 €	2.052.767 €	689.767 €	1.528.806 €
19	-1.363.000 €	2.052.767 €	689.767 €	2.218.573 €
20	-1.363.000 €	2.052.767 €	689.767 €	2.908.340 €

Πίνακας 10: Χρηματοροές Επενδυτικού Σχεδίου 20ατίας

Οι παραπάνω χρηματοροές υπολογίστηκαν με τον εξής τρόπο για κάθε έτος:

$$\Sigma\text{XP}_N = (\text{Ε}\Sigma_N - \text{ΕΕ}_N) - \Sigma\text{XP}_{N-1}$$

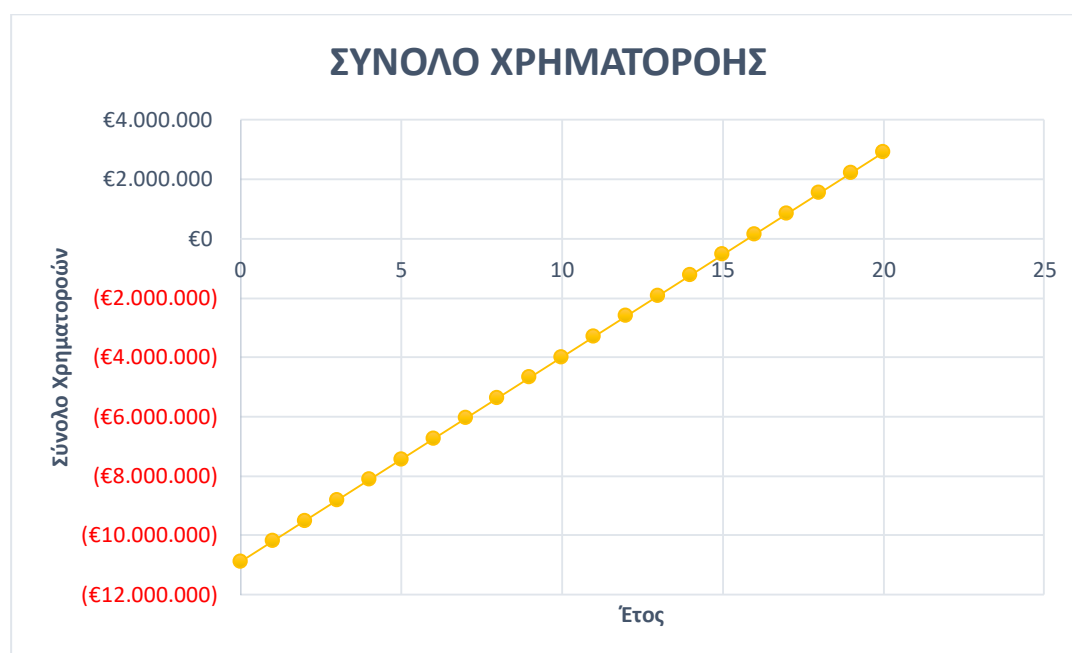
Οπού:

N: το έτος

ΕΣ: Εισροές επένδυσης

ΕΕ: Εκροές επένδυσης

ΣΧΡ: Σύνολο Χρηματοροής



Εικόνα 12: Εξέλιξη εισροών εκροών επένδυσης σε βάθος εικοσαετίας

NPV

Εκτελούμε και μέθοδο NPV με επιτόκιο απόδοσης ίσο αυτό της ΕΚΤ 4%.

Προκύπτει από [2] ότι:

NPV = -1.512.841 € (αρνητική NPV σε βάθος εικοσαετίας) Αυτό το αποτέλεσμα δείχνει ότι θα πρέπει η εταιρία να εξετάσει μεθόδους περιορισμού των λειτουργικών της εξόδων.

IRR

Κατά αντίστοιχο τρόπο για τη μέθοδο του εσωτερικού ρυθμού απόδοσης έχουμε ότι $IRR=2\%$

Κρίνεται ικανοποιητικός ο δείκτης IRR. Άρα υπό προϋποθέσεις η μονάδα αναερόβιας χώνευσης μπορεί να αποδειχθεί ένα επικερδές και οικονομικά συμφέρον επενδυτικό πλάνο.

Payback period

Όπως παρατηρούμε το payback period της επένδυσης είναι ίσο με 15 έτη όταν και θα ξεκινήσει να αποδίδει κέρδη η δημιουργία του αναερόβιου χωνευτήρα.

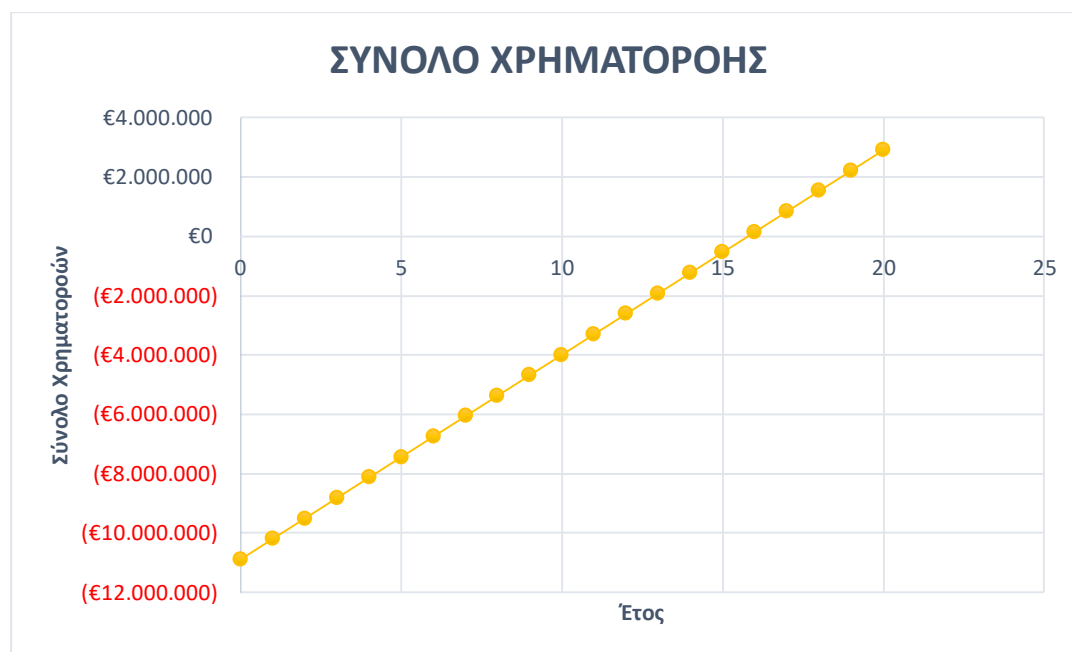
8.1.2 Σενάριο 2^ο

Εξετάζουμε την απόδοση της επένδυσης με τη μέθοδο της NPV, το payback period και το IRR όπως ακριβώς και στο προηγούμενο σενάριο .

ΧΡΗΜΑΤΟΡΡΟΕΣ				
Έτος	ΕΚΡΟΕΣ	ΕΙΣΡΟΕΣ	ΣΥΝΟΛΟ ΕΤΟΥΣ	ΣΥΝΟΛΟ ΧΡΗΜΑΤΟΡΟΗΣ
0	-11.191.000€		-11.191.000€	-11.191.000 €
1	-1.410.470 €	2.111.415 €	700.945 €	-10.490.055 €
2	-1.410.470 €	2.111.415 €	700.945 €	-9.789.110 €
3	-1.410.470 €	2.111.415 €	700.945 €	-9.088.165 €
4	-1.410.470 €	2.111.415 €	700.945 €	-8.387.220 €
5	-1.410.470 €	2.111.415 €	700.945 €	-7.686.275 €
6	-1.410.470 €	2.111.415 €	700.945 €	-6.985.330 €
7	-1.410.470 €	2.111.415 €	700.945 €	-6.284.385 €
8	-1.410.470 €	2.111.415 €	700.945 €	-5.583.440 €
9	-1.410.470 €	2.111.415 €	700.945 €	-4.882.495 €
10	-1.410.470 €	2.111.415 €	700.945 €	-4.181.550 €
11	-1.410.470 €	2.111.415 €	700.945 €	-3.480.605 €
12	-1.410.470 €	2.111.415 €	700.945 €	-2.779.660 €
13	-1.410.470 €	2.111.415 €	700.945 €	-2.078.715 €
14	-1.410.470 €	2.111.415 €	700.945 €	-1.377.770 €
15	-1.410.470 €	2.111.415 €	700.945 €	-676.825 €

16	-1.410.470 €	2.111.415 €	700.945 €	24.120 €
17	-1.410.470 €	2.111.415 €	700.945 €	725.065 €
18	-1.410.470 €	2.111.415 €	700.945 €	1.426.010 €
19	-1.410.470 €	2.111.415 €	700.945 €	2.126.955 €
20	-1.410.470 €	2.111.415 €	700.945 €	2.827.900 €

Πίνακας 11: Χρηματοροές Επενδυτικού Σχεδίου 20ατίας σενάριο 2



Εικόνα 13:Εξέλιξη εισροών εκροών επένδυσης σε βάθος εικοσαετίας σενάριο 2°

NPV

Εκτελούμε και μέθοδο NPV με επιτόκιο απόδοσης ίσο αυτό της ΕΚΤ 4%. Προκύπτει από [2] ότι:

NPV=-1.664.928,70€ (αρνητική NPV σε βάθος εικοσαετίας) Αυτό το αποτέλεσμα δείχνει ότι θα πρέπει η εταιρία να εξετάσει μεθόδους περιορισμού των λειτουργικών της εξόδων.

IRR

Κατά αντίστοιχο τρόπο για τη μέθοδο του εσωτερικού ρυθμού απόδοσης έχουμε ότι IRR=2%

Κρίνεται ικανοποιητικός ο δείκτης IRR.Άρα υπό προϋποθέσεις η μονάδα αναερόβιας χώνευσης μπορεί να αποδειχθεί ένα επικερδές και οικονομικά συμφέρον επενδυτικό πλάνο.

Payback period

Όπως παρατηρούμε το payback period της επένδυσης είναι ίσο με 16 έτη όταν και θα ξεκινήσει να αποδίδει κέρδη η δημιουργία του αναερόβιου χωνευτήρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κατά τα τελευταία εικοσιπέντε χρόνια, η χρήση της τεχνολογίας αναερόβιας χώνεψης για την επεξεργασία οργανικών αποβλήτων έχει επεκταθεί αισθητά. Ο αριθμός των νέων μονάδων που βασίζονται στη χρήση της τεχνολογίας αναερόβιας χώνεψης αυξάνεται προοδευτικά, ενώ η Ευρώπη φαίνεται να διαδραματίζει ηγετικό ρόλο στη διαμόρφωση, την εξέλιξη και τη χρήση της τεχνολογίας αυτής.

Η τεχνολογία αναερόβιας χώνεψης έχει σημειώσει αξιοσημείωτη πρόοδο στον σχεδιασμό αντιδραστήρων και διεργασιών. Κατά τη περίοδο της αρχικής πρακτικής εφαρμογής της νέας ακόμη αυτής τεχνολογίας, απαιτούνταν μεγάλα χρονικά διαστήματα για την ολοκλήρωση της διαδικασίας. Οι μεσοφιλικές θερμοκρασίες (περίπου 35C) απαιτούν έως και 30 ημέρες για χώνεψης. Η ανάπτυξη θερμοφιλικής χώνεψης (60-65C) μείωσε αισθητά το χρόνο παραμονής στερεών στον χωνευτήρα και συγκεκριμένα ο χρόνος παραμονής διαμορφώθηκε σε λιγότερο από 15 ημέρες.

Οι μονάδες αναερόβιας χώνεψης έχουν επίσης σημειώσει μεγάλη πρόοδο στην ικανότητά τους να επεξεργάζονται ένα ευρύ φάσμα ροών αποβλήτων. Στα τέλη της δεκαετίας του 70, τα περισσότερα από τα εργοστάσια αναερόβιας χώνεψης είχαν σχεδιαστεί για την επεξεργασία λυμάτων και λειτουργούσαν κυρίως με χαμηλή περιεκτικότητα σε στερεά. Ωστόσο, κατά την τελευταία δεκαετία ο αριθμός των διεργασιών υψηλής περιεκτικότητας στερεών έχει αυξηθεί αισθητά για να συμπεριλάβει την επεξεργασία του οργανικού κλάσματος ΑΣΑ. Εάν ένας από τους στόχους των νέων εγκαταστάσεων είναι η παραγωγή ενέργειας, τότε η περιεκτικότητα σε υψηλά στερεά είναι η πιο ελπιδοφόρα πρώτη ύλη.

Στη παρούσα εργασία αναφέρθηκε πως έχει αποδειχθεί ότι οι διεργασίες πολλαπλών σταδίων παρέχουν βιολογική σταθερότητα διατηρώντας σε σταθερά επίπεδα την οξινογένεση και τη μεθανογένεση και επιτρέποντας υψηλότερο ρυθμό οργανικής φόρτωσης χωρίς τη πρόκληση σοκ στα μεθανογενή βακτήρια. Ωστόσο, τα συστήματα πολλαπλών σταδίων είναι περίπλοκα και τα οφέλη δεν δικαιολογούν το υψηλό επενδυτικό κόστος. Οι μονάδες αναερόβιας χώνεψης ενός σταδίου αντιθέτως κυριαρχούν στην

αγορά κυρίως εξ' αιτίας του απλού σχεδιασμού των αντιδραστήρων και του χαμηλού κόστους επένδυσης και λειτουργίας τους.

Η εκτεταμένη εφαρμογή και η σημειωθείσα πρόοδος της τεχνολογίας αναερόβιας χώνεψης υποστηρίχθηκε επίσης από την εθνική και τη κοινοτική νομοθεσία. Οι περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες στοχεύουν να περιορίσουν τη διάθεση των ΑΣΑ σε χώρους υγειονομικής ταφής σε όχι περισσότερο από το 5% επί του συνολικού συλλεγόμενου υλικού και έχουν παράλληλα αυξήσει τους επιβληθέντες φόρους και τα πρόστιμα που επιβαρύνουν τη διαδικασία υγειονομικής ταφής. Οι πρωτοβουλίες αυτές στοχεύουν στη διασφάλιση πως τα απόβλητα υφίστανται σωστή επεξεργασία για καύσιμα και οργανικά αντί να θάβονται στο έδαφος. Ο στόχος της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε ποσοστό 15% επί της συνολικής παραγόμενης ενέργειας έως το 2010, καθώς και προγράμματα όπως η «πράσινη τιμολόγηση» στις Κάτω Χώρες και σε ορισμένες άλλες ευρωπαϊκές χώρες συνέβαλλαν στην εγκαθίδρυση περισσότερων εγκαταστάσεων αναερόβιας χώνεψης, οι οποίες τώρα επίσης μπορούν να πωλούν βιοαέριο για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε προνομιακή τιμή. Ομοίως, στο Ηνωμένο Βασίλειο, βάσει του νόμου περί μη ορυκτών καυσίμων (NFFO), η ηλεκτρική ενέργεια παρέχεται σε προνομιακή τιμή από το συστήματα αναερόβιας χώνεψης.

Ένας άλλος παράγοντας που προκάλεσε την επιλογή ανάκτησης ενέργειας από απόβλητα είναι οι διεθνείς συμφωνίες σχετικά με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Οι χώροι υγειονομικής ταφής είναι μια μεγάλη πηγή εκπομπών μεθανίου στην ατμόσφαιρα και το αέριο μεθάνιο διαθέτει δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη που είναι πάνω από είκοσι φορές από αυτό του διοξειδίου του άνθρακα. Επίσης, πολλές επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας ενδιαφέρονται πολύ να διεκδικήσουν χρηματοδότηση για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Αυτά τα προγράμματα προωθητικών ενεργειών για τη παρακίνηση στοχευμένων επενδύσεων προβλέπουν την ενδεχόμενη επιβολή υποχρεωτικού ελέγχου των αερίων του θερμοκηπίου μέσα από μελλοντικές κανονιστικές ή νομοθετικές ενέργειες. Επομένως, οι μονάδες αναερόβιας χώνεψης θα αποτελέσουν πολύ ελκυστικές επενδυτικές προτάσεις για επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας που διεκδικούν τέτοιου είδους επιχορηγήσεις.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ανδρεαδάκης, Α., Κατσίρη, Α., & Μαμάης, Δ. (2001). *Τεχνολογία Αντιμετώπισης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων/Επεξεργασία και Διάθεση Αποβλήτων*. Πάτρα, Ελλάδα: ΕΑΠ.
- Δέλιος, Κ., Κουτρούλης, Α. & Χηντήρη, Ε. (2014). *Επεξεργασία οργανικών αποβλήτων για παραγωγή ενέργειας*. Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αν. Μακεδονίας και Θράκης.
- Δεμεντή, Κ. (2015). *Μελέτη αναερόβιας χώνευσης οργανικού κλάσματος αστικών στερεών αποβλήτων σε διαλείποντος έργου και ημι-συνεχείς συνθήκες*. Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Ζαχαρίας, Σ. (2016). *Μελέτη της αναερόβιας χώνευσης υγρού αποβλήτου ελαιοτριβείου εστιάζοντας στην επίδραση της πηγής αζώτου στην τελική παραγωγή μεθανίου*. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Κακαράς, Ε., & Καρέλλας, Σ. (2014). *Αντιρρυπαντική Τεχνολογία Θερμικών Σταθμών*. Αθήνα: Τσότρας.
- Κοψαχείλης, Α. (2009). *Αναερόβια χώνευση υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείου σε ένα περιοδικό αναερόβιο αντιδραστήρα με ανακλαστήρες (PABR) και κλασματοποίηση των εκροών*. Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Κρητικός, Ν. Α. (2014). *Σχεδιασμός διεργασιών προς παραγωγή ενέργειας από Αστικά Στερεά Απορρίμματα. Μελέτη περίπτωσης: Αττική*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

- Λοϊζίδου, Μ. (2012). *Βιώσιμη διαχείριση των απορριμμάτων: Μία ολοκληρωμένη αποκεντρωμένη προσέγγιση*. Αθήνα.
- Μαθιουδάκης, Δ. (2016). *Αναερόβια Χώνευση σε πιλοτικής κλίμακας Περιοδικό Αναερόβιο Χωνευτήρα με Ανακλαστήρες (PABR)- Μελέτη Περίπτωσης εγκατάστασης μονάδας βιοαερίου στην περιοχή του Δ.Μετσόβου*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Μεζαρί, Λ. Ε. (2018). *Περιβαλλοντική και οικονομική αποτίμηση μιας μονάδας αναερόβιας χώνευσης μικρής κλίμακας : Εμπειρική ανάλυση*. Πανεπιστήμιο Πειραιώς.
- Μουστάκας, Ζ. (2016). *Ενεργειακή αξιοποίηση υγρών αποβλήτων γαλακτοβιομηχανίας μέσω αναερόβιας χώνευσης: Μελέτη σκοπιμότητας για την περίπτωση της Νεογαλ*. Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας.
- Παπαζηλάκης, Χ. (2013). *Τεχνο-οικονομική μελέτη για μονάδα παραγωγής βιοαερίου σε αγελαδοτροφική μονάδα*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Πρεμέτης, Η. (2016). *Αναερόβια συγχώνευση κτηνοτροφικών αποβλήτων σε πιλοτικής κλίμακας Περιοδικό Αναερόβιο Χωνευτήρα με Ανακλαστήρες (PABR) και μελέτη επίδρασης λειτουργικών παραμέτρων*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Σιούλας, Κ., Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., & Finsterwalder, T. et al. (2009). *Εγχειρίδιο Βιοαερίου*. Πικέρμι, Αττική: ΚΑΠΕ.
- Ahring, B. K. (2003). *Biomethanation I* (1st ed.). Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

- Cadillo-Quiroz, H., Bräuer, S., Goodson, N., Yavitt, J., & Zinder, S. (2014). *Methanobacterium paludis* sp. nov. and a novel strain of *Methanobacterium lacus* isolated from northern peatlands. *International Journal Of Systematic And Evolutionary Microbiology*, 64, 1473-1480. doi: 10.1099/ijs.0.059964-0.
- De Baere, L. (2000). Anaerobic digestion of solid waste: state-of-the-art. *Water Science And Technology*, 41(3), 283-290. doi: 10.2166/wst.2000.0082.
- Eurostat, (2015). Municipal waste generation and treatment, by type of treatment method from 1995 to 2013.
- Fruteau de Laclos, H., Desbois, S. & Saint-Joly, C. Anaerobic digestion of municipal solid organic waste: Valorga full-scale plant in tilburg, The Netherlands. (1997). *Water Science And Technology*, 36(6-7). doi: 10.1016/s0273-1223(97)00555-6.
- Gallert, C. & Winter, J. (1997). Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of source-sorted organic wastes: effect of ammonia on glucose degradation and methane production. *Applied Microbiology And Biotechnology*, 48(3), 405-410. doi: 10.1007/s002530051071.
- Li, Y., Park, S., & Zhu, J. (2011). Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 821-826. doi: 10.1016/j.rser.2010.07.042.

- Murphy, J., & McKeogh, E. (2004). Technical, economic and environmental analysis of energy production from municipal solid waste. *Renewable Energy*, 29(7), 1043-1057. doi: 10.1016/j.renene.2003.12.002.
- Oleszkiewicz, J., & Poggi-Varaldo, H. (1997). High-Solids Anaerobic Digestion of Mixed Municipal and Industrial Waste. *Journal Of Environmental Engineering*, 123(11), 1087-1092. doi: 10.1061/(asce)0733-9372(1997)123:11(1087).
- Oorthuys, T., & Scharff, H. (1996). Operational aspects of aerobic and anaerobic treatment of biowaste in the Netherlands. In J. A. Hansen (Eds.), *Management of urban biodegradable wastes* (pp. 272-278). London, UK: James & James Science.
- Psomopoulos, C., & Themelis, N. (2009). Potential for energy generation in Greece by mass burning and by pre-processing (RDF/SRF) of solid wastes. In *Proc. of the 2nd Int. CEMEPE & SECOTOX Conference*.
- Six, W., & De Baere, L. (1992). Dry Anaerobic Conversion of Municipal Solid Waste by Means of the Dranco Process. *Water Science And Technology*, 25(7), 295-300. doi: 10.2166/wst.1992.0161.
- Thurm, F. & Schmid, W. (1999). "Renewable energy by fermentation of organic waste with the Kompogas process". In II Int. Symp. Anaerobic Dig. Solid Waste, held in Barcelona, June 15-17, 1999 (eds.), vol. 2, pp. 342-3345.
- Khalid, A., Arshad, M., Anjum, M., Mahmood, T., & Dawson, L. (2011). The anaerobic digestion of solid organic waste. *Waste Management*, 31(8), 1737-1744. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.03.021>

- Hobson, P., & Wheatley, A. (2021). *Anaerobic digestion: modern theory and practice*. Osti.gov. Retrieved 29 September 2021, from <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/5906328> .
- Zhang, J., Gu, D., Chen, J., He, Y., Dai, Y., Loh, K., & Tong, Y. (2021). Assessment and optimization of a decentralized food-waste-to-energy system with anaerobic digestion and CHP for energy utilization. *Energy Conversion And Management*, 228, 113654. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113654>
- Dehkordi, S., Jahromi, A., Ferdowsi, A., Shumal, M., & Dehnavi, A. (2020). Investigation of biogas production potential from mechanical separated municipal solid waste as an approach for developing countries (case study: Isfahan-Iran). *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 119, 109586. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109586>
- Yosypovych, K., Dirk, H., Christoph, H., Dieter, M., Markovych, T. and Anatoliivna, S., 2021. Implementation of coprocessing of waste in cement kilns for Ukraine. Waste management issues.. [online] Ela.kpi.ua. Available at: < <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/41944/1/Monograph.pdf> >
- Ng, K., Phan, A., Iacovidou, E., & Wan Ab Karim Ghani, W. (2021). Techno-economic assessment of a novel integrated system of mechanical-biological treatment and valorisation of residual municipal solid waste into hydrogen: A case study in the UK. *Journal Of Cleaner Production*, 298, 126706. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126706>
- Olivard, P. (2017). Feasibility Study of running an Anaerobic Digestion Plant coupled with a Combined Heat and Power Plant near Paris, France, processing 50,000 tons of food waste per year [Ebook]. Retrieved 9

November 2021, from

[http://file:///C:/Users/admin/Downloads/132528753%20\(2\).pdf](http://file:///C:/Users/admin/Downloads/132528753%20(2).pdf).