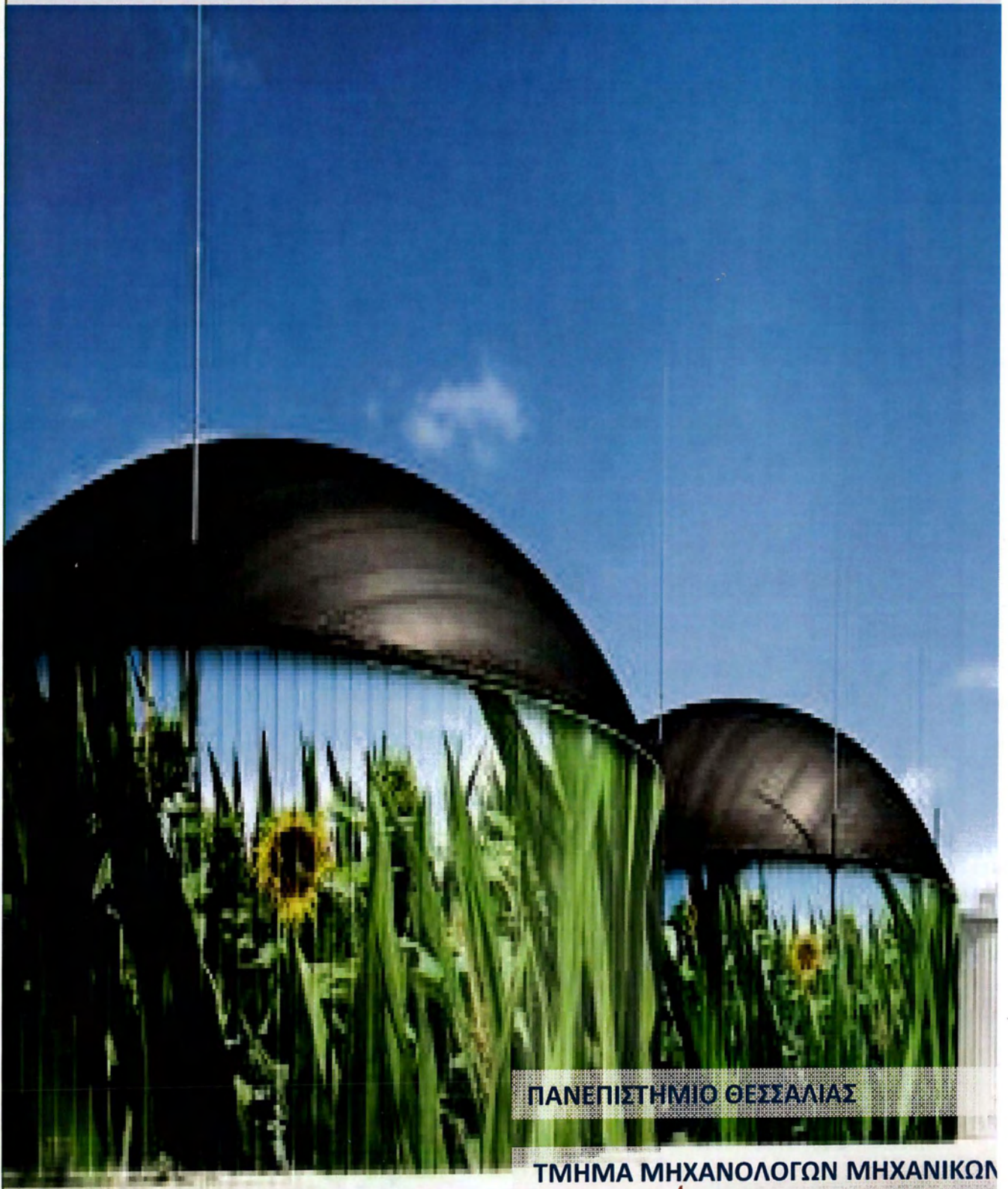


Ενεργειακή Διαχείριση Μονάδας Βιοαερίου

με αξιοποίηση κτηνοτροφικών αποβλήτων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ ΠΙΣΚΟΛΙΟΥ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΒΟΛΟΣ 2014



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 12867/1
Ημερ. Εισ.: 05-09-2014
Δωρεά: Συγγραφέας
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΜ
2014
ΠΙΣ

© 2014 Παναγιώτης Πισκολιού

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων) Αναστάσιος Σταμάτης
Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Νικόλαος Ανδρίτσος
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Βασίλης Μποντόζογλου
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πρωτίστως οφείλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Σταμάτη Αναστάσιο για την καθοδήγηση την συνεργασία και τις πολύτιμες συμβουλές του. Ευχαριστώ επίσης τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, καθηγητές κ. Ανδρίτσο Νικόλαο και κ. Μποντόζογλου Βασίλειο που τίμησαν με την φυσική τους παρουσία την παρουσίαση της εργασίας μου.

Ένα ευχαριστώ είναι μάλλον λίγο για τον Θανάση και την Σάσα που συμπαραστάθηκαν σε όλη μου την προσπάθεια τόσο σαν φίλοι με την υποστήριξη και το ενδιαφέρον τους, όσο και σαν συνάδελφοι με τις γνώσεις τους. Ένα **μεγάλο ευχαριστώ** λοιπόν!

Δεν μπορώ να παραβλέψω επίσης τους φίλους μου Γιάννη και Βασίλη για τις ιδέες, τις συμβουλές και την βοήθεια τους όλο αυτό τον καιρό.

Τέλος, να ευχαριστήσω με όλη μου την καρδιά τους γονείς μου Χρυσούλα και Γραμμένο, για την αγάπη τους αλλά και τη δύναμη και το κουράγιο που μου έδιναν σε κάθε μου βήμα. Έυχομαι με αυτή την εργασία να τους ανταποδώσω όσο είναι δυνατόν για όσα μου προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια .

Παναγιώτης Πισκολιού

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ ΜΟΝΑΔΑΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΜΕ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΠΙΣΚΟΛΙΟΥ

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, 2014

Επιβλέπων Καθηγητής: Αναστάσιος Σταμάτης, Αναπληρωτής Καθηγητής

Εφαρμοσμένης Θερμοδυναμικής - Θερμικών Σταθμών

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να εξετάσει την αποδοτικότητα μονάδων παραγωγής και καύσης βιοαερίου που χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη κτηνοτροφικά υπολείματα. Στα πρώτα κεφάλαια παρουσιάζονται τόσο οι βιοχημικές διεργασίες της Αναερόβιας Χώνευσης όσο και οι κυριότεροι παράμετροι κατασκευής και λειτουργίας μιας τέτοιας εγκατάστασης.

Στην συνέχεια η ενεργειακή συμπεριφορά της εγκατάστασης προσομοιώνεται με την χρήση υπολογιστικών φύλλων MSExcel ώστε να υπολογισθούν με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια η καθαρή παραγωγή ενέργειας και οι επιμέρους απώλειες.

Τέλος μελετώνται ως προς την ενεργειακή τους απόδοση δύο τυπικές μονάδες βιοαερίου, που λειτουργούν σε Μεσόφιλες και Θερμόφιλες συνθήκες χώνευσης αντίστοιχα, και εντοπίζονται τα συγκριτικά τους πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

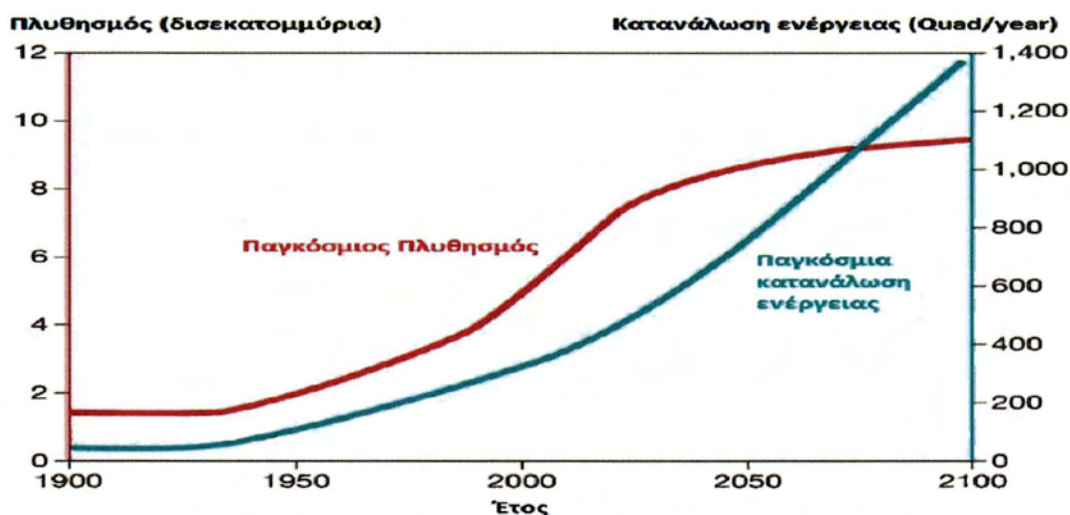
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
2. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	7
3. Η ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ.....	9
3.1 ΑΝΑΕΡΩΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ	9
3.2 ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΧΩΝΕΥΣΗ	10
3.3 Η ΒΙΟΧΗΜΙΚΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΕΡΟΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ	11
3.3.1 Υδρόλυση	13
3.3.2 Οξειογένεση	13
3.3.3 Οξικογένεση	13
3.3.4 Μεθανογένεση	14
4. Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΙΑΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	15
4.1 ΚΥΡΙΑ ΣΤΑΔΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	15
4.2 ΠΑΡΑΔΟΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ	16
4.3 ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ.....	16
4.4 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΟΥ ΜΕΣΟΥ, ΔΟΣΟΛΟΓΙΑ	17
4.5 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΣΤΟ ΧΩΝΕΥΤΗΡΑ	17
4.6 ΧΩΝΕΥΜΕΝΟ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ.....	18
4.7 ΒΙΟΑΕΡΙΟ	18
4.8 ΣΗΘ	19
4.8.1 Μηχανές εσωτερικής καύσης	21
4.8.2 Αεριοστρόβιλοι	23
4.8.3 Ατμοστρόβιλοι	24
4.9 ΜΟΝΑΔΑ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	25
5. ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΜΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	26
5.1 ΤΑ ΚΥΡΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	26
5.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	27
5.2.1 Συνεχούς ή ασυνεχούς τροφοδοσίας (Batchtype).....	27
5.2.2 Θερμοκρασία ζύμωσης	28
5.2.3 Περιεκτικότητα σε στερεά	28
5.2.4 Λειτουργία ενός ή περισσότερων σταδίων	29
5.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΝΟΣ ΧΩΝΕΥΤΗΡΑ	29
5.4 ΒΑΣΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ ΧΩΝΕΥΤΗΡΩΝ	31
5.4.1 Μονάδες τύπου μπαλονιού (Balloon).....	31
5.4.2 Οριζόντιες μονάδες.....	32
5.4.3 Μονάδες τύπου σκάμματος.....	32
5.4.4 Μονάδες από σιδηροτσιμέντο (Ferrocement).....	33
5.4.5 Χωνευτήρες σταθερού θόλου (FixedDome)	33
5.4.6 Χωνευτήρες με τύμπανο (FloatingDrum)	35
5.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ.....	37
5.6 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ	39
5.7 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΔΕΥΣΗΣ	40
5.7.1 Ανάδευση μέσω εσωτερικής ροής.....	40
5.7.2 Μηχανικός αναδευτήρας με κουπιά (paddles).....	41
5.7.3 Εσωτερικός ρότορας ανάδευσης	41
5.7.4 Εξωτερικός ρότορας ανάδευσης.....	42
5.7.5 Υδραυλική ανάδευση.....	42
5.7.6 Πνευματική ανάδευση.....	43

6. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ MS EXCEL	44
6.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ	44
6.2 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ.....	49
6.3 ΠΡΟΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΝΑΔΕΥΣΗ	51
6.4 ΑΝΤΛΙΕΣ	56
6.5 ΜΟΝΑΔΑ Σ.Η.Θ.....	61
6.6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	62
7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	67
7.1 Η ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΒΙΟΑΕΡΙΟ.....	67
7.2 ΤΟ ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	67
7.3 Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ	70
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	73
9. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ.....	75
.....	76

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύμφωνα με τα τωρινά δεδομένα και παρόλες τις προσπάθειες που καταβάλλονται παγκοσμίως η παραγωγή ενέργειας στηρίζεται σε σημαντικό βαθμό στα συμβατικά καύσιμα. Δεδομένης της εξαντλισιμότητας των ορυκτών πόρων και της ολοένα και αυξανόμενης ζήτησης ενέργειας, είναι λογικό να θεωρήσουμε το ενεργειακό ζήτημα ως ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που θα κληθεί να αντιμετωπίσει η ανθρωπότητα τις επόμενες δεκαετίες. Είναι χαρακτηριστικό ότι και οι πλέον αισιόδοξες εκτιμήσεις κάνουν λόγο για εξάντληση των αποθεμάτων πετρελαίου σε περίπου 40 χρόνια και του φυσικού αερίου σε 160. Επιπλέον μόνο ως αμελητέες δεν μπορούν να χαρακτηριστούν οι επιπτώσεις της αλόγιστης χρήσης υδρογονανθράκων στο περιβάλλον. Να σημειωθεί ότι κάθε χρόνο απελευθερώνονται πάνω από 21 εκατομμύρια τόνοι διοξειδίου του άνθρακα στο περιβάλλον από τους οποίους οι μισοί παραμένουν στην ατμόσφαιρα. Συνεπώς πρέπει να ισχυροποιηθεί η τάση προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, που ξεκίνησε στις αρχές του 21^{ου} αιώνα αλλά δυστυχώς τα τελευταία χρόνια παρουσιάζει μια στασιμότητα.

Ακόμα ένα περιβαλλοντικό ζήτημα μείζονος σημασίας είναι η αυξανόμενη παραγωγή αποβλήτων κυρίως σε χώρες του ανεπτυγμένου κόσμου. Με τον πληθυσμό της γής να αυξάνεται σύμφωνα με έρευνες τουλάχιστον έως τα 7,5 δισεκατομμύρια το 2050 και τους ανθρώπους να παράγουν περισσότερα απόβλητα από ποτέ λόγω του υπερκαταναλωτικού σύγχρονου τρόπου ζωής η διαχείριση των αποβλήτων θα μας απασχολήσει σίγουρα στο εγγύς μέλλον. Η ανεξέλεγκτη απόθεση αποβλήτων έχει εγκαταληφθεί εδώ και χρόνια ωστόσο και η ελεγχόμενη διάθεση που εφαρμόζεται σήμερα δεν είναι πλέον αποδεκτή. Ακόμα η μέθοδος της αποτέφρωσης που χρησιμοποιείται δεν συνεισφέρει στην ανάκτηση ενέργειας ενώ δεν τηρεί και τα σύγχρονα περιβαλλοντικά πρότυπα αυξάνοντας τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.



Πίνακας 1 Εξέλιξη του παγκόσμιου πληθυσμού και της κατανάλωσης ενέργειας

Η επεξεργασία των οργανικών αποβλήτων με την μέθοδο της αναερόβιας χώνσωσης συνεισφέρει στη λύση και των δύο προβλημάτων που τέθηκαν παραπάνω. Ανακυκλώνοντας τις παραμένουσες θρεπτικές ουσίες των αποβλήτων παράγεται βιοαέριο, ένα ανανεώσιμο καύσιμο με ικανοποιητική περιεκτικότητα σε μεθάνιο, καθώς και ένα οργανικό λίπασμα για γεωργική χρήση. Το βιοαέριο περιέχει εκτός από μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα και μικρές ποσότητες αζώτου, υδρογόνου, αμμωνίας και υδρόθειου. Πρόκειται για μία καθαρή μορφή ενέργειας διότι παρουσιάζει μηδενικό αποτύπωμα άνθρακα στο περιβάλλον. Δηλαδή η εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά την καύση του ισούνται με το ποσό που απορροφάται κατά την παραγωγή του. Έτσι το ισοζύγιο εκπομπών είναι μηδενικό με αποτέλεσμα η καύση του να μην επιβαρύνει την ατμόσφαιρα. Αν συνυπολογίσουμε και τις εκπομπές αερίων από την καύση οποιουδήποτε συμβατικού καυσίμου για την παραγωγή ίσου ποσού ενέργειας, προκύπτει το πραγματικό όφελος προς το περιβάλλον από την χρήση ανανεώσιμων πηγών όπως το βιοαέριο.

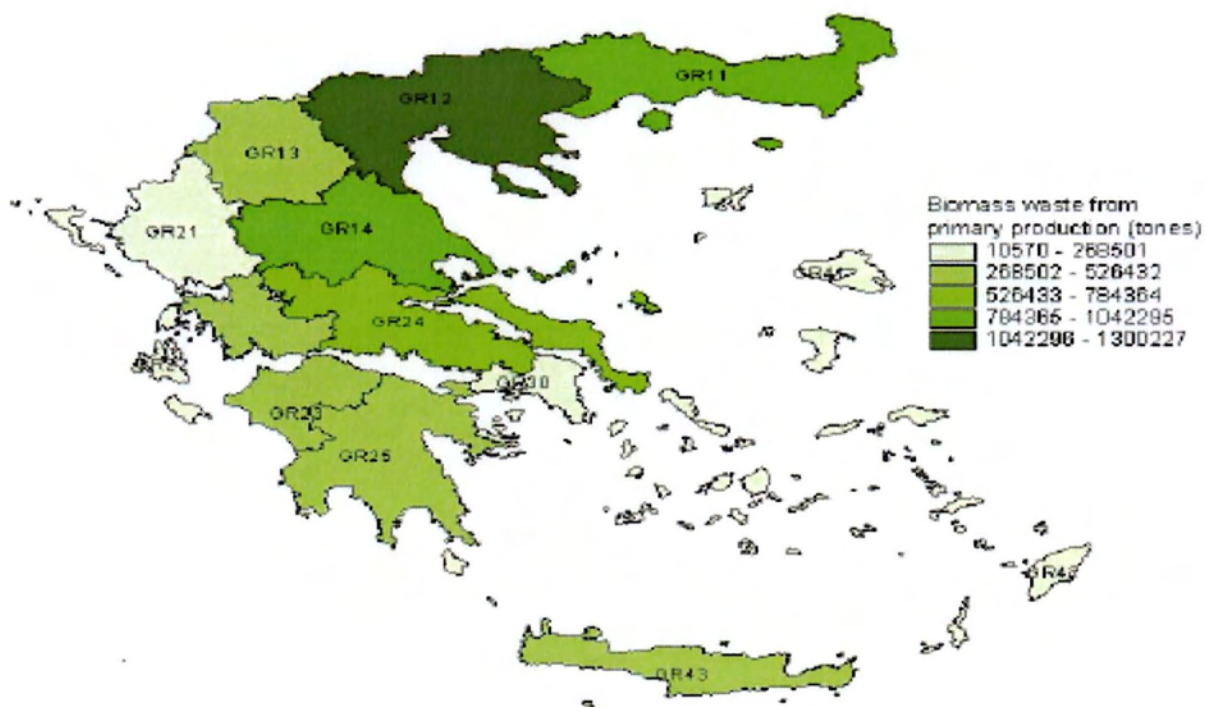
2.ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Για πρώτη φορά, σύμφωνα με τους Metcalf&Eddy [1], παράχθηκε βιοαέριο μέσω αναερόβιας χώνσωσης στα τέλη του 19^{ου} αιώνα στην Μ.Βρετανία. Η διεργασία έκτοτε εξελίχθηκε σε μεγάλο βαθμό με κυριότερο πεδίο εφαρμογής την επεξεργασία λυμάτων και την σταθεροποίηση της λυματολάσπης. Η πετρελαική κρίση της δεκαετίας του '70 έδωσε το έναυσμα για την αξιοποίηση της τεχνολογίας αυτής και σε άλλες εφαρμογές όπως η γεωργία και η βιομηχανία τροφίμων.

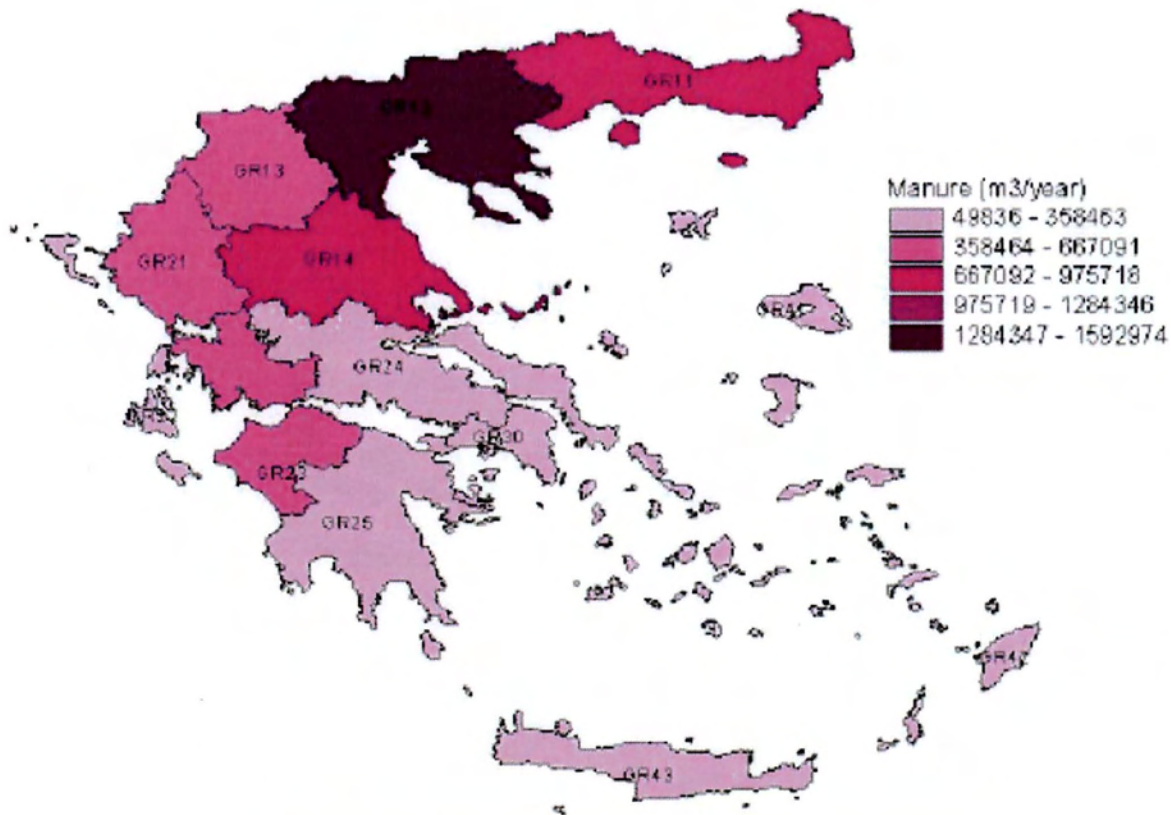
Στην Ασία και την Αφρική λειτουργούν εδώ και πολλά χρόνια εκατομμύρια χωνευτήρες με σκοπό την παραγωγή βιοαερίου για φωτισμό και μαγείρεμα. Πρόκειται για μικρής κλίμακας δομές κατασκευασμένες συνήθως από φυσικά υλικά που επεξεργάζονται τα οικιακά απόβλητα με απλή τεχνολογία. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στην Κίνα υπάρχουν πάνω από 38.000.000 χωνευτήρες ενώ άλλα 4.000.000 βρίσκονται στην Ινδία [2] , [14]. Στην Ευρώπη και την Β. Αμερική η παραγωγή βιοαερίου εφαρμόζεται με διαφορετικό τρόπο και πολύ υψηλότερη τεχνολογία. Υπάρχουν χιλιάδες μονάδες Αναερώβιας Χώνσωσης μεσαίας και μεγάλης κλίμακας, που αξιοποιούν συνήθως γεωργικά και ζωικά υποστρώματα, με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στην Γερμανία που είναι από τους πρωτοπόρους του χώρου λειτουργούν σχεδόν 4000 αγροτικές εγκαταστάσεις. Στη Δανία εφαρμόζεται ένα διαφορετικό σχήμα με κεντρικές εγκαταστάσεις συγχώνευσης που επεξεργάζονται απόβλητα της γύρω περιοχής σε μεγάλης

κλίμακας εργοστάσια. Σε πολλές χώρες χρησιμοποιούνται διατάξεις αναερόβιας χώνευσης για την επεξεργασία υγρών και στερεών αποβλήτων κυρίως σε βιολογικούς καθαρισμούς και Χ.Υ.Τ.Α. (χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων). Στην Ευρώπη, εκτός από την σημαντική συνεισφορά στο τομέα της ηλεκτροπαραγωγής το βιοαέριο χρησιμοποιείται και για την θέρμανση κτηριακών εγκαταστάσεων όπως σχολεία, κολυμβητήρια κ.α. . Μία ακόμα εφαρμογή είναι η αναβάθμιση του βιοαερίου σε βιομεθάνιο αφαιρώντας τους μολυσματικούς παράγοντες και το διοξείδιο του άνθρακα που περιέχει. Μέσω της αναβάθμισης αυξάνεται η περιεκτικότητα σε μεθάνιο έως και το 95% σε σύγκριση με το 50-70% του πρωτογενούς βιοαερίου. Το βιομεθάνιο μπορεί να υποκαταστήσει το φυσικό αέριο είτε εγχύοντας το στο δίκτυο διανομής είτε χρησιμοποιώντας το ως καύσιμο κίνησης σε λεωφορεία και αυτοκίνητα, πρακτική που εφαρμόζεται με ενθαρρυντικά αποτελέσματα τα τελευταία χρόνια στην Σουηδία [3].

Στην Ελλάδα τον Μάρτιο του 2013 ήταν συνδεδεμένες με το δίκτυο μόλις 12 μονάδες βιοαερίου με συνολική ισχύ 45MW ενώ έχουν κατατεθεί και 26 προσφορές σύνδεσης στον ΑΔΜΗΕ με ισχύ 241MW. Στην πλειοψηφία τους πρόκειται για εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων και στερεών αποβλήτων σε Χ.Υ.Τ.Α. καθώς και κάποιες αγροτικές εγκαταστάσεις χώνευσης ζωικών και φυτικών υποστρωμάτων. Ωστόσο η παρούσα κατάσταση δεν ανταποκρίνεται στο υπάρχον δυναμικό ειδικά όσον αφορά τα γεωργικά και κτηνοτροφικά απόβλητα [11].



Εικόνα 1 Αγροτικά υπολείμματα από την πρωτογενή παραγωγή (γεωργία)



Εικόνα 2 Αγροτικά απόβλητα δευτερογενούς τομέα (κτηνοτροφία)

3.Η ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΕΡΩΒΙΑΣ ΧΩΝΕΥΣΗΣ

Ακολουθούν μερικές πληροφορίες σχετικά με την διεργασία της **αναερώβιας χώνευσης** (ΑΧ) στην οποία βασίζεται η παραγωγή βιοαερίου:

3.1 Αναερώβια χώνευση

Η αναερώβια χώνευση (ΑΧ) είναι μια βιοχημική διεργασία κατά τη διάρκεια της οποίας σύνθετα οργανικά στοιχεία αποσυντίθεται απουσία οξυγόνου, από διάφορους τύπους αναερόβιων μικροοργανισμών. Η διεργασία της ΑΧ είναι κοινή σε πολλά φυσικά περιβάλλοντα. Σε μία εγκατάσταση βιοαερίου, το αποτέλεσμα της διεργασίας της ΑΧ είναι το **βιοαέριο** και το **κομπόστ**. Όταν το υπόστρωμα για την ΑΧ είναι ένα ομοιογενές μίγμα από δύο ή περισσότερους τύπους πρώτων υλών (π.χ. ζωικοί πολτοί και οργανικά απόβλητα από τις βιομηχανίες τροφίμων) τότε έχουμε την λεγόμενη «**συγχώνευση**» που χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές του βιοαερίου σήμερα [16]. Η σύσταση του εξαρτάται από το είδος της πρώτης ύλης

και τις συνθήκες επεξεργασίας με τις τυπικές τιμές να παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

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

Πίνακας 2 Τυπική σύσταση βιοαερίου

3.2 Υποστρώματα για την αναερόβια χώνευση

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα ευρύ φάσμα τύπων βιομάζας ως υπόστρωμα (πρώτη ύλη) για την παραγωγή βιοαερίου από την ΑΧ. Οι πιο κοινές κατηγορίες πρώτης ύλης που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή του βιοαερίου στην Ευρώπη παρατίθενται παρακάτω [17] :

- Ζωικά περιττώματα και πολτοί
- Γεωργικά υπολείμματα και υποπροϊόντα
- Οργανικά απόβλητα που μπορούν να υποστούν χώνευση από τρόφιμα και αγροτοβιομηχανίες (φυτικής και ζωικής προέλευσης)
 - Το οργανικό μέρος των αστικών αποβλήτων από τις επιχειρήσεις εστίασης
 - Λυματολάσπη
 - Ειδικές ενεργειακές καλλιέργειες (π.χ. αραβόσιτος, μίσχανθος, σόργο)

Η χρήση των ζωικών περιττωμάτων και πολτών ως πρώτη ύλη για την ΑΧ έχει μερικά πλεονεκτήματα λόγω των ιδιοτήτων τους:

- Του φυσικού περιεχομένου τους σε αναερόβια βακτηρίδια.
- Του υψηλού περιεχομένου τους σε νερό (4-8% ΞΟ στους πολτούς), το οποίο ενεργεί ως διαλύτης για τα άλλα υποστρώματα και εξασφαλίζει την κατάλληλη ανάμιξη και ροή της βιομάζας.
 - Της οικονομικής τιμής.
 - Της υψηλής προσβασιμότητας, καθώς συλλέγονται ως υπολείμματα από τη ζωική καλλιέργεια.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται οι παραγωγές βιοαερίου των πιο διαδεδομένων οργανικών υποστρωμάτων, όπως και η περιεκτικότητά τους σε μεθάνιο [7].

Πρώτη ύλη	Περιεχόμενο μεθανίου (%)	Παραγωγή βιοαερίου (m ³ /tΦΠΥ)
Υγρή κοπριάβοοειδών	60	25
Υγρή κοπριά χοίρων	65	28
Υπολείμματα αποστακτηρίων	61	40
Κοπριά βοοειδών	60	45
Κοπριά χοίρων	60	60
Κοπριά πουλερικών	60	80
Τεύτλα	53	88
Οργανικά απόβλητα	61	100
Σωρός χλόης	54	172
Σωρός καλαμποκιού	52	202

Πίνακας 3 Παραγωγές μεθανίου και βιοαερίου διαφόρων πρώτων υλών

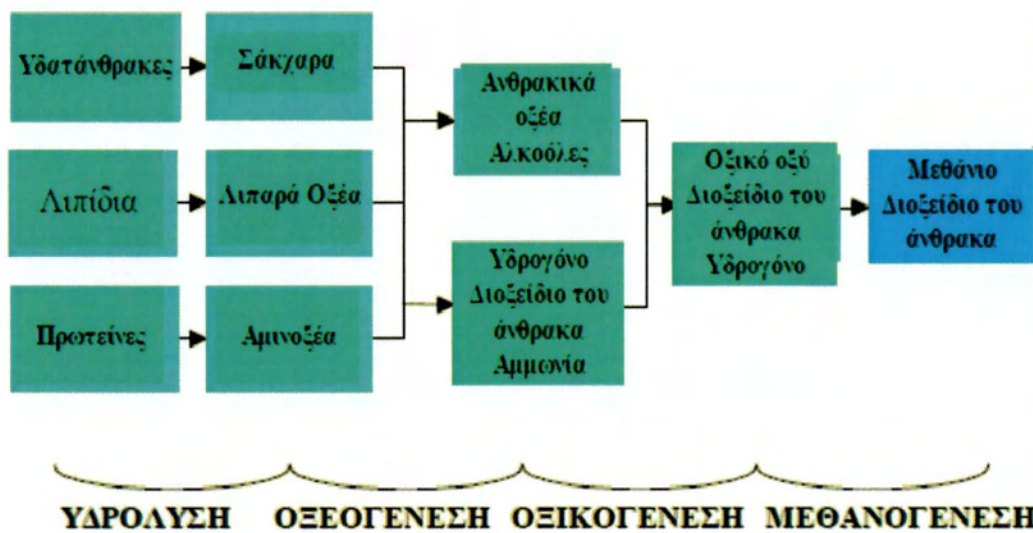
Όπου ΦΠΥ: φρέσκια πρώτη ύλη

3.3 Η βιοχημική διεργασία της Αναερόβιας Χώνευσης

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η ΑΧ είναι η μικροβιολογική διαδικασία αποσύνθεσης της οργανικής ουσίας απουσία οξυγόνου. Τα βασικά προϊόντα αυτής της διεργασίας είναι το βιοαέριο και το κομπόστ. Το βιοαέριο είναι ένα αέριο καύσιμο, αποτελούμενο κυρίως από μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Το κομπόστ είναι το αποσυντεθειμένο υπόστρωμα, επακόλουθο της παραγωγής του βιοαερίου.

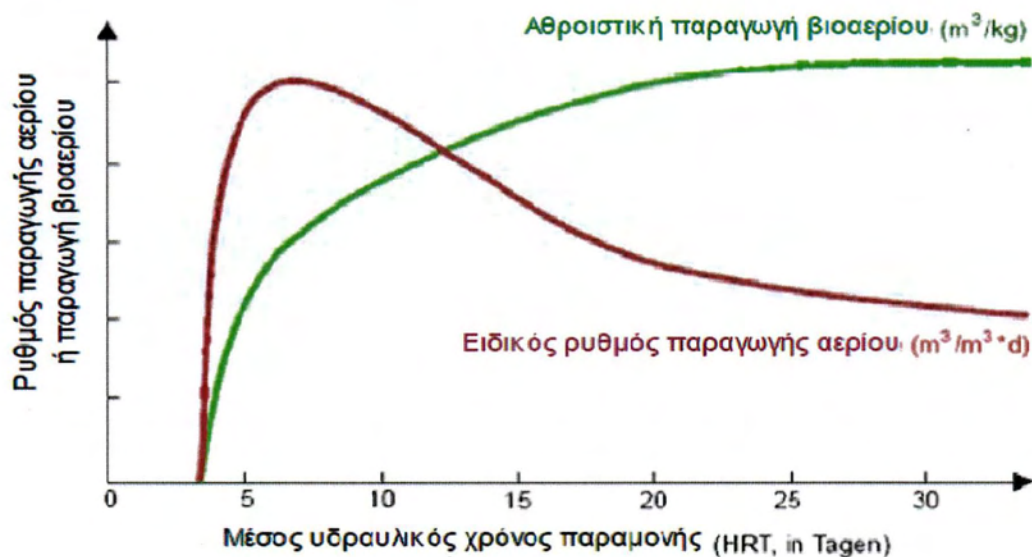
Κατά τη διάρκεια της ΑΧ, παράγεται πολύ λίγη θερμότητα σε αντίθεση με την αερόβια (παρουσία οξυγόνου) αποσύνθεση, όπως η κομποστοποίηση. Η ενέργεια, που είναι χημικά δεσμευμένη μέσα στο υπόστρωμα, παραμένει κυρίως στο παραγόμενο βιοαέριο με τη μορφή μεθανίου.

Η διεργασία σχηματισμού του βιοαερίου είναι ένα αποτέλεσμα συνδυαστικών βημάτων, στα οποία το αρχικό υλικό συνεχώς διασπάται σε μικρότερα στοιχεία. Ειδικές ομάδες μικροοργανισμών εμπλέκονται σε καθένα από τα μεμονωμένα βήματα. Αυτοί οι οργανισμοί αποσυνθέτουν διαδοχικά τα προϊόντα των προηγούμενων βημάτων. Ένα απλουστευμένο διάγραμμα της διεργασίας της ΑΧ παρουσιάζεται, όπου διακρίνονται τα τέσσερα κύρια βήματα της διεργασίας: η υδρόλυση, η οξεογένεση, η οξικογένεση, και η μεθανογένεση [4].



Εικόνα 3 Η βιοχημική διεργασία της αναερόβιας χώνευσης

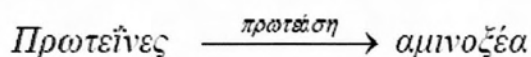
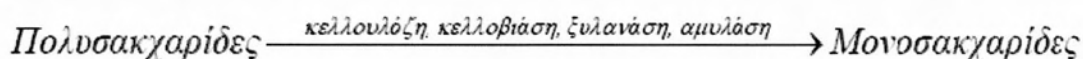
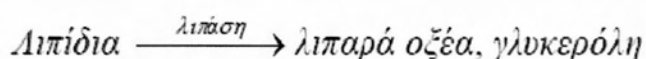
Τα στάδια της διεργασίας που αναφέρονται στην Εικόνα 3 λαμβάνουν χώρα παράλληλα στο χώρο και το χρόνο, στη δεξαμενή χώνευσης. Η ταχύτητα της συνολικής διεργασίας αποσύνθεσης καθορίζεται από την πιο αργή αντίδραση της αλυσίδας. Στην περίπτωση των εγκαταστάσεων βιοαερίου όπου γίνεται επεξεργασία των φυτικών υποστρωμάτων που περιέχουν κυτταρίνη, ημι-κυτταρίνη ή λιγνίνη, η υδρόλυση είναι αυτή που καθορίζει την ταχύτητα της διεργασίας. Κατά την υδρόλυση, παράγονται σχετικά μικρές ποσότητες βιοαερίου. Η παραγωγή βιοαερίου φθάνει στην αιχμή της κατά την μεθανογένεση. Στο πίνακα 4 παρουσιάζεται η αθροιστική παραγωγή βιοαερίου μετά από την προσθήκη υποστρώματος ως συνάρτηση του χρόνου παραμονής στον χωνευτήρα [13].



Πίνακας 4 Παραγωγή βιοαερίου

3.3.1 Υδρόλυση

Η υδρόλυση είναι θεωρητικά το πρώτο βήμα της χώνευσης, κατά τη διάρκεια της οποίας η σύνθετη οργανική ουσία (πολυμερή) αποσυντίθεται σε μικρότερα στοιχεία (μονομερή και ολιγομερή). Τα πολυμερή όπως οι υδατάνθρακες, τα λιπίδια, τα νουκλεϊκά οξέα και οι πρωτεΐνες μετατρέπονται σε γλυκόζη, γλυκόλη, πουρίνες, πυριδίνες. Τα υδρολυτικά βακτηρίδια εκκρίνουν υδρολυτικά ένζυμα, μετατρέποντας τα βιοπολυμερή σε απλούστερες και διαλυτές ενώσεις όπως παρουσιάζεται παρακάτω:



Μια μεγάλη ποικιλία μικροοργανισμών εμπλέκονται στην υδρόλυση, η οποία πραγματοποιείται από τα εξοζύμια, που παράγονται από τους μικροοργανισμούς εκείνους που αποσυνθέτουν το αδιάλυτο μοριακό υλικό. Τα προϊόντα που προκύπτουν από την υδρόλυση αποσυντίθενται περαιτέρω από τους εμπλεκόμενους μικροοργανισμούς και χρησιμοποιούνται για τις δικές τους διεργασίες μεταβολισμού [5].

3.3.2 Οξεογένεση

Κατά τη διάρκεια της οξεογένεσης, τα προϊόντα της υδρόλυσης μετατρέπονται από οξεογενή βακτηρίδια σε μεθανογενή υποστρώματα. Τα απλά σάκχαρα, τα αμινοξέα και τα λιπαρά οξέα υποβιβάζονται σε οξικό άλας, διοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο (70%), καθώς επίσης και σε πτητικά λιπαρά οξέα (VolatileFattyAcids-VFA) και αλκοόλες (30%).

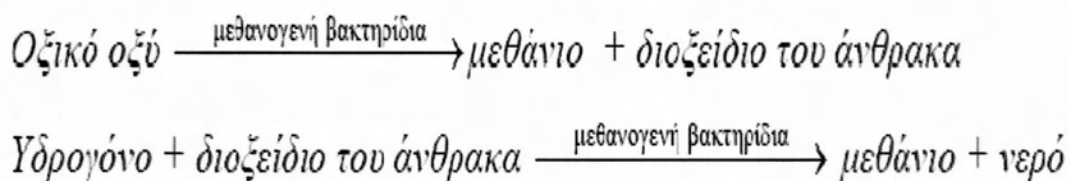
3.3.3 Οξικογένεση

Κατά τη διάρκεια της οξικογένεσης, τα προϊόντα από την οξεογένεση που δεν μπορούν να μετατραπούν άμεσα σε μεθάνιο από τα μεθανογενή βακτηρίδια μετατρέπονται σε μεθανογενή υποστρώματα. Τα πτητικά λιπαρά οξέα και οι

αλκοόλες οξειδώνονται σε μεθανογενή υποστρώματα, όπως οξικό οξύ, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα. Τα πτητικά λιπαρά οξέα με αλυσίδες άνθρακα με περισσότερους από δύο δεσμούς και οι αλκοόλες με αλυσίδες άνθρακα με περισσότερους από ένα δεσμό οξειδώνονται σε οξικό οξύ και υδρογόνο. Η παραγωγή του υδρογόνου αυξάνει την μερική πίεση του. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως «υπόλειμμα» της οξικογένεσης και εμποδίζει το μεταβολισμό των οξικογενών βακτηριδίων. Κατά τη διάρκεια της μεθανογένεσης, το υδρογόνο μετατρέπεται σε μεθάνιο. Η οξικογένεση και η μεθανογένεση συνήθως λαμβάνουν χώρα παράλληλα, ως συμβίωση δύο ομάδων οργανισμών.

3.3.4 Μεθανογένεση

Η παραγωγή του μεθανίου και του διοξειδίου του άνθρακα από ενδιάμεσα προϊόντα πραγματοποιείται από τα μεθανογενή βακτηρίδια. Το 70% του διαμορφωμένου μεθανίου προέρχεται από οξικό άλας, ενώ το υπόλοιπο 30% παράγεται από τη μετατροπή του υδρογόνου και του CO₂ σύμφωνα με την ακόλουθη αντίδραση [12] :



Η μεθανογένεση είναι το πιο κρίσιμο βήμα σε ολόκληρη τη διεργασία της χώνευσης, δεδομένου ότι είναι η πιο αργή βιοχημική αντίδραση της διεργασίας. Η μεθανογένεση επηρεάζεται σοβαρά από τις συνθήκες λειτουργίας. Η σύνθεση της πρώτης ύλης, ο ρυθμός τροφοδοσίας, η θερμοκρασία και το pH είναι παραδείγματα παραγόντων που επηρεάζουν αυτό το στάδιο. Η υπερφόρτωση του χωνευτήρα, οι αλλαγές θερμοκρασίας ή η μεγάλη είσοδος οξυγόνου οδηγούν συνήθως στον τερματισμό της παραγωγής μεθανίου.

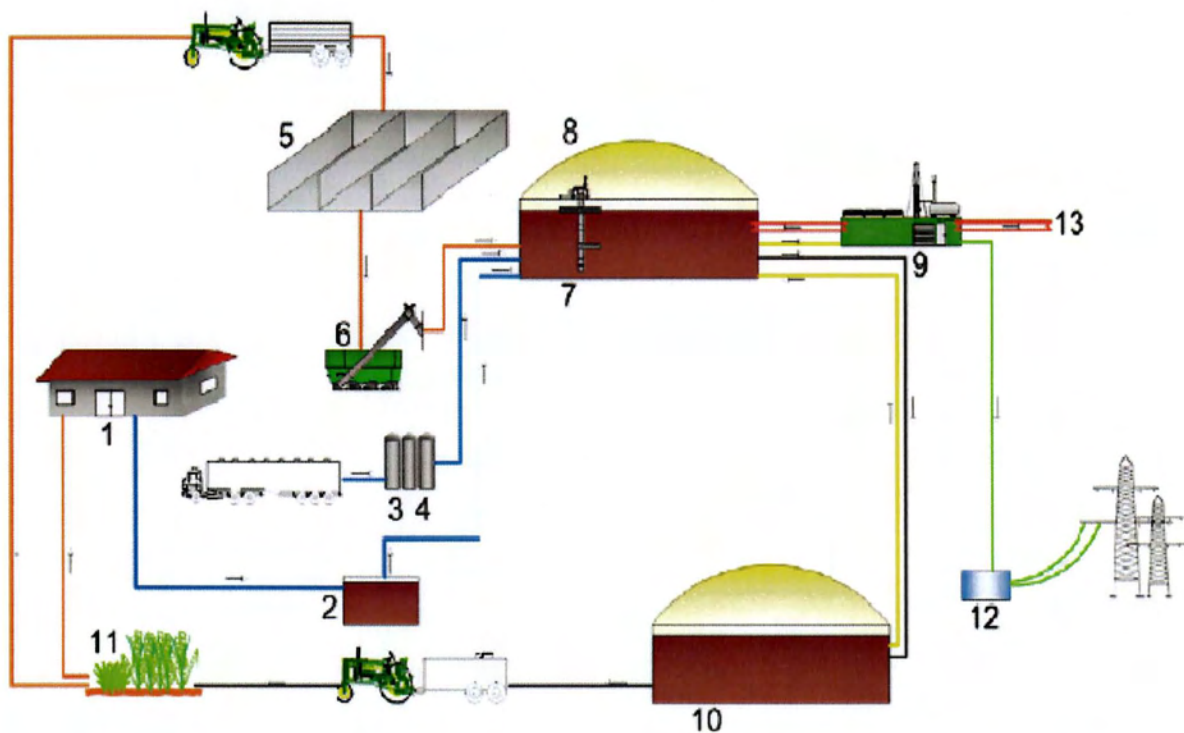
4. Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΙΑΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

4.1 Κύρια στάδια λειτουργίας

Η λειτουργία μίας τυπικής εγκατάστασης βιοαερίου συνοψίζεται σε τέσσερα βασικά στάδια διεργασίας:

1. Μεταφορά, παράδοση, αποθήκευση και προεπεξεργασία της πρώτης ύλης.
2. Παραγωγή βιοαερίου (μέσω Αναερόβιας Χώνευσης).
3. Αποθήκευση του κομπόστ, ενδεχόμενη βελτίωση και χρήση.
4. Αποθήκευση του βιοαερίου, βελτίωση και χρήση.

Τα στάδια της διεργασίας παρουσιάζονται ευκρινέστερα στο Σχήμα, το οποίο έχει μια απλουστευμένη απεικόνιση μιας χαρακτηριστικής εγκατάστασης συγχώνευσης.



- | | | | |
|---|---|----|------------------------------------|
| 1 | Στάβλοι | 8 | Δεξαμενή αποθήκευσης βιοαερίου |
| 2 | Δεξαμενές υγρής κοπριάς | 9 | Μονάδα ΣΗΘ |
| 3 | Δοχεία συλλογής για τα βιοαπόβλητα | 10 | Αποθήκευση του κομπόστ |
| 4 | Δεξαμενή υγιεινής | 11 | Άγροι |
| 5 | Δεξαμενή αποθήκευσης με είσοδο του οχήματος | 12 | Μετασχηματιστής/Τροφοδοσία δικτύου |
| 6 | Σύστημα τροφοδοσίας της στερεάς πρώτης ύλης | 13 | Χρήση θερμότητας |
| 7 | Χωνευτήρας (αντιδραστήρας βιοαερίου) | | |

Εικόνα 4 Κυριότερα στάδια λειτουργίας μιας τυπικής εγκατάστασης βιοαερίου

1. Το πρώτο στάδιο της διεργασίας (αποθήκευση, βελτίωση, μεταφορά και εισαγωγή της πρώτης ύλης) περιλαμβάνει την δεξαμενή αποθήκευσης της κοπριάς (2), τα δοχεία συλλογής (3), τη δεξαμενή υγιεινής (4), τις δεξαμενές αποθήκευσης με είσοδο οξυγόνου (5) και το σύστημα τροφοδοσίας της στερεής πρώτης ύλης (6).

2. Το δεύτερο στάδιο της διεργασίας περιλαμβάνει την παραγωγή του βιοαερίου στον αντιδραστήρα βιοαερίου (7), γνωστό επίσης ως χωνευτήρας.

3. Το τρίτο στάδιο της διεργασίας αντιπροσωπεύεται από την δεξαμενή αποθήκευσης για το κομπόστ (10) και τη χρήση του κομπόστ ως λίπασμα στους αγρούς (11).

4. Το τέταρτο στάδιο της διεργασίας (αποθήκευση, βελτίωση και χρήση του βιοαερίου) πραγματοποιείται στην δεξαμενή αποθήκευσης αερίου (8) και τη μονάδα

συνδυασμένης παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ) (9).

Αυτά τα τέσσερα στάδια της διεργασίας συνδέονται στενά μεταξύ τους (π.χ.: το στάδιο 4 κανονικά παρέχει την απαραίτητη θερμότητα διεργασίας για το στάδιο 2).

4.2 Παράδοση και αποθήκευση

Κατά τη παραλαβή είναι σημαντικό να εξασφαλιστεί ο σταθερός ανεφοδιασμός πρώτης ύλης σωστής ποιότητας και ποσότητας. Οι πρώτες ύλες αποθηκεύονται σε δεξαμενές από σκυρόδεμα, χτισμένες μέσα στο έδαφος. Ο όγκος τους πρέπει να είναι ικανός για την αποθήκευση πρώτης ύλης για περισσότερες από μία μέρες ώστε να εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη λειτουργία της εγκατάστασης.

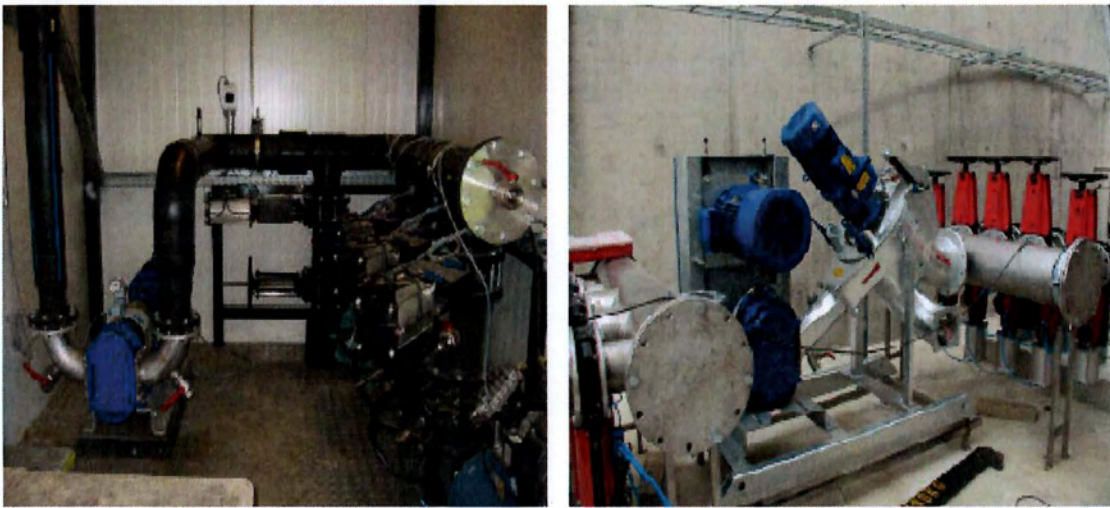
4.3 Βελτίωση και προεπεξεργασία

Η βελτίωση της πρώτης ύλης επηρεάζει τη ροή και την αποδοτικότητα της διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης. Ο στόχος της βελτίωσης της πρώτης ύλης είναι αφ' ενός να εκπληρωθούν οι απαιτήσεις υγιεινής και αφ' ετέρου να αυξηθεί η χωνευτικότητα. Η βελτίωση της πρώτης ύλης παρέχει σημαντική δυνατότητα για βελτιστοποίηση της διεργασίας, αυξάνει τους ρυθμούς χώνευσης και τις παραγωγές βιοαερίου.

Έτσι, μέσα στις δεξαμενές αποθήκευσης γίνεται ανάμιξη των διάφορων υποστρωμάτων, τα οποία θρυμματίζονται, ομογενοποιούνται και μετασχηματίζονται σε ένα αντλήσιμο μίγμα.

4.4 Εισαγωγή μεταφορικού μέσου, δοσολογία

Μετά από την αποθήκευση και την προ-επεξεργασία, η πρώτη ύλη τροφοδοτείται στο χωνευτήρα. Η τεχνική τροφοδοσίας εξαρτάται από τον τύπο της πρώτης ύλης και την ικανότητα άντλησης της. Η αντλήσιμη πρώτη ύλη μεταφέρεται από τις δεξαμενές αποθήκευσης στο χωνευτήρα με αντλίες. Αυτή η κατηγορία συμπεριλαμβάνει τους ζωικούς πολτούς και ένα μεγάλο αριθμό υγρών οργανικών αποβλήτων. Από μικροβιολογική άποψη, η ιδανική κατάσταση για μια σταθερή διεργασία αναερόβιας χώνευσης είναι μια συνεχής ροή της πρώτης ύλης μέσω του χωνευτήρα. Στην πράξη η πρώτη ύλη προστίθεται σχεδόν συνεχώς στο χωνευτήρα σε αρκετές δόσεις κατά τη διάρκεια της μέρας.



Εικόνα 5 Σύστημα άντλησης

4.5 Παραγωγή βιοαερίου στο χωνευτήρα

Μέσα στο χωνευτήρα γίνεται αναερόβια ζύμωση που είναι βιολογική μέθοδος, κατά την οποία πραγματοποιείται ελεγχόμενη αποδόμηση των οργανικών ουσιών με τη βοήθεια δράσης μικροοργανισμών κάτω από συνθήκες απουσίας οξυγόνου. Το αποτέλεσμα της διεργασίας είναι η παραγωγή σταθεροποιημένου οργανικού υλικού και αερίου. Από τη μια, το σταθεροποιημένο οργανικό υλικό μετά από περαιτέρω αναερόβια σταθεροποίηση μπορεί να μετατραπεί σε κομπόστ, και από την άλλη το παραγόμενο αέριο είναι το βιοαέριο, που αποτελείται κυρίως από μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα.



Εικόνα 6 Βιομηχανική εγκατάσταση παραγωγής βιοαερίου

4.6 Χωνευμένο υπόστρωμα

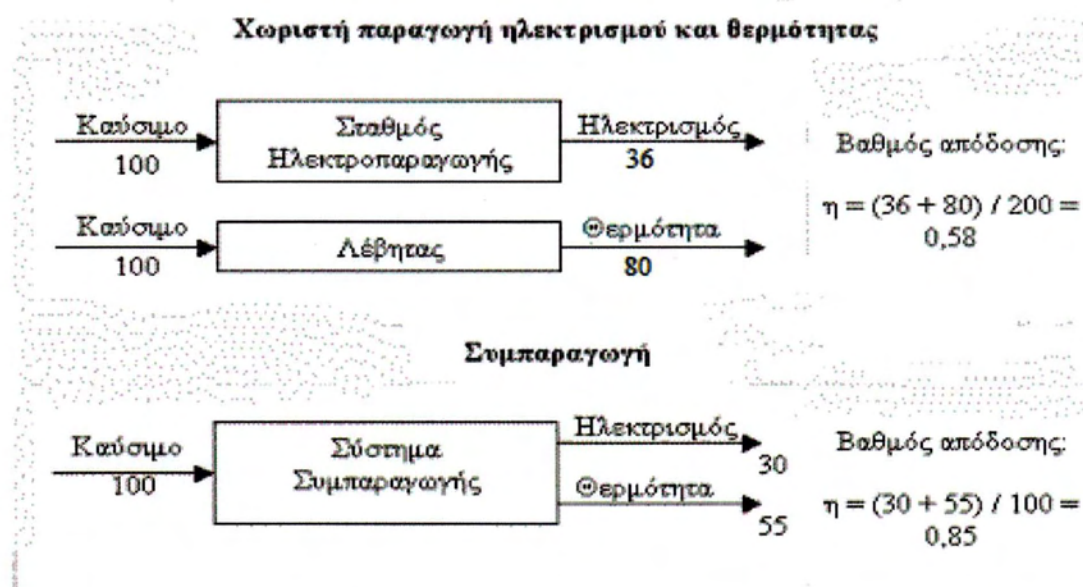
Το χωνευμένο υπόστρωμα αντλείται έξω από τον χωνευτήρα μέσω μιας σειράς αντλήσεων και μεταφέρεται μέσω αγωγών στις εγκαταστάσεις αποθήκευσης που βρίσκονται κοντά στον χωνευτήρα, όπου το κομπόστ μπορεί να αποθηκευτεί προσωρινά (μερικές ημέρες). Όταν το κομπόστ χρησιμοποιείται ως λίπασμα, μεταφέρεται από την εγκατάσταση βιοαερίου μέσω σωληνώσεων ή με ειδικά βυτιοφόρα και αποθηκεύεται σε δεξαμενές αποθήκευσης. Είναι πιθανό να συμβούν απώλειες μεθανίου και θρεπτικών ουσιών κατά την αποθήκευση και επεξεργασία του κομπόστ. Έως και το 20% της συνολικής παραγωγής βιοαερίου μπορεί να λάβει χώρα εξωτερικά του χωνευτήρα στις δεξαμενές αποθήκευσης του κομπόστ. Προκειμένου να αποτραπούν οι εκπομπές μεθανίου και να συλλεχθεί η πρόσθετη παραγωγή αερίου οι δεξαμενές αποθήκευσης πρέπει πάντα να καλύπτονται με μια αεροστεγή μεμβράνη για ανάκτηση του αερίου.

4.7 Βιοαέριο

Επειδή η παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου από τον χωνευτήρα δεν είναι σταθερή αλλά και λόγω του ότι η ζήτηση βιοαερίου από μία μονάδα ΣΗΘ είναι κυμαινόμενη, κρίνεται σκόπιμη η αποθήκευση του. Ο καλύτερος τρόπος αποθήκευσης στην δική μας περίπτωση είναι να γίνεται στον επάνω χώρο του χωνευτήρα με χρήση ειδικής μεμβράνης και η οποία επίσης θα χρησιμοποιείται και ως κάλυμμα του ίδιου. Μετά την αποθήκευση του, γίνεται μία σειρά διεργασιών για την βελτίωση του όπως είναι η αποθείωση και η ξήρανση του. Το βιοαέριο είναι πλέον σε θέση να μεταφερθεί στην μονάδα ΣΗΘ.

4.8 ΣΗΘ

Μετά την παραγωγή του βιοαερίου και του κομπόστ το βιοαέριο μεταφέρεται στην μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας όπου πραγματοποιείται η χημική αντίδραση της καύσης των υδρογονανθράκων που εμπεριέχονται σε αυτό. Τα συστήματα ΣΗΘ (συνδυασμένης παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας) παράγουν ταυτόχρονα ηλεκτρική και θερμική ενέργεια σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα. Η θερμική ενέργεια προέρχεται από την ανάκτηση θερμότητας από το κύκλωμα ψύξης και τα καυσαέρια του κινητήρα και χρησιμοποιείται για τις ανάγκες θέρμανσης – ψύξης κτηρίων η βιομηχανικών διεργασιών. Σε μία εγκατάσταση βιοαερίου η θερμική ενέργεια χρησιμοποιείται κυρίως για την θέρμανση του χωνευτήρα. Οι μονάδες ΣΗΘ παρουσιάζουν πολύ μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης από συμβατικές μεθόδους διακριτής παραγωγής διότι εκμεταλλεύονται ένα μεγάλο ποσότης θερμότητας που θα χανόταν στο περιβάλλον.



Ως ΣΗΘ δεν ορίζεται μία συγκεκριμένη τεχνολογία αλλά ένα εύρος εφαρμογών με σκοπό την κάλυψη θερμικών αναγκών και ηλεκτροπαραγωγής. Μερικές από τις πλέον διαδεδομένες τεχνολογίες συμπαραγωγής είναι οι αεριοστρόβιλοι, οι ατμοστρόβιλοι, και οι κινητήρες εσωτερικής καύσης (Otto ή Diesel). Τα τελευταία χρόνια αναπτύσσονται και άλλες τεχνολογίες συμπαραγωγής όπως οι κυψέλες καυσίμου και οι μικροτουρμπίνες, που όμως βρίσκονται ακόμα σε αρχικό στάδιο και οι εφαρμογές τους είναι περιορισμένες. Ωστόσο δεν πρόσφέρονται όλες οι μορφές συμπαραγωγής για την καύση βιοαερίου.

Αυτό οφείλεται αφενός στην χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα του βιοαερίου και αφετέρου στην διαβρωτική δράση του υδρόθειου (H_2S) που περιέχεται στην σύνθεσή του. Για τον λόγο αυτό έχει επικρατήσει η χρήση κινητήρων Otto ή Diesel που με τις κατάλληλες τροποποιήσεις λειτουργούν αποδοτικά και αξιόπιστα έχοντας επίσης σχετικά χαμηλό κόστος κτήσης και λειτουργίας.

Η γενική εικόνα των τεχνολογιών ΣΗΘ παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί.

	Μονάδες ηλεκτρισμού και θερμότητας	Μονάδα συνδυασμένου κύκλου	Ολοκληρωμένη θερμική μονάδα ηλεκτροπαραγωγής	Μικρής κλίμακας ΣΗΘ	
Σύστημα κίνησης	Ατμοστρόβιλος	Συνδυασμός αεριοστρόβιλου και ατμοστρόβιλου	Αεριοστρόβιλος	Βιομηχανικός κινητήρας Otto, Diesel ή φτωχού μίγματος με καταλυτικό μετατροπέα Κινητήρας αυτοκινήτου	
Καύσιμο	Κάρβουνο, μαζούτ, φυσικό αέριο πετρέλαιο θέρμανσης	Φυσικό αέριο, υγραέριο, κηροζίνη	Φυσικό αέριο, υγραέριο, βιοαέριο, κηροζίνη, βιοκάσιμα		
Επίπεδο θερμοκρασίας	Μέχρι 500°C	Μέχρι 300°C	Μέχρι 550°C	Μέχρι 100°C	Μέχρι 100°C
Έυρος δυναμικότητας	5-1000MW _e	20-100MW _e	1-10 MW _e	20-1000 kW _e	5-15 kW _e
Δείκτης συμπαγωγής ¹	0.3-0.6	0.8-1.2	0.4-0.6	0.55-0.65	0.35-0.45
Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης	0.25-0.4	0.4-0.5	0.2-0.35	0.3-0.4	0.25-0.3
Συνολική απόδοση	0.45-0.85	0.55-0.85	0.75-0.85	0.85-0.9	0.85-0.9
Πλεονεκτήματα	Ανάκτηση απορριπτόμενης θερμότητας σε μεγάλους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής	Μικρό κόστος επένδυσης, μεγάλος συντελεστής συμπαγωγής	Θερμότητα διεργασιών υψηλής θερμοκρασίας	Μικρές διαστάσεις, ολοκληρωμένη κατασκευή, υψηλός συνολικός βαθμός απόδοσης	

¹ Δείκτης συμπαγωγής = ηλεκτρική/θερμική ενέργεια

Πίνακας 5 Συστήματα ΣΗΘ

Η κύρια πηγή ενέργειας σε μία μονάδα Σ.Η.Θ. είναι η θερμική μηχανή. Ως θερμικές μηχανές ορίζονται: «οι συσκευές που μετατρέπουν την θερμική ενέργεια σε μηχανική» ή ακριβέστερα ως «ένα σύστημα που λειτουργεί συνεχώς και μόνο θερμότητα και έργο μπορούν να περάσουν τα όριά του». Χρησιμοποιούνται για την ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας και η λειτουργία τους περιγράφεται με την βοήθεια των θερμοδυναμικών κύκλων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι οι κύκλοι Otto, Diesel που αντιστοιχούν σε μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ), καθώς και οι Brayton και Rankine, που περιγράφουν την λειτουργία αεριοστροβίλων και ατμοστροβίλων αντίστοιχα.

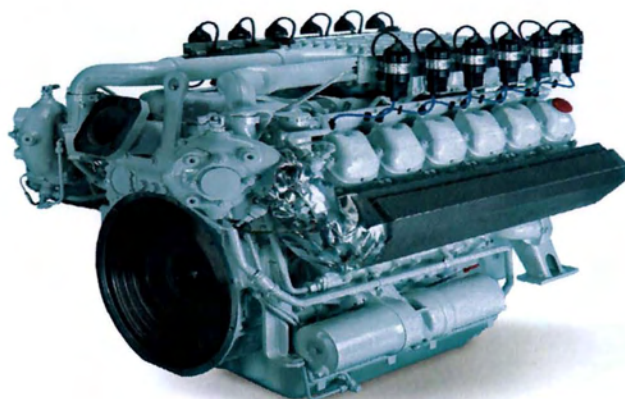
4.8.1 Μηχανές εσωτερικής καύσης

Μία από τις πλέον συνήθεις και αποδοτικές πηγές ενέργειας σε εφαρμογές συμπαραγωγής είναι οι κινητήρες εσωτερικής καύσης. Αν και τέτοιοι κινητήρες είναι διαθέσιμοι σε πολλούς τύπους μόνο δύο συναντώνται σε εφαρμογές ηλεκτροπαραγωγής. Οι τετράχρονοι κινητήρες με σπινθηριστή (κύκλος Otto) και οι κινητήρες ανάφλεξης με συμπίεση (κύκλος Diesel). Η βασική αρχιτεκτονική των δύο τύπων είναι κοινή, ένα έμβολο κυκλικής διατομής κινείται κατά μήκος ενός κυλινδρικού θαλάμου καύσης. Η γραμμική κίνηση του εμβόλου μετασχηματίζεται σε περιστροφική μέσω του στροφαλοφόρου άξονα. Στην πράξη παραπάνω από ένα έμβολα συνδέονται με ένα κοινό στροφαλοφόρο άξονα. Οι κινητήρες Otto και Diesel που προορίζονται για ηλεκτροπαραγωγή είναι τετράχρονοι, δηλαδή ολοκληρώνουν ένα πλήρη κύκλο λειτουργίας σε τέσσερις κινήσεις του εμβόλου.

Οι τέσσερις χρόνοι είναι:

1. Εισαγωγή μίγματος στον κύλινδρο
2. Συμπύεση του καυσίμου μίγματος
3. Εκτόνωση από την κάυση
4. Εξαγωγή των καυσαερίων από τον κύλινδρο

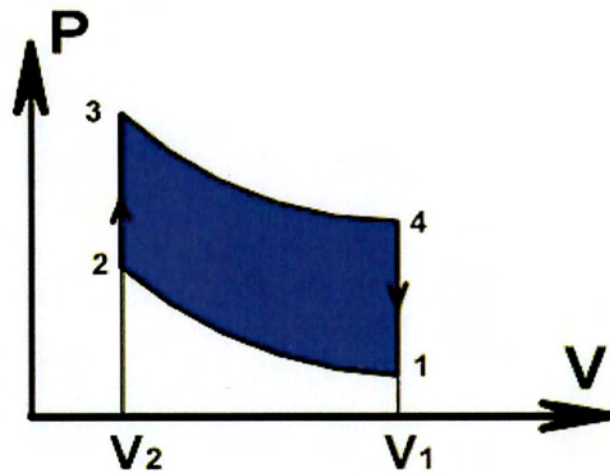
Η βασική διαφορά στον τρόπο λειτουργίας των δύο μηχανών είναι η ανάφλεξη του μίγματος αέρα – καυσίμου. Στους κινητήρες Otto η ανάφλεξη γίνεται με την βοήθεια του σπινθηριστή, ενώ στους Diesel η καύση συμβαίνει λόγω της υψηλής θερμοκρασίας του αέρα που εισάγεται στον κύλινδρο υπό πίεση και προκαλεί ανάφλεξη του καυσίμου που ψεκάζεται και αυτό σε υψηλή πίεση.



Εικόνα 7 Κινητήρας αερίου που λειτουργεί με κύκλο Otto

Ο κύκλος Ottoπροσομοιώνει την λειτουργία κινητήρων βενζίνης και αερίου σε τέσσερα στάδια:

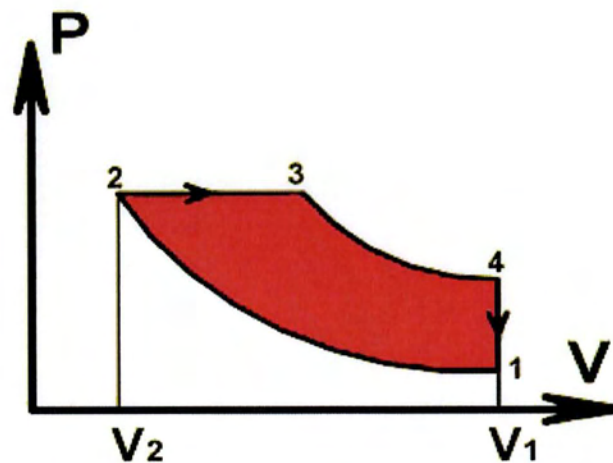
- 1 έως 2 : Ισεντροπική συμπίεση
- 2 έως 3 : Αντιστρέψιμη θέρμανση υπό σταθερό όγκο
- 3 έως 4 : Ισεντροπική εκτόνωση
- 4 έως 1 : Αντιστρέψιμη ψύξη υπό σταθερό όγκο



Εικόνα 8 Διάγραμμα P-V κύκλου Otto

Ο κύκλος Dieselπεριγράφει την λειτουργία των κινητήρων πετρελαίου επίσης σε τέσσερα στάδια.

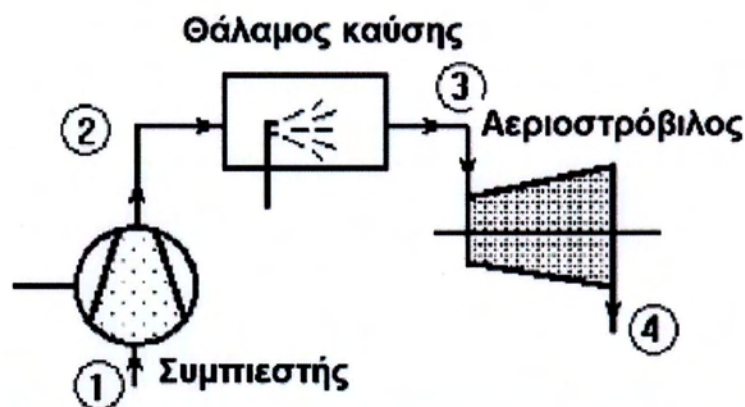
- 1 έως 2 : Ισεντροπική συμπίεση
- 2 έως 3 : Αντιστρέψιμη θέρμανση υπό σταθερή πίεση
- 3 έως 4 : Ισεντροπική εκτόνωση
- 4 έως 1 : Αντιστρέψιμη ψύξη υπό σταθερό όγκο



Εικόνα 9 Διάγραμμα P-V κύκλου Diesel

4.8.2 Αεριοστρόβιλοι

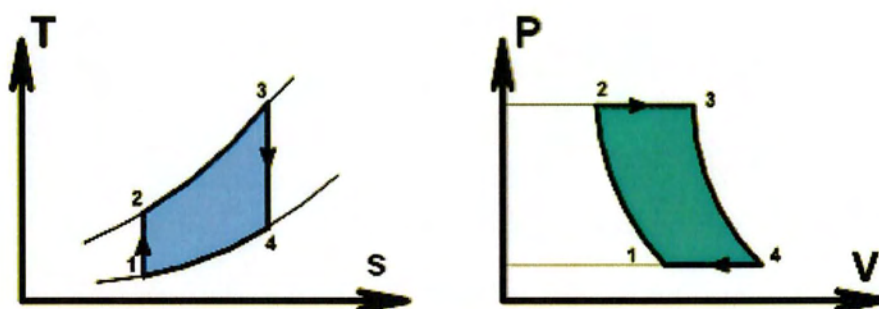
Ο αεριοστρόβιλος λειτουργεί εκμεταλλευόμενος τα αέρια που δημιουργούνται από την καύση ορυκτών καυσίμων. Τα καυσαέρια που βρίσκονται σε υψηλή θερμοκρασία μετά από τον θάλαμο καύσης οδηγούνται στον στρόβιλο. Εκεί εκτονώνονται με τη βοήθεια πτερυγίων τοποθετημένων περιμετρικά του δρομέα και προκαλούν την κίνηση του στρόβιλου.



Εικόνα 10 Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας ενός αεριοστρόβιλου

Η πλειοψηφία των αεριοστρόβιλων λειτουργεί σύμφωνα με τον θερμοδυναμικό κύκλο Brayton, σύμφωνα με τον οποίο ο ατμοσφαιρικός αέρας διέρχεται από τον στρόβιλο μία φορά πριν απορριφθεί στο περιβάλλον. Ένα μέρος της ισχύος που αναπτύσσεται στο στρόβιλο καταναλώνεται για την κίνηση του συμπιεστή ενώ το υπόλοιπο για την ηλεκτρογεννήτρια. Οι διεργασίες του κύκλου Brayton είναι:

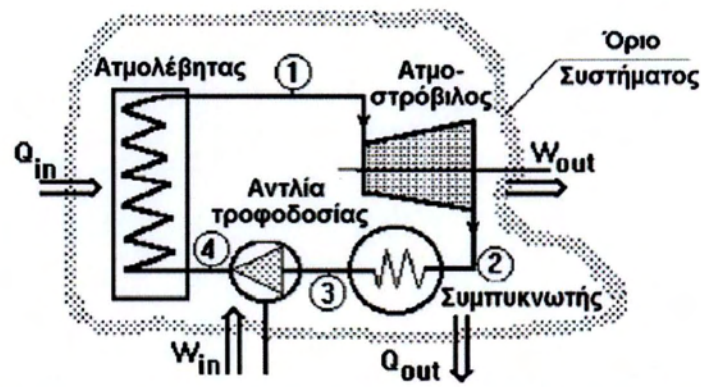
- 1 έως 2 : Ισεντροπική συμπίεση
- 2 έως 3 : Θέρμανση υπό σταθερή πίεση
- 3 έως 4 : Ισεντροπική εκτόνωση
- 4 έως 1 : Αποβολή της θερμότητας υπό σταθερή πίεση



Εικόνα 11 Διαγράμματα T-S και P-V του κύκλου Brayton

4.8.3 Ατμοστρόβιλοι

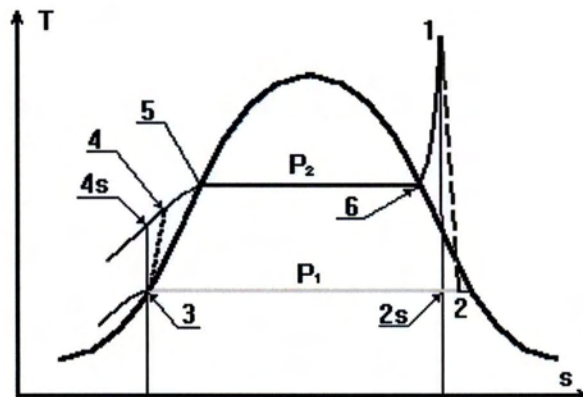
Σε αντίθεση με τις υπόλοιπες θερμικές μηχανές οι ατμοστρόβιλοι δεν μετατρέπουν άμεσα τη χημική ενέργεια του καυσίμου σε μηχανική. Για να λειτουργήσει ένας ατμοστρόβιλος χρειάζεται ατμός σε υψηλή πίεση που παράγεται εξωτερικά, σε λέβητα ή μέσω ανάκτησης θερμότητας σε ατμοπαραγωγό. Οι λέβητες συνήθως χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα αν και υπάρχουν εναλλακτικές λύσεις όπως το ξύλο και τα αστικά απορρίματα. Οι ατμοστρόβιλοι που χρησιμοποιούνται κατά κόρον σε συμβατικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής λειτουργούν σύμφωνα με τον κύκλο Rankine. Η αρχή λειτουργίας είναι απλή και συνοψίζεται στα εξής στάδια: Ένας λέβητας μετατρέπει νερό σε υγρό, ξηρό ή υπέρθερμο ατμό υψηλής πίεσης. Ο ατμός έπειτα εκτονώνεται στον στρόβιλο προκαλώντας την κίνησή του και κατ' επέκταση την παραγωγή μηχανικής ενέργειας. Τέλος ο ατμός συμπυκνώνεται μετά την έξοδο του από τον στρόβιλο και επιστρέφει στον λέβητα.



Εικόνα 12 Στάδια λειτουργίας ενός συστήματος ατμοστρόβιλου

Οι διεργασίες ενός κύκλου Rankine είναι:

- 1 έως 2 : Ισεντροπική εκτόνωση
- 2 έως 3 : Αποβολή της θερμότητας σε σταθερή πίεση
- 3 έως 4 : Ισεντροπική συμπίεση
- 4 έως 1 : Θέρμανση υπό σταθερή πίεση



Εικόνα 13 Διάγραμμα T-Σκύκλου Rankine

4.9 Μονάδα ελέγχου

Η λειτουργία ελέγχου του συστήματος, με τη χρήση συστημάτων κεντρικής, αυτοματοποιημένης παρακολούθησης και ο έλεγχος των τιμών είναι ένα σημαντικό μέρος της συνολικής λειτουργίας της εγκατάστασης που πρέπει να εγγυάται την ομαλή λειτουργία της μονάδας και τις σταθερές ιδιότητες του παραγόμενου βιοαερίου. Η μονάδα αυτή, επεξεργάζεται δεδομένα που προέρχονται από μετρήσεις σε κάποια από τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας.

Η παρακολούθηση και η τεκμηρίωση είναι απαραίτητες στις σταθερές διεργασίες προκειμένου να αναγνωρίζονται οι αποκλίσεις από τις τυπικές τιμές. Τέτοιες μετρήσεις διεξάγονται στην έξοδο του χωνευτήρα για έλεγχο της παραγωγής και της απόδοσης του καθώς και στη μονάδα ΣΗΘ για να είναι κάθε στιγμή εξασφαλισμένη η απόδοση της.

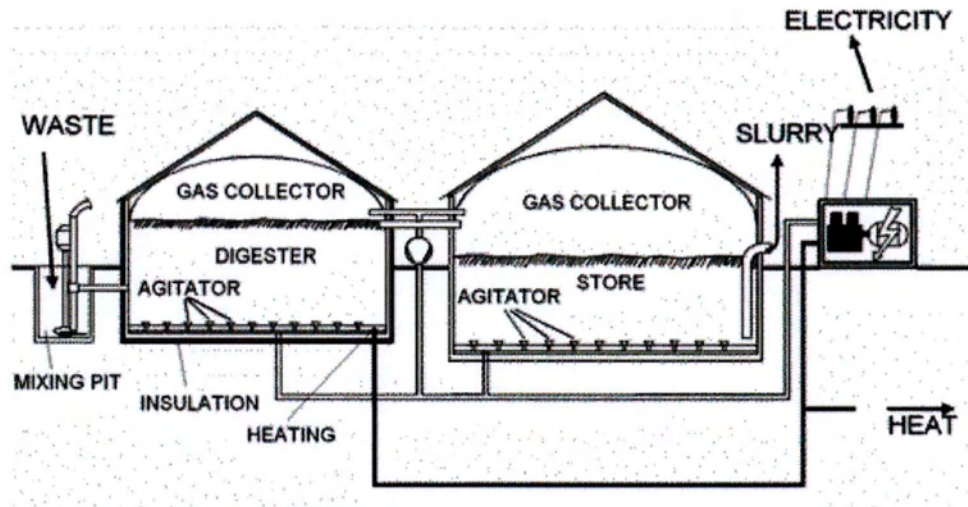
5. ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΜΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Κάθε μονάδα βιοαερίου αποτελείται από ένα πλήθος εγκαταστάσεων και συστημάτων τα οποία διαφοροποιούνται ανάλογα με το είδος και την ποσότητα της πρώτης ύλης. Τα διαθέσιμα υποστρώματα είναι πολλά με το κάθε ένα να απαιτεί διαφορετικές τεχνικές επεξεργασίας. Σε κάθε περίπτωση ο τύπος υποστρώματος που θα χρησιμοποιηθεί καθορίζει τον σχεδιασμό της μονάδας και όλες τις επιμέρους λειτουργίες της.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά τα κύρια στοιχεία μιας τυπικής εγκατάστασης και οι τεχνολογίες που εφαρμόζονται ανά περίπτωση.

5.1 Τα κύρια στοιχεία μιας εγκατάστασης

- Δεξαμενή ανάμιξης : Εδώ συγκεντρώνεται το υπόστρωμα όταν φτάνει στον χώρο της μονάδας. Διαθέτει αναδευτήρες για ανάμιξη διαφορετικών υποστρωμάτων και τεμαχισμό όσων αποτελούνται από μακριές ίνες (π.χ. το σιτάρι και το καλαμπόκι), σε μερικές περιπτώσεις διαθέτει και σύστημα θέρμανσης.
- Χωνευτήρας : Είναι ο θάλαμος στον οποίο λαμβάνει χώρα η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης. Κατασκευασμένος από χάλυβα ή σκυρόδεμα και καλά μονωμένος. Στην περίπτωση της υγρής ζύμωσης η ανάδευση γίνεται με ρότορες ή ψεκασμό αερίου ή νερού. Η στερεή ζύμωση δεν απαιτεί ανάδευση.
Το παραγόμενο βιοαέριο συλλέγεται είτε εντός του χωνευτήρα είτε εκτός σε ξεχωριστό συλλέκτη.
- Αεριοφυλάκιο : Η δεξαμενή αποθήκευσης του αερίου, τοποθετείται απευθείας πάνω από το υπόστρωμα (Balloon) ή σε απόσταση (Gasbag).
- Χώρος αποθήκευσης πολτού: Μπορεί να είναι ανοικτός ή καλύτερα σκεπασμένος και συνδεδεμένος με το αεριοφυλάκιο ώστε να συλλέγεται το ποσό του βιοαερίου που περιέχεται στον πολτό για αύξηση της παραγωγής.



Εικόνα 14 Σύστημα αναερόβιας ζύμωσης με χωνευτήρα από σκυρόδεμα και ενσωματωμένο αεριοφυλάκιο

5.2 Παράμετροι λειτουργίας μιας εγκατάστασης

Η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης είναι πολύπλοκη διεργασία η οποία διαφοροποιείται σημαντικά για κάθε είδος υποστρώματος. Σε κάθε περίπτωση χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός τεχνολογιών και μεθόδων για την επίτευξη της βέλτιστης απόδοσης. Τα συστήματα ΑΧ σχεδιάζονται βάση πολλών κριτηρίων, με τα σημαντικότερα να είναι τα εξής :

1. Συνεχούς ή ασυνεχούς τροφοδοσίας (Batchtype)
2. Θερμοκρασία ζύμωσης
3. Περιεκτικότητα σε στερεά
4. Λειτουργία ενός ή περισσότερων σταδίων

5.2.1 Συνεχούς ή ασυνεχούς τροφοδοσίας (Batchtype)

Στους ασυνεχούς τροφοδοσίας όλη η ποσότητα της πρώτης ύλης εισάγεται στην αρχή της διεργασίας και ο χωνευτήρας σφραγίζεται, και ανοίγεται μετά από την προκαθορισμένη διάρκεια παραμονής. Είναι πολύ απλοί στην κατασκευή τους και με λιγότερα εξαρτήματα και αποτελούν μια οικονομική λύση όμως η βασική αρχή λειτουργίας τους συνεπάγεται παραγωγή βιοαερίου κατά διαστήματα. Οι χωνευτήρες συνεχούς τροφοδοσίας χαρακτηρίζονται από την συχνή, συνήθως καθημερινή, εισροή οργανικής ουσίας που συνεπάγεται συνεχή παραγωγή βιοαερίου.

5.2.2 Θερμοκρασία ζύμωσης

Η διαδικασία της αναερώβιας χώνευσης πραγματοποιείται σε τρία διαφορετικά θερμο-κρασιακά εύρη. Το ψυχρόφιλο (3-20°C), το μεσόφιλο (20-40°C) και το θερμόφιλο (40-70°C). Οι ονομασίες προέρχονται από τα είδη των μεθανογενών βακτηρίων που ευδοκιμούν στις αντίστοιχες θερμοκρασίες. Η ψυχρόφιλη χώνευση απαιτεί τριπλάσιο χρόνο παραμονής σε σχέση με την μεσόφιλη και η παραγωγή βιοαερίου της υπολείπεται κατά 70-80%, συνεπώς προορίζεται για εφαρμογή μόνο σε πολύ ψυχρά κλίματα. Η μεσόφιλη χώνευση θεωρείται η πλέον σταθερή διαδικασία αναερώβιας ζύμωσης, καθώς τα μεσόφιλα βακτήρια είναι ανθεκτικότερα σε μεταβολές της θερμοκρασίας από τα θερμόφιλα. Τα θερμόφιλα συστήματα είναι αυτά που εκμεταλλεύονται καλύτερα την ενέργεια που περιέχεται στο υπόστρωμα, και λόγω των υψηλών θερμοκρασιών απαιτούν μικρό χρόνο παραμονής.

Θερμικό στάδιο	Θερμοκρασίες διεργασίας	Ελάχιστος χρόνος παραμονής
Ψυχρόφιλη	< 25 °C	70-80 ημέρες
Μεσόφιλη	30-42 °C	30-40 ημέρες
Θερμόφιλη	43-70 °C	15-20 ημέρες

Πίνακας 6 Θερμικά στάδια και χρόνος παραμονής

Ένα ακόμη πλεονέκτημα της ζύμωσης σε περιβάλλον με υψηλή θερμοκρασία είναι η αποστείρωση του τελικού προϊόντος, η οποία άλλωστε προβλέπεται και από την ευρωπαϊκή νομοθεσία. Ωστόσο το ποσό θερμικής ενέργειας που απαιτείται για να διατηρηθούν οι κατάλληλες συνθήκες χώνευσης είναι σημαντικό, και δεν αντισταθμίζεται πάντα από την αυξημένη παραγωγή βιοαερίου.

5.2.3 Περιεκτικότητα σε στερεά

Διακρίνονται τρία είδη χωνευτήρων ως προς την περιεκτικότητα σε στερεά και την μορφή του υποστρώματος.

- Υψηλή περιεκτικότητα σε στερεά, ξηρό μη-αντλήσιμο υπόστρωμα
- Υψηλή περιεκτικότητα σε στερεά, υγρό αντλήσιμο υπόστρωμα
- Χαμηλή περιεκτικότητα σε στερεά, υγρό αντλήσιμο υπόστρωμα

Οι χωνευτήρες ξηρού τύπου λειτουργούν με στέρεα υποστρώματα χωρίς προσθήκη νερού και περιεκτικότητα στερεών ουσιών από 25-40%. Οι συνήθεις δομές είναι δύο, είτε κατακόρυφοι κυλινδρικοί συνεχούς τροφοδοσίας και εμβολικής ροής, είτε ασυνεχείς οριζόντιοι τύπου τούνελ. Οι χωνευτήρες υγρού τύπου λειτουργούν με υποστρώματα με υψηλές (>20%) ή χαμηλές (<20%) περιεκτικότητες στερεών. Η επιθυμητή περιεκτικότητα επιτυγχάνεται αραιώνοντας το υπόστρωμα με κατάλληλη ποσότητα υγρού, συνήθως νερού. Υψηλή περιεκτικότητα στερεών σημαίνει ότι η πρώτη ύλη έχει μορφή παχύρευστου πολτού που απαιτεί μεγάλα ποσά ενέργειας για την τροφοδοσία του χωνευτήρα, σε σύγκριση με ένα αραιή υπόστρωμα που είναι εύκολα αντλήσιμο. Αντίθετα η υψηλή περιεκτικότητα περιορίζει την έκταση όλης της εγκατάστασης, καθώς μειώνεται η αναλογία προστιθέμενων υγρών-υποστρώματος του χωνευτήρα και συνεπώς ο διαχειριζόμενος όγκος πρώτης ύλης.

5.2.4 Λειτουργία ενός ή περισσότερων σταδίων

Η περιπλοκότητα της εγκατάστασης καθορίζεται από την λειτουργία σε ένα ή περισσότερα στάδια. Λειτουργία ενός σταδίου σημαίνει ότι όλες οι επιμέρους διεργασίες της ζύμωσης συμβαίνουν στον ίδιο χωνευτήρα. Αυτό μειώνει το κόστος, δεν επιτρέπει όμως πλήρη έλεγχο των συνθηκών μέσα στο σύστημα. Σε μια εγκατάσταση δύο σταδίων υπάρχουν δυο χωνευτήρες συνδεδεμένοι σε σειρά, με σκοπό την διατήρηση ιδανικών συνθηκών για κάθε στάδιο της αναερόβιας χώνευσης. Για παράδειγμα κατά την φάση της οξεογέννεσης μειώνεται το PH του υποστρώματος ενώ για την παραγωγή μεθανίου πρέπει να είναι σταθερό και σε ένα πολύ συγκεκριμένο εύρος τιμών. Συνήθως οι διεργασίες της υδρόλυσης, οξεογέννεσης και οξικογέννεσης πραγματοποιούνται στην πρώτη δεξαμενή. Στη συνέχεια το υπόστρωμα θερμαίνεται στην επιθυμητή θερμοκρασία και οδηγείται στον δεύτερο χωνευτήρα ή δεξαμενή μεθανογέννεσης.

5.3 Χαρακτηριστικά και κριτήρια σχεδιασμού ενός χωνευτήρα

Παρόλο που ανά τον κόσμο συναντώνται διάφοροι τύποι χωνευτήρων όλοι πρέπει να πληρούν τις παρακάτω προϋποθέσεις ώστε να είναι αποδοτικοί και αξιόπιστοι :

- Στεγανότητα από νερό και αέρια
- Μόνωση
- Ελάχιστη δυνατή επιφάνεια
- Σταθερή κατασκευή

Στις περισσότερες περιπτώσεις έχουν κυλινδρικό ή ημισφαιρικό σχήμα. Αυτό συμβαίνει για δύο λόγους. Πρώτον για λόγους στεγανότητας. Οι δυνάμεις που ασκούνται σε μία τέτοια κατασκευή είναι θλιπτικές, λόγω ατμοσφαιρικής πίεσης στην εξωτερική επιφάνεια, και εφελκυστικές λόγω υδροστατικής και πίεσης αερίων στην εσωτερική. Για να διασφαλιστεί η στεγανότητα της δομής θα πρέπει οι εξωτερικές δυνάμεις να είναι παντού μεγαλύτερες των εσωτερικών. Όπως είναι γνωστό από την θεωρία αντοχής των υλικών οι ακμές και οι απότομες γωνίες δημιουργούν συγκέντρωση τάσεων και συνεπώς ανάπτυξη ρωγμών. Ο δεύτερος λόγος είναι η ελαχιστοποίηση των απωλειών θερμότητας προς το περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα, δεδομένου του όγκου του χωνευτήρα πρέπει να επιλεγεί το σχήμα που έχει την μικρότερη εξωτερική επιφάνεια, ελάχιστος λόγος A/V. Στην ιδανική περίπτωση οι χωνευτήρες θα είχαν ωοειδές σχήμα όμως μια τέτοια λύση θα ήταν ιδιαίτερα δαπανηρή στην κατασκευή της. Έτσι υπερίσχυαν οι κυλινδρικές και ημισφαιρικές δομές, με τους κυλινδρικούς να έχουν ύψος ίσο με την ακτίνα τους για ελαχιστοποίηση του λόγου A/V. Τα υλικά κατασκευής ποικίλλουν, οι πιο διαδεδομένες λύσεις όμως, είναι :

- **Μεταλλικό κέλυφος :** Παρουσιάζει καλή στεγανότητα και αντοχή σε εφελκυσμό και είναι εύκολο στην κατασκευή του (μέσω συγκόλλησης). Όμως είναι ευάλωτο στην σκουριά και την διάβρωση και όχι τόσο οικονομικό.
- **Σκυρόδεμα :** Για να αποφευχθούν διαρροές αερίου είναι απαραίτητη η χρήση στεγανωτικών μέσων και προσεκτικής κατασκευής, ιδίως στην ένωση των πλευρών με το επάνω μέρος όπου συχνά εμφανίζονται ρωγμές. Γενικά πρόκειται για μια σχετικά φθηνή κατασκευή με μεγάλη διάρκεια ζωής.
- **Λιθοδομή :** Εφαρμόζεται κυρίως σε μονάδες μικρής κλίμακας και ειδικά σε χώρες της αφρικής και της ασίας. Πρόκειται για εργασία που απαιτεί εξειδικευμένους τεχνίτες και καλής ποιότητας υλικά.
- **Πλαστικό :** Εύκαμπτο (π.χ. καουτσούκ) ή άκαμπτο (π.χ. GRP). Το GRP συγκεκριμένα έχει δοκιμαστεί σε πολλές εφαρμογές και είναι κατάλληλο για αυτή την χρήση. Το πλαστικό έχει το πλεονέκτημα της εύκολης επισκευής.

Κριτήρια σχεδιασμού

- **Διαθέσιμος χώρος :** Καθορίζει αν η κατασκευή θα είναι υπόγεια ή υπέργεια και αν πρόκειται για κατακόρυφο κύλινδρο ή οριζόντια μονάδα τύπου τούνελ.
- **Υπάρχουσες δομές :** Προυπάρχουσες κατασκευές όπως δεξαμενές αποθήκευσης ή μεταφοράς υγρών και μεταλλικά container μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

- Ελαχιστοποίηση κόστους
- Διαθέσιμα υποστρώματα : Καθορίζουν το μέγεθος και το σχήμα της δεξαμενής ανάμιξης, τον όγκο του χωνευτήρα όπως και το είδος των συσκευών θέρμανσης και ανάμιξης που θα χρησιμοποιηθούν.

5.4 Βασικοί τύποι χωνευτήρων

5.4.1 Μονάδες τύπου μπαλονιού (Balloon)

Από πλαστικό ή καουτσούκ, συνδυάζουν χωνευτήρα με αεριοφυλάκιο στο επάνω μέρος. Είναι σημαντικό να ελέγχεται η πίεση για να μην προκληθούν φθορές στο μπαλόνι. Υπάρχει βαλβίδα ασφαλείας για εκτόνωση του συστήματος ενώ η αύξηση της πίεσης γίνεται με αντλία ή προσθήκη βάρους στο μπαλόνι. Για αντοχή σε καιρικά φαινόμενα και ηλιακή ακτινοβολία χρησιμοποιείται πλαστικό ενισχυμένο με ίνες γυαλιού (GFRP), RMP (redmudplastic), βουτύλιο ή παράγωγα του πολυαιθυλενίου (Trevira), όμως η μέση διάρκεια ζωής κυμαίνεται από 2 έως 5 χρόνια.



Εικόνα 15 Πλαστικός χωνευτήρας τύπου μπαλονιού

Πλεονεκτήματα:

Χαμηλό κόστος, προκατασκευασμένες μονάδες, εύκολη μεταφορά, μικρή πολυπλοκότητα, εγκατάσταση σε μικρό βάθος, υψηλές θερμοκρασίες σε θερμά κλίματα, εύκολη συντήρηση καθαρισμός και εκκένωση

Μειονεκτήματα:

Χαμηλή πίεση αερίου, μικρή διάρκεια ζωής, ευπαθές σε βλάβες

5.4.2 Οριζόντιες μονάδες

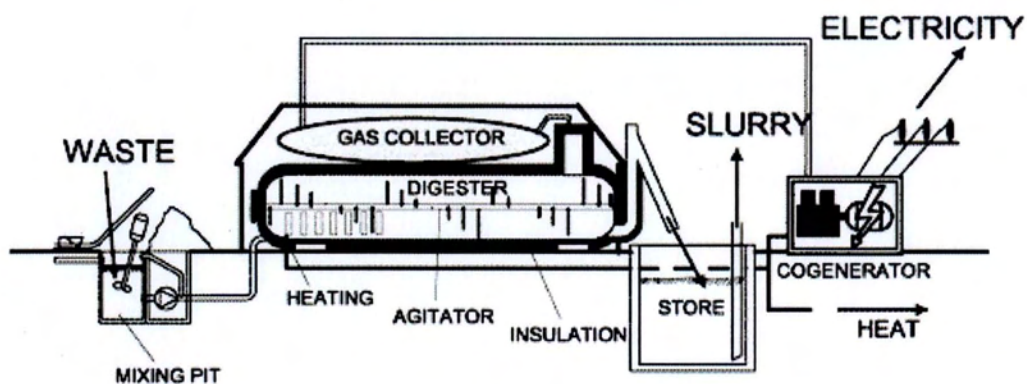
Κατασκευάζονται με σκυρόδεμα ή τοιχοποιία, όταν η εγκατάσταση πρέπει να γίνει σε μικρό βάθος λόγω ύπαρξης υδροφόρου ορίζοντα ή βραχώδους εδάφους.

Πλεονεκτήματα:

Ρηχή κατασκευή με μεγάλη χωρητικότητα

Μειονεκτήματα:

Διαρροές αερίου, δύσκολος καθαρισμός αφρού απ' το εσωτερικό



Εικόνα 16 Οριζόντιος χωνευτήρας

5.4.3 Μονάδες τύπου σκάμματος

Κατάλληλες για περιοχές με ξηρό έδαφος. Οι πλευρές του σκάμματος καλύπτονται εσωτερικά με σκυρόδεμα ενισχυμένο με μεταλλικά πλέγματα για αποφυγή διαρροών. Περιμετρικά χτίζεται λιθοδομή που λειτουργεί και σαν βάση για το αεριοφυλάκιο, το οποίο είναι μεταλλικό ή πλαστικό. Η αύξηση της πίεσης επιτυγχάνεται με προσθήκη βάρους πάνω στο κάλυμμα. Η έξοδος του πολτού γίνεται από στόμιο υπερχειλίσσης στο πλάγιο τοίχωμα.

Πλεονεκτήματα:

Χαμηλό κόστος εγκατάστασης ειδικά με τη χρήση πλαστικού καλύμματος

Μειονεκτήματα:

Εφαρμόσιμο μόνο σε στέρεα εδάφη, μικρή διάρκεια ζωής

5.4.4 Μονάδες από σιδηροτσιμέντο (Ferrocement)

Δίνεται η δυνατότητα επιλογής ανάμεσα σε υπέργεια (κυλινδρικό κέλυφος) ή υπόγεια κατασκευή (τύπου σκάμματος). Χρησιμοποιούνται ειδικές διατάξεις στεγάνωσης με συνδυασμό τσιμέντου και φύλλων αλουμινίου.

Πλεονεκτήματα:

Χαμηλό κόστος κατασκευής σχετικά με τοιχοποιία, δυνατότητα μαζικής παραγωγής, χρήση λίγων υλικών

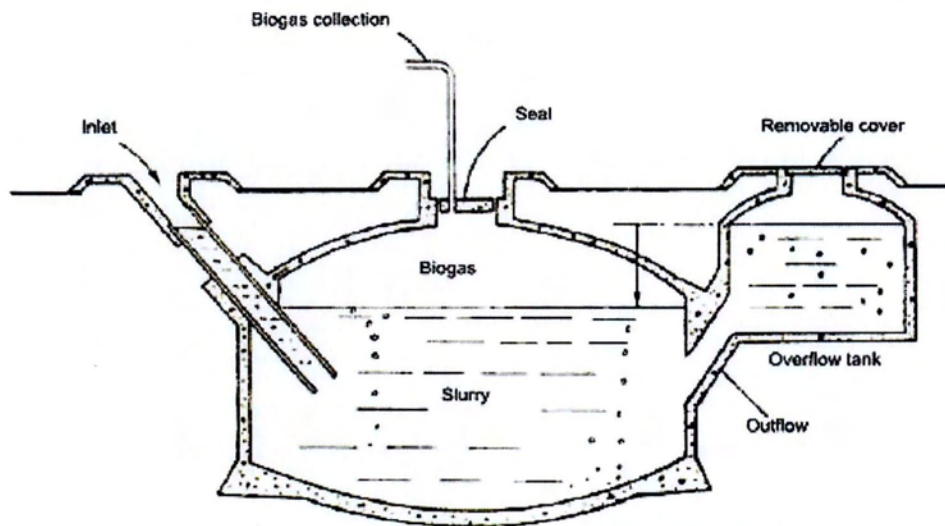
Μειονεκτήματα:

Απαιτεί χρήση μεγάλων ποσοτήτων σκυροδέματος και πλέγματος καλής ποιότητας, κατασκευαστικές δυσκολίες, μη πιστοποιημένη αντοχή στον χρόνο, απαραίτητες ειδικές διατάξεις στεγάνωσης

5.4.5 Χωνευτήρες σταθερού θόλου (FixedDome)

Το αεριοφυλάκιο είναι ενσωματωμένο στον χωνευτήρα και βρίσκεται στην κορυφή του θόλου. Κατά την λειτουργία ο πολτός εκτοπίζεται σε μία δεξαμενή απόρριψης (compensatetank). Η πίεση αυξάνεται ανάλογα με τον όγκο του αποθηκευμένου βιοαερίου και την υψομετρική διαφορά μεταξύ του πολτού στον χωνευτήρα και στην δεξαμενή απόρριψης. Το κόστος τέτοιων μονάδων είναι σχετικά χαμηλό. Δεν υπάρχουν κινητά μέρη και μεταλλικά εξαρτήματα ευπαθή στη σκουριά και συνεπώς η προσδοκώμενη διάρκεια ζωής ξεπερνά τα 20 χρόνια. Η μονάδα είναι υπόγεια, για εξοικονόμηση χώρου και προστασία από καιρικά φαινόμενα. Η μικρή επίδραση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και της διακύμανσης μεταξύ ημέρας και νύχτας ωφελούν την βακτηριολογική διεργασία. Κατασκευάζονται με τοιχοποιία και οπλισμένο ή απλό σκυρόδεμα αναλόγως των τεχνικών χαρακτηριστικών (αεροστεγανότητα, υδατοστεγανότητα), του κόστους, της διαθεσιμότητας υλικών και της τεχνογνωσίας. Η κατασκευή χωνευτήρων σταθερού θόλου είναι δύσκολη και απαιτεί εμπειρία για την αποφυγή ρωγμών και πόρων στην επιφάνεια. Η αεροστεγανότητα του επάνω μέρους (αεριοφυλακίου) επιτυγχάνεται με βαφές στεγάνωσης (π.χ. "waterproofer", συνθετικές ή Latex). Για την αντιμετώπιση των ρωγμών κατασκευάζεται ένας εύκαμπτος δακτύλιος (weak-strongring) στο σημείο της ένωσης του κάτω, υδατοστεγανού, μέρους με το επάνω, αεριοφυλάκιο, που εμποδίζει την εξάπλωση ρωγμών λόγω υδροστατικής πίεσης. Ο θόλος καλύπτεται με χώμα μέχρι την κορυφή του για να αντισταθμίζεται η εσωτερική πίεση. Η μόνωση μέσω του εδάφους και η δυνατότητα θέρμανσης τους κάνει κατάλληλους και για ψυχρά κλίματα.

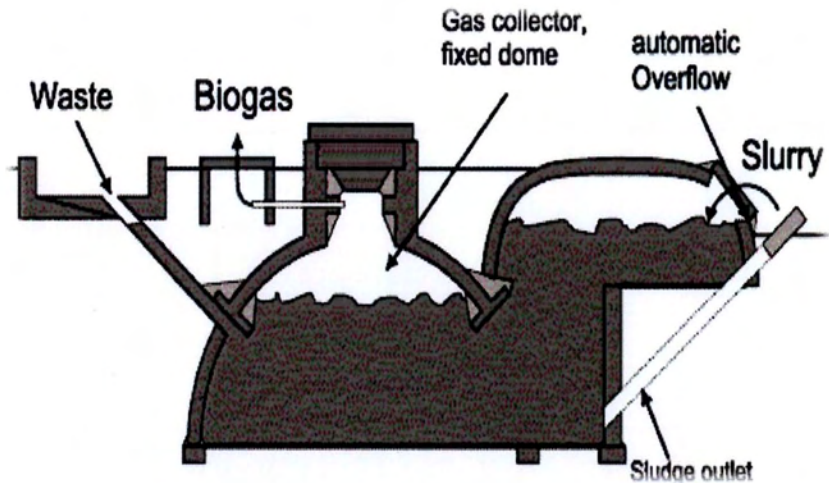
Γενικά, μονάδες αυτού του είδους έχουν καλή απόδοση αν είναι στεγανές, υστερούν όμως στην εκμετάλλευση του παραγόμενου αερίου διότι η πίεσή του μεταβάλλεται συνεχώς. Αν απαιτείται σταθερή πίεση (π.χ. καύση σε κινητήρα) πρέπει να χρησιμοποιηθεί ρυθμιστής πίεσης ή εξωτερικό αεριοφυλάκιο με μεμβράνη.



Εικόνα 17 Κινεζικού τύπου χωνευτήρας

Τύποι χωνευτήρων σταθερού θόλου

- Κινεζικού τύπου : Είναι οι πρόγονοι των υπόλοιπων. Αποτελούνται από κυλινδρικό κέλυφος και ημισφαιρικές βάσεις.
- Jamata: Ινδικής κατασκευής, έχουν εγκαταλειφθεί πλέον λόγω προβλημάτων αεροστεγανότητας.
- Deenbandhu : Επίσης ινδικής κατασκευής με όμως βελτιωμένη σχεδίαση σε σχέση με τον Jamata, πιο εύκολη κατασκευή και λιγότερες ρωγμές
- CAMARTEC: Ημισφαιρικός θόλος με άκαμπτο δακτύλιο στην βάση του. Αναπτύχθηκε στην Τανζανία και παρουσιάζει μεγάλη δομική αντοχή



Εικόνα 18 Χωνευτήρας Camartec

Πλεονεκτήματα :

Μεγάλη διάρκεια ζωής, μικρό κόστος, καθόλου κινητά και μεταλλικά μέρη, συμπαγής σχεδίαση που εξοικονομεί χώρο και προσφέρει καλή μόνωση, δημιουργία θέσεων εργασίας για την κατασκευή

Μειονεκτήματα:

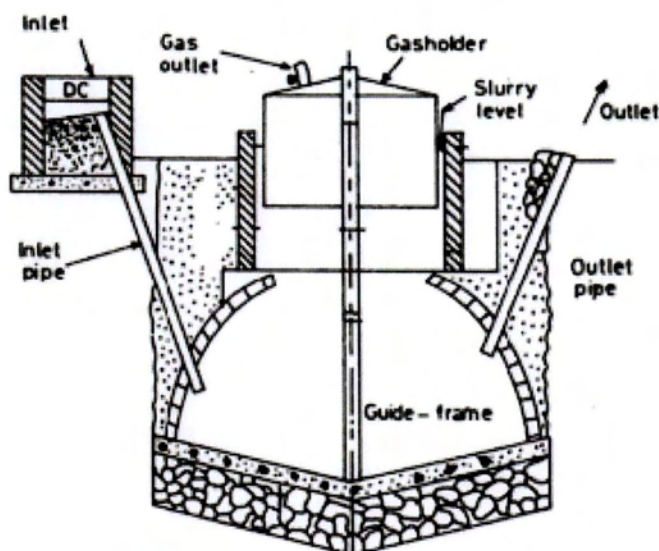
Απαιτεί ακριβή σχεδιασμό, υψηλές δεξιότητες και ειδικά στεγανωτικά , συχνές διαρροές αερίου, μεταβολές στην πίεση, δεν είναι άμεσα ορατή η ποσότητα του παραγόμενου αερίου, η εκσκαφή είναι δύσκολη και δαπανηρή σε βραχώδη εδάφη, χαμηλές θερμοκρασίες εντός του χωνευτήρα

5.4.6 Χωνευτήρες με τύμπανο (FloatingDrum)

Κατασκευάζονταν κυρίως στην Ινδία για χώνευση ζωικών περιττωμάτων και αστικών αποβλήτων. Ο χωνευτήρας λειτουργεί με συνεχή τροφοδοσία και είναι υπόγειος. Είναι κυλινδρικός ή θολωτός με αεριοφυλάκιο μεταβλητού όγκου (τύμπανο ή μεμβράνη). Το κέλυφος κατασκευάζεται από τούβλα ή μπετόν, ενώ το τύμπανο από φύλλα χάλυβα πάχους 2mm, από οπλισμένο σκυρόδεμα πάχους 2cm ή από πλαστικά (GFRP και πολυαιθυλένιο). Έχουν κωνικό σχήμα ώστε να απομακρύνουν το νερό της βροχής για αποφυγή της σκουριάς. Επειδή το μπετόν είναι πορώδες υλικό το τύμπανο επενδύεται εσωτερικά με ελαστικά υλικά, ενώ στο κέλυφος χρησιμοποιούνται λαδομπογιές, συνθετικά χρώματα και βαφές ασφάλτου. Εφαρμόζονται τουλάχιστον 2 στρώσεις και μία τελική επικάλυψη. Οι λαδομπογιές αν και φθηνές πρέπει να ανανεώνονται πολύ συχνά ενώ οι βαφές ασφάλτου κολλάνε στην επιφάνεια των πλαστικών καλυμμάτων.

Το κλίμα της περιοχής επηρεάζει την διάρκεια ζωής, η οποία κυμαίνεται από 8-12 έτη σε ξηρά κλίματα έως και 3-5 έτη σε περιοχές με υψηλή υγρασία. Η διαδικασία στεγάνωσης πρέπει να επαναλαμβάνεται κάθε 1-2 χρόνια αντίστοιχα. Τα χρώματα που προτιμώνται είναι το κόκκινο και το μαύρο διότι απορροφούν καλύτερα την ηλιακή ακτινοβολία.

Το αεριοφυλάκιο χαρακτηρίζεται ως μεταβλητού όγκου διότι το τύμπανο κινείται στον κατακόρυφο άξονα, ανάλογα με την ποσότητα αερίου στο εσωτερικό του. Για να διατηρεί το σχήμα του και να προστατεύεται από σκισίματα στην επιφάνεια του η μεμβράνη στηρίζεται εσωτερικά ή/και εξωτερικά σε ένα πλαίσιο-οδηγό. Το πλαίσιο φροντίζει η μεμβράνη να διατηρεί το σχήμα της και να μην έρχεται σε επαφή με τα εξωτερικά τοιχώματα προκαλώντας φθορές στην στεγανωτική επίστρωση. Η σχεδίαση του πλαισίου είναι τέτοια ώστε να επιτρέπει την εξαγωγή του τυμπάνου για επισκευή. Η μεμβράνη εδράζεται απευθείας πάνω στα τοιχώματα του χωνευτήρα ή περιμετρικά του σε δακτύλιο με νερό (waterjacket). Με την χρήση χιτωνίου με νερό η μεμβράνη δεν κινδυνεύει να "κολλήσει" στο στρώμα αφρού που δημιουργείται στην επιφάνεια του υποστρώματος όταν η περιεκτικότητα σε στερεά είναι υψηλή. Σαν αποτέλεσμα έχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, πιο καθαρή εμφάνιση, βέλτιστη στεγανότητα άρα και υγιεινή, για αυτό και χρησιμοποιείται ευρέως σε μονάδες διαχείρισης αποβλήτων.



Εικόνα 19 Χωνευτήρας με τύμπανο

Τύποι χωνευτήρων με τύμπανο (FloatingDrum)

- KVIC : κυλινδρικός χωνευτήρας, πρόκειται για τον παλαιότερο και πιο διαδεδομένο τύπο
- Pragati : συνδυασμός KVIC και Deenbandhu, ημισφαιρικός θάλαμος με κωνική βάση
- Γκανέζικου τύπου : από μορφοποιημένο χάλυβα και φύλλα πλαστικού
- Προκάτ : Προκατασκευασμένες μονάδες από σκυρόδεμα ή GFRP
- ARTI : χαμηλού κόστους, κατασκευασμένοι από μεταχειρισμένες πλαστικές δεξαμενές νερού
- BORDA : συνδυάζει τα πλεονεκτήματα ημισφαιρικών θαλάμων με τη σταθερή παραγωγή που εγγυώνται οι χωνευτήρες με τύμπανο και τη διάρκεια ζωής του δακτυλίου με νερό (waterjacket)

Πλεονεκτήματα :

απλή και κατανοητή λειτουργία, σταθερή πίεση που ορίζεται από το βάρος του τυμπάνου, εύκολη κατασκευή, τυχόν κατασκευαστικές ατέλειες δεν δημιουργούν σοβαρές διαρροές αερίου όπως στους χωνευτήρες σταθερού θόλου

Μειονεκτήματα :

Υψηλό κόστος υλικών όπως χαλύβδινο τύμπανο, μεταλλικά μέρη ευπαθή σε σκουριά/ διάβρωση, μικρότερη διάρκεια ζωής σε σχέση με χωνευτήρες σταθερού θόλου, ανάγκη για τακτική συντήρηση

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα βοηθητικά συστήματα μιας εγκατάστασης όπως τα συστήματα θέρμανσης, ανάδευσης και μεταφοράς του υποστρώματος.

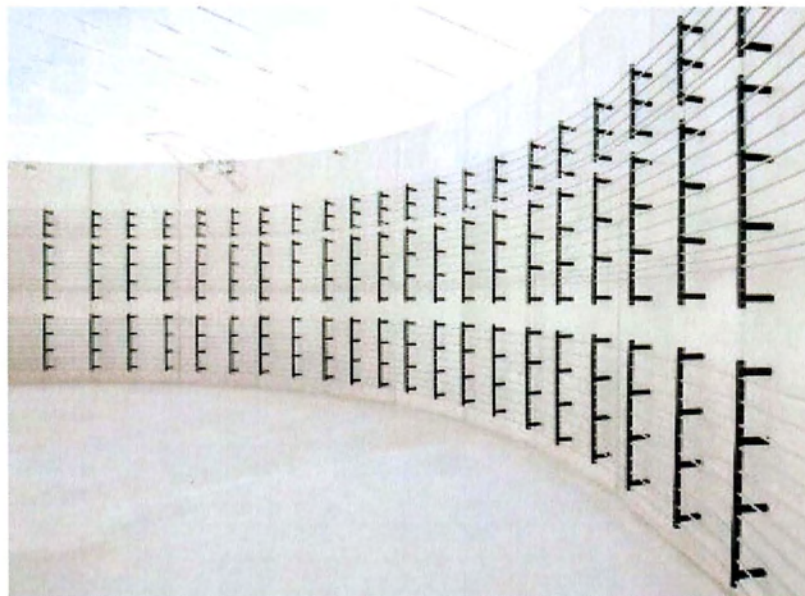
5.5 Συστήματα Θέρμανσης

Χρησιμοποιούνται σε όλες τις εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας μιας και η σωστή θερμοκρασία υποστρώματος αυξάνει σημαντικά την παραγωγή. Διαχωρίζονται σε δύο είδη: συστήματα άμεσης θέρμανσης, με χρήση ατμού ή ζεστού νερού, και έμμεσης με εναλλάκτη θερμότητας και θερμαντικό μέσο συνήθως το νερό.

- Άμεση θέρμανση :

Πολύπλοκη εγκατάσταση που περιλαμβάνει ένα σύστημα παραγωγής ατμού, σωληνώσεις για την μεταφορά του και διατάξεις αφαλάτωσης και απιονισμού. Η άμεση επαφή του θερμαντικού μέσου με το υπόστρωμα μπορεί να προκαλέσει τοπικές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας ενώ αυξάνει την σύσταση του μίγματος σε νερό.

- Έμμεση θέρμανση :
 1. Επιδαπέδια θέρμανση : Όχι και τόσο αποδοτική λύση λόγω των επικαθίσεων που δημιουργούνται γρήγορα και δυσχεραίνουν την μετάδοση θερμότητας.
 2. Εσωτερικοί εναλλάκτες : Καλύτερη θερμική μετάδοση σε σχέση με την επιδαπέδια, αρκεί οι εναλλάκτες να αντέχουν τις θερμικές καταπονήσεις που προκαλούν οι αναδευτήρες και οι αντλίες εντός του χωνευτήρα. Όσο μεγαλύτερη η επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας τόσο πιο ομαλή η θερμοκρασιακή κατανομή στον χωνευτήρα.
 3. Εναλλάκτες κελύφους : Τοποθετημένοι πάνω στα πλευρικά τοιχώματα. Υποδεέστερη θερμική απόδοση από τους εσωτερικούς, καθώς έχουν μεγάλες απώλειες προς το κέλυφος του χωνευτήρα, όμως δεν εμποδίζουν την ροή του πολτού.
 4. Εξωτερικούς εναλλάκτες: Τοποθετημένοι στην εξωτερική πλευρά του κελύφους παρέχουν εύκολη πρόσβαση για συντήρηση και καθαρισμό.



Εικόνα 20 Σύστημα έμμεσης θέρμανσης με αγωγούς στο κέλυφος

Όπου είναι εφικτό πρέπει να χρησιμοποιείται η ηλιακή ακτινοβολία για τις ανάγκες θέρμανσης του χωνευτήρα. Αυτό μπορεί να γίνει είτε με χρήση ηλιακών συλλεκτών είτε με κατάλληλη χωροθέτηση, ώστε ο χωνευτήρας να είναι εκτεθειμένος στο ηλιακό φως όσο το δυνατόν περισσότερο [6].

5.6 Συστήματα Μεταφοράς

Στις μεγάλες εγκαταστάσεις παραγωγής βιοαερίου χρησιμοποιούνται μηχανικά μέσα για την μεταφορά της πρώτης ύλης σε όλα τις φάσεις της επεξεργασίας. Αυτά είναι αντλίες για τα υγρά υποστρώματα και ταινίες μεταφοράς για τα στερεά. Οι αντλίες που χρησιμοποιούνται για υποστρώματα με λιγότερο από 8% στερεές ουσίες είναι φυγοκεντρικές (με περιστρεφόμενη φτερωτή), τοποθετημένες σε σειρά με τον αγωγό διανομής. Για υποστρώματα με μεγαλύτερο ιξώδες χρησιμοποιούνται αντλίες θετικής μετατόπισης (με έμβολο ή ελικοειδές σπείρωμα) τοποθετημένες μέσα στον χωνευτήρα με τον κινητήρα τους υδατοστεγώς προστατευμένο ή με τον κινητήρα τους εκτός χωνευτήρα και την μετάδοση της κίνησης να γίνεται με άξονα.

	Περιστροφικές αντλίες	Αντλίες θρυμματισμού	Αντλίες ελικοειδούς σπειρώματος	Ακτινική αντλία με έμβολο
Περιεκτικότητα σε στερεά	< 8 %	< 8 %	< 15 %	< 15 %
Ισχύς	3 - 15 kW	3 - 15 kW	3 - 22 kW	3 - 20 kW
Παροχή	2 - 6 m ³ /min	2 - 6 m ³ /min	0,3- 3,5 m ³ /min	0,5 - 4 m ³ /min
Πίεση	0,8 - 3,5 bar	0,8 - 3,5 bar	< 25 bar	< 10 bar
Δομή υποστρώματος	Μεσαίες και μακριές ίνες	Μακριές ίνες	Κοντές ίνες	Μεσαίες και μακριές ίνες
Μέγεθος διέλευσης σωμάτων	Περίπου 5 cm	Ανάλογα τον θρυμματιστή	Περίπου 4 cm	Περίπου 6 cm
Εισροή	Χωρίς αναρρόφηση	Χωρίς αναρρόφηση	Με αναρρόφηση	Με αναρρόφηση
Κατάλληλη χρήση	Για μεγάλες ποσότητες, απλή και ανθεκτική κατασκευή	Για υποστρώματα με μακριές ίνες που χρειάζονται τεμαχισμό	Για υψηλές πιέσεις αλλά ευπαθείς σε υποστρώματα με μακριές ίνες	Υψηλότερες πιέσεις από τις περιστροφικές αλλά μεγαλύτερη φθορά λόγω χρήσης

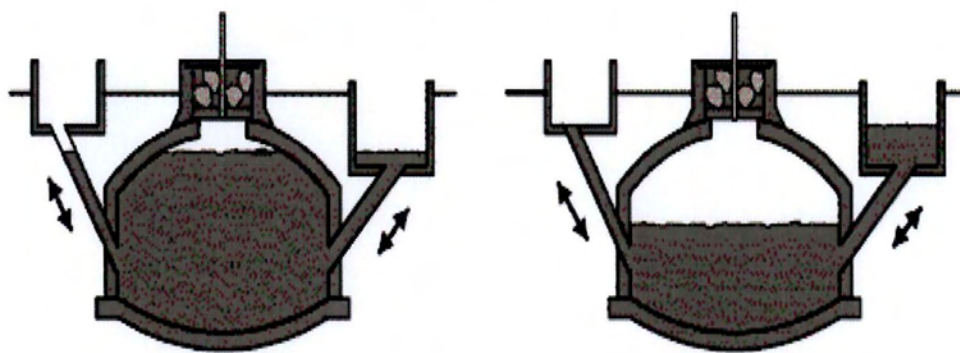
Πίνακας 7 Χαρακτηριστικά αντλιών

5.7 Συστήματα Ανάδευσης

Χαρακτηρίζονται έτσι όλα τα συστήματα που είναι υπεύθυνα για την ανάμιξη και ομογενοποίηση του υποστρώματος στην δεξαμενή ανάμιξης καθώς και τα συστήματα ανάδευσης εντός του χωνευτήρα. Η ανάδευση είναι απαραίτητη για την αποφυγή στρωμάτων αφρού, για την αύξηση της βακτηριδιακής δραστηριότητας, για την ανάμιξη του φρέσκου υποστρώματος με αυτό που υπάρχει ήδη στον χωνευτήρα και τέλος για την εξομάλυνση θερμοκρασιακών διαφορών. Η συχνότητα και η ένταση της ανάδευσης πρέπει να επιλεγθούν προσεκτικά καθώς πολύ συχνές αναδεύσεις ή πολύ γρήγορη περιστροφή μπορεί να έχουν αντίθετα από τα επιθυμητά αποτελέσματα. Ωστόσο η σωστή ανάδευση σε ένα σύστημα αυξάνει την παραγωγή έως και 50% σε σχέση με πριν. Οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι ανάδευσης είναι :

5.7.1 Ανάδευση μέσω εσωτερικής ροής

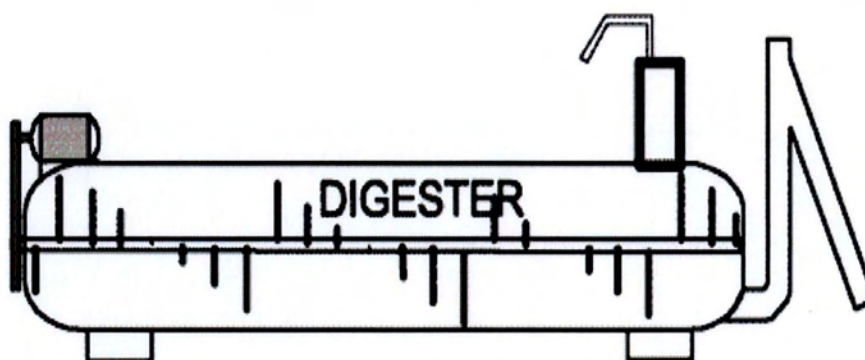
Εφαρμόζεται σε όλους τους χωνευτήρες σταθερού θόλου και προκαλείται από την κίνηση του πολτού προς την δεξαμενή απόρριψης (compensation tank) και πίσω στον χωνευτήρα ανάλογα με την αποθηκευμένη ποσότητα βιοαερίου.



Εικόνα 21 Ανάδευση με εσωτερική ροή

5.7.2 Μηχανικός αναδευτήρας με κουπιά (paddles)

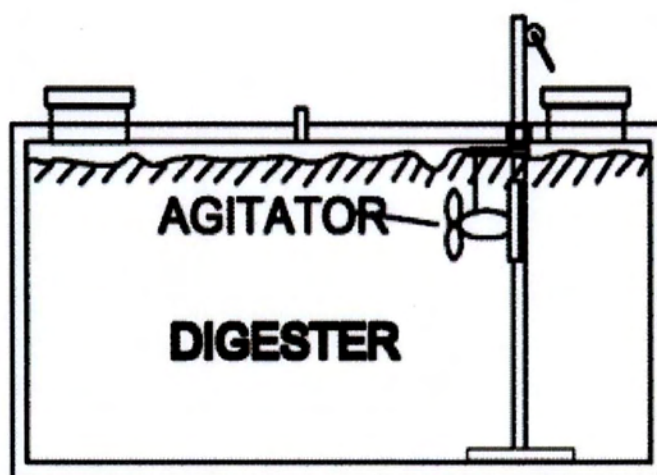
Χρησιμοποιείται κυρίως στις οριζόντιες δεξαμενές. Ένας άξονας εδράζεται στα δύο άκρα κατά μήκος του χωνευτήρα, ενώ επάνω του είναι προσαρμοσμένα τα κουπιά. Με την περιστροφή του άξονα το υπόστρωμα ανακινείται ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις τα κουπιά μπορούν να λειτουργήσουν και σαν εναλλάκτες για την θέρμανση της πρώτης ύλης.



Εικόνα 22 Ανάδευση με κουπιά(paddles)

5.7.3 Εσωτερικός ρότορας ανάδευσης

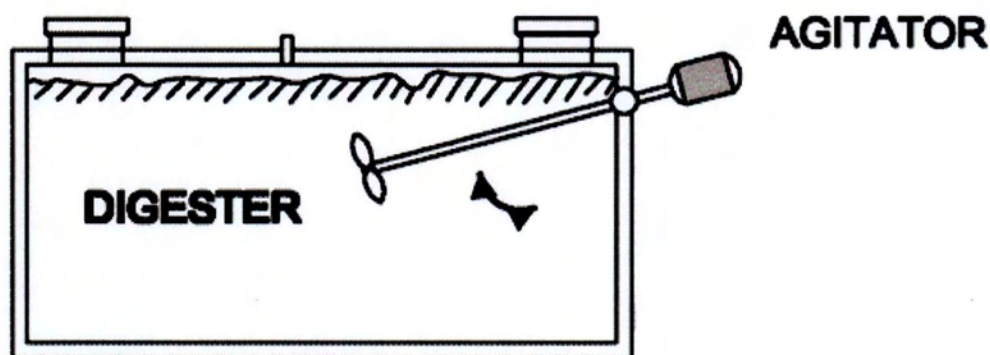
Ο κινητήρας βρίσκεται εντός της δεξαμενής χώνευσης, σφραγισμένος υδατοστεγώς. Η περιστροφή του ρότορα δημιουργεί ισχυρό ρεύμα που προκαλεί την ανάμιξη του πολτού ενώ το ύψος και η γωνία του ρυθμίζονται.



Εικόνα 23 Αναδευτήρας με καταδύόμενο κινητήρα

5.7.4 Εξωτερικός ρότορας ανάδευσης

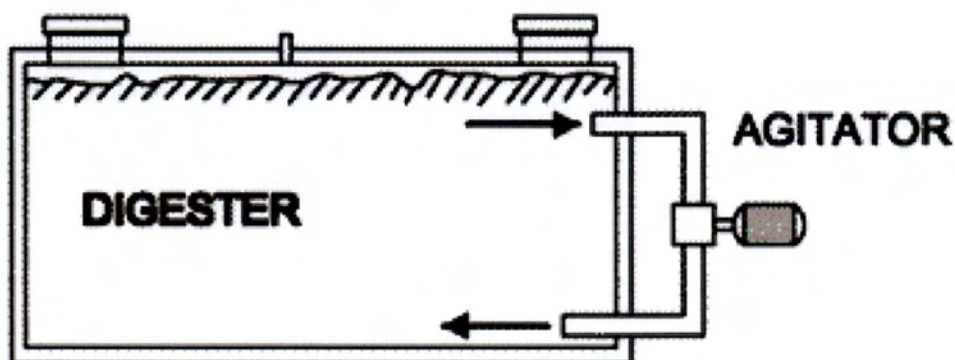
Η λειτουργία είναι κοινή με τους εσωτερικούς αναδευτήρες με μόνη διαφορά την τοποθέτηση του κινητήρα εκτός χωνευτήρα. Η κίνηση μεταδίδεται μέσω κινητού άξονα ώστε να επιτυγχάνεται ικανοποιητική ανάδευση σε όλα τα σημεία του χωνευτήρα, από τα ιζήματα στα χαμηλότερα στρώματα ως το στρώμα αφρού στην επιφάνεια.



Εικόνα 24 Αναδευτήρας υπό κλίση

5.7.5 Υδραυλική ανάδευση

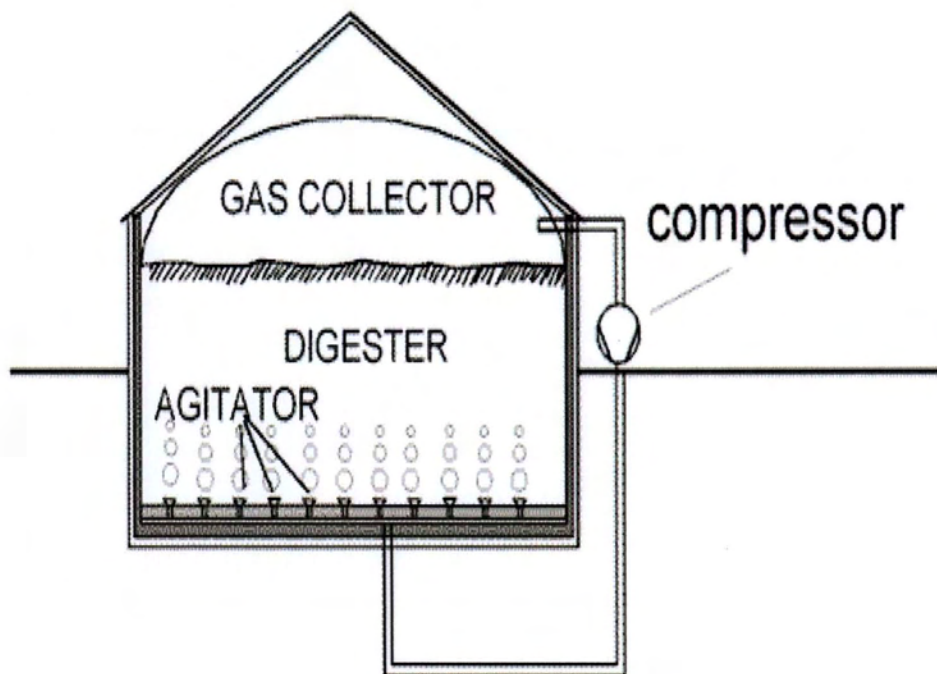
Υδραυλική ανάμιξη επιτυγχάνεται με την χρήση αντλίας με την είσοδο και την έξοδο της κατάλληλα τοποθετημένες στη δεξαμενή ζύμωσης ώστε να θέσουν όλο το περιεχόμενο της σε κίνηση. Το πλεονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι ότι όλος ο εξοπλισμός βρίσκεται εξωτερικά της δεξαμενής, με αποτέλεσμα να δέχεται μικρότερη φθορά και να έχει εύκολη πρόσβαση για συντήρηση. Ωστόσο δεν αντικαθιστούν τα μηχανικά συστήματα ανάδευσης αλλά λειτουργούν επικουρικά και μόνο σε υγρά υποστρώματα με χαμηλή περιεκτικότητα σε στερεά.



Εικόνα 25 Υδραυλική ανάδευση

5.7.6 Πνευματική ανάδευση

Η ανάδευση με ψεκασμό γίνεται με ένα σύστημα εγχυτήρων, που τοποθετείται στην βάση της δεξαμενής. Οι αναδυόμενες φυσαλίδες αερίου προκαλούν την ομαλή ανάδευση του υποστρώματος, έχουν όμως την τάση να επιταχύνουν την δημιουργία στρώματος αφρού στην επιφάνεια. Όπως στην περίπτωση της υδραυλικής ανάδευσης έτσι και εδώ οι αντλίες και οι συμπιεστές του συστήματος τοποθετούνται εξωτερικά του χωνευτήρα. Σπάνια χρησιμοποιείται ψεκασμός σε γεωργικές εγκαταστάσεις αφού η μέθοδος είναι ακατάλληλη για την διάσπαση του επιπλέοντος στρώματος αφρού. Οι εφαρμογές τις περιορίζονται σε λεπτόρευστη υγρή πρώτη ύλη με χαμηλή τάση για δημιουργία στρωμάτων επίπλευσης.



Εικόνα 26 Ανάδευση με ψεκασμό

6. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ MS EXCEL

Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας δημιουργήθηκε ένα υπολογιστικό πρόγραμμα σε περιβάλλον MS Excel, με σκοπό τον έγκυρο υπολογισμό της απόδοσης μίας μονάδας βιοαερίου καθώς και την σύγκριση μεταξύ των διαφόρων τεχνολογιών που προτείνονται. Επίσης χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των ηλεκτρικών και θερμικών απωλειών αλλά και τον καθορισμό κρίσιμων παραμέτρων σχετικά με τον σχεδιασμό και την λειτουργία της μονάδας. Το πρόγραμμα αποτελείται από φύλλο εισόδου των δεδομένων, τέσσερα βοηθητικά φύλλα όπου υπολογίζονται οι επιμέρους καταναλώσεις ενέργειας, και τέλος το φύλλο αποτελεσμάτων όπου γίνεται η σύγκριση και αξιολόγηση των μεθόδων παραγωγής.

Ακολουθεί αναλυτική περιγραφή του τρόπου λειτουργίας των υπολογιστικών φύλλων.

6.1 Παραγωγή Βιοαερίου

Το πρώτο βήμα είναι η εισαγωγή δεδομένων για την πρώτη ύλη. Έχει προβλεφθεί η χρήση ως και επτά διαφορετικών ειδών ζωικής και φυτικής βιομάζας όπως απόβλητα βουστασίων και χοιροστασίων, υπολείμματα σίτου και αραβόσιτου καθώς και η επανακυκλοφορία νερού ή λύματος διεργασιών. Στην δεύτερη στήλη εισάγεται η ημερήσια ποσότητα πρώτης ύλης (*tn/day*) που επεξεργάζεται η μονάδα ενώ στις στήλες τρία (3) και πέντε (5) εισάγεται το ποσοστό των ολικών και των πτητικών στερεών (%TS και VS%TS) αντίστοιχα.

	Ποσότητα		Ολικά Στερεά	Πτητικά Στερεά			Αναλογία	Πυκνότητα
	(tn/day)	(m ³ /day)	% TS	Vs(kg/m ³)	Vs % Ts	Vs (kg/day)	C::N	ρ (kg/m ³)
Βοοειδή (υγρά)	18	15,869	0,05	42,536	0,75	675,004	10	1134,305
Βοοειδή (στερεά)	30	36,992	0,12	82,721	0,85	3060,015	20	810,99
Χοίροι (υγρά)	17	13,717	0,03	26,026	0,7	356,999	9	1239,327
Χοίροι (στερεά)	30	30,386	0,08	63,188	0,8	1920,031	13	987,31
Πουλερικά	0	0	0,2	84,128	0,8	0	7	525,8
Σιτηρά	5	8	0,86	494,5	0,92	3956	100	625
Καλαμπόκι	0	0	0,8	524,16	0,91	0	48	720
Νερό	20	20	0	0	0	0	0	1000
Σύνολο :	120	124,964	0,10	67,149	0,851	9968,049	15,19	988

Πίνακας 8 Εισαγωγή δεδομένων στο MS Excel

Τα ολικά στερεά μίας ουσίας (%TS), ορίζονται ίσα με το ποσοστό βάρους του σε σχέση με το αρχικό μετά από την πλήρη ξήρασή του. Ως πτητικά στερεά (%VS) ορίζονται το ποσοστό βάρους των οργανικών στερεών που χωνεύονται. Για παράδειγμα, 1 κιλό της Χ ουσίας υπόκειται σε διαδικασία ξήρασης, στη συνέχεια ζυγίζεται και το βάρος του είναι πλέον 800 γραμμάρια. Αυτή η ουσία λοιπόν περιέχει 80% ολικά στερεά. Στη συνέχεια χωνεύεται, ζυγίζεται ξανά και το βάρος της είναι 400 γραμμάρια. Τότε αυτή η ουσία περιέχει 50% πτητικά στερεά επί των ολικών (VS%TS).

Βάση των ολικών στερεών υπολογίζεται η πυκνότητα των ζωικών υποστρωμάτων που συλλέγονται σε μορφή πολτού με την ακόλουθη σχέση :

$$\rho(kg/m^3) = 0,7026 \times (\%TS \times 100)^2 - 58,132 \times (\%TS \times 100) + 1407,4$$

Στα φυτικά υποστρώματα οι τιμές της πυκνότητας διαφοροποιούνται ανάλογα με την υγρασία και την μέθοδο επεξεργασίας, για το λόγο αυτό δεν χρησιμοποιήθηκαν εξισώσεις υπολογισμού αλλά τιμές από βιβλιογραφία. Ακόμα ελέγχεται η αναλογία άνθρακα-αζώτου (C::N, Barnett 1978) ώστε να παραμένει στα επιθυμητά όρια μεταξύ 10 ως 30 μέρη άνθρακα προς ένα μέρος αζώτου.

	Θερμοχωρη- τικότητα Cp (kj / Kg°C)	Κινητική Παράμετρος K	Σχετικό Ιξώδες -	Δυναμικό Ιξώδες Ms (pa S)	Κινητικό Ιξώδες Ns (mm ² /S)
Βοοειδή (υγρά)	4,053	0,821	1,156	0,0013	1,146
Βοοειδή (στερεά)	3,86	1,029	1,465	0,0016	1,973
Χοίροι (υγρά)	4,108	0,678	1,089	0,0012	0,968
Χοίροι (στερεά)	3,97	1,117	1,275	0,0014	1,418
Πουλερικά	3,64	0,492	1,978	0,0022	4,184
Σιτηρά	1,825	-	4337,222	4,8698	7791,68
Καλαμπόκι	2,38	-	1607,493	1,8049	2506,806
Νερό	4,2	-	1,003	0,0011	1,1
Σύνολο	3,923	-	-	0,2042	206,68

Πίνακας 9 Υπολογισμός ιδιοτήτων υποστρώματος

Στη συνέχεια υπολογίζεται η ειδική θερμοχωρητικότητα βάση της περιεκτικότητας σε ολικά στερεά, με την βοήθεια των εμπειρικών τύπων :

για απόβλητα βοοειδών και χοίρων:

$$Cp(kj / Kg°C) = 1,44 + 2,75 \times (1 - \%TS)$$

για απόβλητα πουλερικών:

$$C_p(kJ/Kg^{\circ}C) = 1,295 + 0,029 \times (1 - \%TS) \times 100$$

για υπολείμματα σιταριού [20] :

$$C_p(kJ/Kg^{\circ}C) = 1,44 + 2,75 \times (1 - \%TS)$$

Για τον αραβόσιτο δεν βρέθηκε κάποιος αντίστοιχος τύπος υπολογισμού, και χρησιμοποιήθηκε από την βιβλιογραφία [18] η τιμή : $C_p(kJ/Kg^{\circ}C) = 2,38$

Η επόμενη στήλη με τίτλο κινητική παράμετρος k θα αναλυθεί παρακάτω.

Ακολουθεί ο υπολογισμός του ιξώδους για το πολτοποιημένο υπόστρωμα.

Σχετικό ιξώδες:

$$\mu_r = 1 + 2,5 \times (\%TS) + 10,05 \times (\%TS)^2 + 0,00273 \times e^{16,6 \times (\%TS)}$$

Δυναμικό ιξώδες πολτού:

$$\mu_s(Pa \cdot s) = \mu_r \times \mu_l(Pa \cdot s)$$

$$\mu_l = 2,414 \times 10^{-5} \times 10^{247,8 / (T-140)}$$

όπου μ_l το δυναμικό ιξώδες του νερού, με $T(K)$ την μέση ετήσια θερμοκρασία.

Κινητικό ιξώδες πολτού:

$$v_s(mm^2/s) = \mu_s/\rho \times 10^6$$

,με $\rho(kg/m^3)$ την πυκνότητα.

Στις τελευταίες στήλες του πίνακα εισάγονται για κάθε είδος υποστρώματος, η μέγιστη παραγωγή βιοαερίου σε ($m^3/Kg Vs$) και η περιεκτικότητά του σε μεθάνιο ($\% CH_4$)[19] και υπολογίζεται η μέγιστη παραγωγή μεθανίου B_o σε ($nm^3 - Ch_4/Kg Vs$).

	Παραγωγή Μεθανίου ($nm^3-Ch_4/Kg Vs$)	Παραγωγή Βιοαερίου ($m^3/Kg Vs$)	Μεθάνιο % CH_4
Βοοειδή (υγρά)	0,083	0,15	55
Βοοειδή (στερεά)	0,263	0,35	75
Χοίροι (υγρά)	0,238	0,34	7
Χοίροι (στερεά)	0,44	0,55	8
Πουλερικά	0,322	0,46	7
Σιτηρά	0,145	0,25	58
Καλαμπόκι	0,217	0,41	53
Νερό	0	0	0
Σύνολο	0,237	0,306	59,3

Πίνακας 5 Παραγωγή μεθανίου και βιοαερίου διαφόρων υποστρωμάτων

Για τον υπολογισμό της εκτιμώμενης παραγωγής βιοαερίου χρησιμοποιήθηκε το προσεγγιστικό μοντέλο των **Chen – Hashimoto**[9], το οποίο ορίζει την παραγωγή μεθανίου :

$$B(nm^3 - Ch4/Kg Vs) = B_o \times \left\{ \frac{1 - k}{(\mu_m \times HRT - 1 + k)} \right\}$$

Όπου B_o η μέγιστη παραγωγή μεθανίου σε $(nm^3 - Ch4/Kg Vs)$

Με k συμβολίζεται η Κινητική παράμετρος, η οποία είναι εκθετική συνάρτηση της συγκέντρωσης των πτητικών στερεών στην πρώτη ύλη. Αύξηση τις συγκέντρωσης πάνω από μία κρίσιμη τιμή προκαλεί αναστολή της διεργασίας και μείωση του παραγόμενου μεθανίου. Οι συναρτήσεις που περιγράφουν την παράμετρο k είναι [21],[22] :

$$k = 0,8 + 0,0016 \times e^{(0,06 \times Vs)} \quad \text{για βοοειδή}$$

$$k = 0,6 + 0,0206 \times e^{(0,051 \times Vs)} \quad \text{για χοίρους}$$

$$k = 0,1222 + 0,0157 \times e^{(1,5454 \times OLR)} \quad \text{για πουλερικά}$$

μ_m είναι ο μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης μικροοργανισμών ως συνάρτηση της θερμοκρασίας του χωνευτήρα για θερμοκρασίες από 30°C ως 60°C:

$$\mu_m(1/day) = 0,013 \times (T^\circ C) - 0,129$$

Υδραυλικός χρόνος παραμονής στον χωνευτήρα: $HRT(days)$

Ο χρόνος παραμονής και η θερμοκρασία στο εσωτερικό του χωνευτήρα είναι ανεξάρτητες μεταβλητές του προγράμματος και ορίζονται από τον χρήστη. Ωστόσο οι τιμές τους καθορίζουν το είδος της αναερόβιας χώνευσης σε μεσόφιλη ή θερμόφιλη. Για την μεσόφιλη η θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 30°C και 42°C και ο χρόνος παραμονής HRT μεταξύ 20 και 40 ημερών. Για την θερμόφιλη χώνευση τα αντίστοιχα εύρη τιμών είναι 43°C -55°C και 15 με 20 ημέρες. Στην συνέχεια γίνεται μελέτη απόδοσης και απωλειών και για τις δύο περιπτώσεις.

Μετά την εισαγωγή των παραπάνω τιμών ακολουθεί ο υπολογισμός του απαιτούμενου όγκου χωνευτήρα V_R , ως συνάρτηση του χρόνου παραμονής και της ημερήσιας παροχής:

$$V_R(m^3) = HRT(days) \times Q \left(m^3/day \right)$$

Καθορίζεται επίσης ο οργανικός ρυθμός φόρτωσης OLR ($kg Vs/(m^3 \times day)$) που εκφράζει την ποσότητα οργανικής ουσίας που εισάγεται καθημερινά στον χωνευτήρα.

Στη συνέχεια υπολογίζεται η ημερήσια παραγωγή μεθανίου με τον εξής τύπο :

$$P_{meth}(nm^3 - CH_4/day) = \frac{B \times Vs \times Q \times V_R}{HRT \times Q_{tot}}$$

Όπου Vs ($kg Vs/m^3$) η συγκέντρωση των πτητικών στερεών στην πρώτη ύλη και $Q_{tot}(m^3/day)$ η συνολική ημερήσια παροχή.

Ακολουθεί ο πίνακας ιδιοτήτων του βιοαερίου, όπου ανάλογα με την σύσταση της πρώτης ύλης υπολογίζεται η πυκνότητα του παραγόμενου βιοαερίου $\rho_{biogas}(kg/m^3)$, το δυναμικό ιξώδες $\mu_s(\mu Pa \times S)$, οι ειδικές θερμοχωρητικότητες $C_p, C_v(kj/Kg^\circ C)$, καθώς και η κατά βάρος περιεκτικότητα του σε μεθάνιο (CH_4) και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2).

	$\rho(kg/m^3)$	$Ms(\mu Pa S)$	$Cp(kj/Kg^\circ C)$	$Cv(kj/Kg^\circ C)$	(%w/w)
Ch4	0,717	11,20	2,22	1,7	59,3
Co2	1,977	14,80	0,844	0,655	35,475
H2s	1,363	11,79	1,003	0,759	2
H2	0,08988	8,76	14,32	10,16	3
Nh3	0,73	9,82	2,19	1,66	0,2
N2	1,251	17,81	1,04	0,743	0,025
Βιοαεριο	1,159	12,418	2,07	1,564	-

Πίνακας 10 Ιδιότητες βιοαερίου

Η θερμογόνο δύναμή του βιοαερίου: $HHV_{biogas}(Mj/m^3) = HHV_{CH_4} \times (\% w/w CH_4)$.

Με γνωστή πλέον την σύσταση του βιοαερίου υπολογίζεται η ημερήσια παραγωγή βιοαερίου της μονάδας $P_{biogas}(nm^3/day)$ και το ενεργειακό περιεχόμενο της ετήσιας παραγωγής ($Mj/year$). Ακόμα εκτιμάται η παραγωγή χωνευμένου υποστρώματος $P_{sub}(m^3/day)$ ως υποπροϊόν της διεργασίας εφαρμόζοντας ένα ισοζύγιο μάζας στην είσοδο και την έξοδο του χωνευτήρα:

$$Q_{tot}(tn/day) = P_{biogas}(tn/day) + P_{sub}(tn/day)$$

Στη συνέχεια τα δεδομένα εκχωρούνται στα υπόλοιπα φύλλα υπολογισμού και επιστρέφουν τις επιμέρους καταναλώσεις ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας σε όλα τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας.

Έπειτα υπολογίζεται η καθαρή παραγωγή ενέργειας και ο βαθμός απόδοσης της μονάδας για κάθε μέθοδο χώνευσης (μεσόφιλη-θερμόφιλη) και γίνεται η μεταξύ τους σύγκριση. Η σύγκριση και αξιολόγηση των δύο μεθόδων θα γίνει αφού πρώτα παρουσιαστούν αναλυτικά οι υπολογισμοί ενεργειακών απωλειών στα επόμενα φύλλα.

6.2 Θερμικές Απώλειες

Υπολογίζονται οι απώλειες θερμότητας από τον χωνευτήρα για τις περιπτώσεις της μεσόφιλης και θερμόφιλης χώνευσης ξεχωριστά. Σε κάθε περίπτωση γίνεται μελέτη για κυλινδρική και ημισφαιρική δεξαμενή χώνευσης, με υλικά κατασκευής το σπλισμένο σκυρόδεμα ή τον χάλυβα καθώς και μόνωση από πολυστερίνη. Τέλος υπολογίζεται η ελάχιστη απαιτούμενη θερμαντική ισχύς και επιλέγεται ο τύπος χωνευτήρα που ελαχιστοποιεί τις απώλειες θερμότητας.

Παραδοχές

- Ημέρες λειτουργίας ανά έτος : $D_{work} = 330 \text{ days}$
- Μέση ετήσια θερμοκρασία περιβάλλοντος : $T_{αέρα} = 15,6^{\circ}\text{C}$
- Μέση ετήσια θερμοκρασία εδάφους : $T_{εδάφους} = 13^{\circ}\text{C}$
- Θερμοκρασία στο εσωτερικό του χωνευτήρα:
Μεσόφιλη χώνευση $T_{in} = 42^{\circ}\text{C}$,Θερμόφιλη χώνευση $T_{in} = 55^{\circ}\text{C}$
- Ύψος κυλινδρικής δεξαμενής **ίσο** με την διάμετρο της.
- Απόσταση από τον πυθμένα της κατασκευής μέχρι την επιφάνεια του εδάφους : 5 m

Πρώτα υπολογίζονται οι διαστάσεις της δεξαμενής για τον δεδομένο όγκο χωνευτήρα:

Εσωτερικές διαστάσεις χωνευτήρα για θερμόφιλη χώνευση	
Δομή	Ημισφαιρική
Όγκος (m ³)	2500
Διάμετρος (m)	21,2
Ύψος (m)	10,6
Βάθος (m)	5
Επιφάνεια (m ²)	1060

Πίνακας 11

Εσωτερικές διαστάσεις χωνευτήρα για μεσόφιλη χώνευση	
Δομή	Κυλινδρική
Όγκος (m ³)	4.874
Διάμετρος (m)	18,4
Ύψος (m)	18,4
Βάθος (m)	5
Επιφάνεια (m ²)	1.591

Πίνακας 12

Οι απώλειες υπολογίζονται ξεχωριστά για την βάση, την επιφάνεια σε επαφή με αέρα, την επιφάνεια σε επαφή με έδαφος και την οροφή.

Υλικό	L (m)	K (w/mk)	R(km ² /w)	U(w/m ² k)
Σκυρόδεμα	0,2	0,6	0,333	3
Χάλυβας	0	16,7	0,0000	0
Μόνωση	0,05	0,03	1,667	0,6
Συνολικά	0,25		2	0,50000
Επιφάνεια Βάσης (m ²)			294,834	
Απώλειες Θερμότητας από τη βάση (kW)			4,275	

Πίνακας 13 Θερμικές απώλειες χωνευτήρα

Ανάλογα με το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί, εισάγεται στο αντίστοιχο κελί το πάχος $L(m)$ και η θερμική του αγωγιμότητα $K (W/m \times K)$ και υπολογίζονται :

- η θερμική αντίσταση

$$R (K \times m^2/W) = L(m)/K (wW/m \times K)$$

- ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας

$$U (W/m^2 \times k) = K (W/m \times K)/L(m)$$

- η επιφάνεια μετάδοσης θερμότητας $A(m^2)$

- οι θερμικές απώλειες

$$Q_{los}(W) = U_{tot}(W/m^2 \times k) \times A(m^2) \times (T_H - T_L)$$

Για την εύρεση των συνολικών απωλειών, αθροίζονται οι απώλειες από κάθε επιφάνεια :

$$Q_{total}(W) = Q_{base}(W) + Q_{side}(W) + Q_{top}(W)$$

τέλος υπολογίζεται η ετήσια κατανάλωση ενέργειας για την θέρμανση του χωνευτήρα, επιλέγονται οι τύποι χωνευτήρα με τις ελάχιστες απαιτήσεις σε ενέργεια και εκχωρούνται στο φύλλο αποτελεσμάτων :

$$Q_{year}(kWh) = Q_{total}(W) \times D_{work}(days) \times 24(h)$$

Παρατηρείται πως οι κυλινδρικοί χωνευτήρες καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια για την θέρμανσή τους σε σχέση με τους ημισφαιρικούς , όπως υποδεικνύει και ο συγκριτικά μικρότερος λόγος A/V . Δηλαδή για δεδομένο όγκο η κυλινδρική δομή ελαχιστοποιεί την επιφάνεια μετάδοσης θερμότητας και κατά συνέπεια τις θερμικές απώλειες [15].

6.3 Προεπεξεργασία Ανάδευση

Σε αυτό το φύλλο υπολογίζονται όλες οι ενεργειακές απώλειες που αφορούν την προετοιμασία της πρώτης ύλης πριν την είσοδό της στον χωνευτήρα. Η προετοιμασία αποτελείται από τρία στάδια : Ομογενοποίηση, Θρυμματισμός και Προθέρμανση. Παράλληλα υπολογίζονται η απαιτούμενη ισχύς των αναδευτήρων εντός του χωνευτήρα και η ετήσια κατανάλωση ενέργειας. Ακόμα, γίνεται η διαστασιολόγηση των περιφερειακών εγκαταστάσεων όπως η δεξαμενή ανάμιξης υποστρώματος και το αεριοφυλάκιο για την αποθήκευση του βιοαερίου.

Το ακατέργαστο υπόστρωμα συγκεντρώνεται καθημερινά σε ειδική δεξαμενή, όπου ομογενοποιείται με την βοήθεια αναδευτήρων.

Θεωρείται ότι η δεξαμενή έχει χωρητικότητα διπλάσια της ημερήσιας παροχής.

$$V(m^3) = 2 \times Q_{tot}(m^3)$$

Για δεδομένα χαρακτηριστικά του αναδευτήρα ο χρόνος ανάδευσης $t(s)$ υπολογίζεται ως συνάρτηση του όγκου της δεξαμενής:

$$Re > 5 \times 10^3, N_i \times t = \frac{1,54 \times V}{D_i^3}$$

Όπου $N_i(s^{-1})$ η ταχύτητα περιστροφής του αναδευτήρα και $D_i(m)$ η διάμετρος του τάρακτρου.

Ακολουθεί ο υπολογισμός του αριθμού *Reynolds*:

$$Re = \frac{N_i \times D_i^2 \times \rho}{\mu}$$

με $\rho (kg/m^3)$ την πυκνότητα της πρώτης ύλης και $\mu (Pa \times s)$ το δυναμικό ιξώδες.

Για στρωτή ροή ($Re < 10^4$) η ισχύς ανάδευσης είναι:

$$P = k_i \times \mu \times N_i^2 \times D_i^3$$

Για τυρβώδη ροή ($Re > 10^4$) αντίστοιχα ισχύει ότι :

$$P = N_p \times \rho \times N_i^3 \times D_i^5$$

Η ισχύς υπολογίζεται συναρτήσει των αδιάστατων τιμών k_i και του αριθμού Newton N_p που εξαρτώνται από το είδος της πτερωτής του αναδευτήρα.

Είδος πτερωτής	k_i	N_p
Στρόβιλος Rushton	70	5-6
Κουπί	35	2
Προπέλα	40	0.35
Άγκυρα	420	0.35
Έλικας	1000	0.35

Πίνακας 14 Συντελεστές πτερωτών

Ωστόσο, η ισχύς ανάδευσης εξαρτάται και από το είδος της δεξαμενής.

Μελετήθηκαν δύο περιπτώσεις, για κυλινδρική και κυβική δεξαμενή. Πρώτα υπολογίστηκαν οι διαστάσεις τους με δεδομένο τον όγκο $V (m^3)$ και θεωρώντας το πάχος των τοιχωμάτων $W_b = 0,2(m)$.

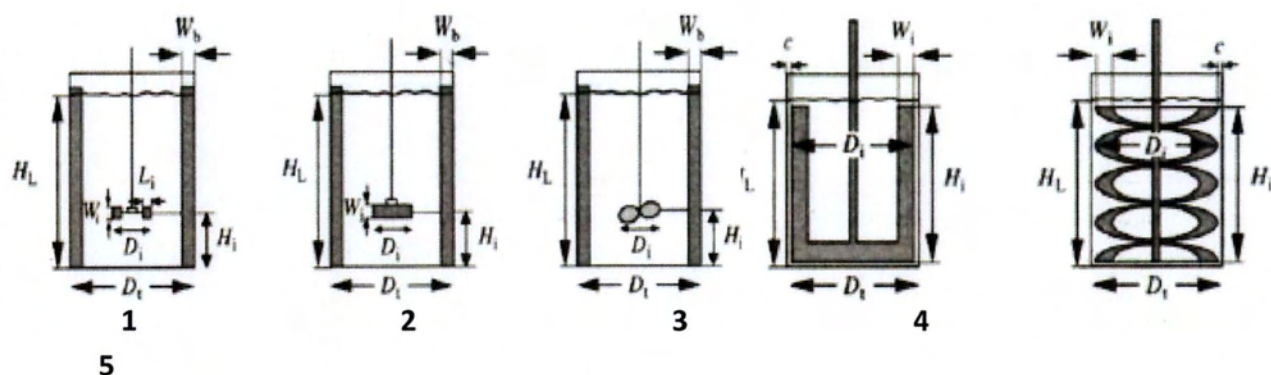
Δεξαμενή Ανάμιξης	
Όγκος δεξαμενής (m^3)	250
Κυλινδρική Δεξαμενή	
Διάμετρος (m)	9
Ύψος (m)	4
Πάχος (m)	0,2
Κυβική Δεξαμενή	
Μήκος Πλευράς (m)	6,30
Πάχος (m)	0,2

Πίνακας 15 Εξωτερικές διαστάσεις

Η πραγματική ισχύς των αναδευτήρων υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P' = f \times P$$

με συντελεστή προσαύξησης $f = \sqrt{\frac{(D_t/D_i)'}{(D_t/D_i)} \times \frac{(H_L/D_i)'}{(H_L/D_i)} \times \frac{(W_b/D_t)'}{(W_b/D_t)}}$



Είδος Πτερωτής	D_t/D_i	H_L/D_i	H_i/D_i	Πτερύγια	
				W_b/D	Αριθμός
1. Στρόβιλος Rushton $W_i/D_i = 0.2, L_i/D_i = 0.1$	3	3	1	0.1	4
2. Κουπί $W_i/D_i = 0.25$	3	3	1	0.1	4
3. Προπέλα $Pitch = D_i$	3	3	1	0.1	4
	D_t/D_i	c/D_i	H_i/D_i	W_i/D_i	
4. Άγκυρα	1.02	0.01	1	0.1	
5. Έλικας	1.02	0.01	1	0.1	

Πίνακας 16 Πρότυποι αναδευτήρες

Οι λόγοι (D_t/D_i) , (H_L/D_i) , (W_b/D_t) παίρνουν τις τιμές του πίνακα για το αντίστοιχο είδος πτερωτής, ενώ οι $(D_t/D_i)'$, $(H_L/D_i)'$, $(W_b/D_t)'$ χρησιμοποιούν τις πραγματικές διαστάσεις της δεξαμενής. Σημειώνεται ότι μελετήθηκαν μόνο δύο πιθανά είδη πτερωτής, τύπου προπέλας και έλικας. Αφού καθοριστεί ο συντελεστής προσαύξησης f και η ισχύς P' , επιλέγεται ο κινητήρας του αναδευτήρα ώστε η ισχύς του P_{mix} να υπερκαλύπτει την P' .

Ομογενοποίηση , Μεσόφιλη Χώνευση		
Δομή	Κυλινδρική	Κυβική
Dt	9	6,3
Di	0,66	0,66
HI	4	6,3
Wb	0,2	0,2
Dt/Di	13,636	9,545
HI/Di	6,061	9,545
Wb/Dt	0,022	0,032
F	1,421	1,8
P' (kW)	15,632	19,802
Pmix(kW)	16	20

Πίνακας 17 Ισχύς αναδευτήρα

Κατόπιν υπολογίζεται η ετήσια κατανάλωση ενέργειας και για τις δύο περιπτώσεις.

$$E_{mix}(kWh) = P_{mix} \times t_{mix} \times D_{work}$$

Με την ίδια διαδικασία υπολογίζονται και ο χρόνος και η ισχύς ανάδευσης εντός του χωνευτήρα, για μεσόφιλες και θερμόφιλες συνθήκες χώνευσης. Χρησιμοποιώντας τον παραπάνω τύπο βρίσκεται η ετήσια κατανάλωση ενέργειας εντός του χωνευτήρα. Τέλος οι καταναλώσεις ενέργειας για την ομογενοποίηση και την ανάδευση της πρώτης ύλης εισάγονται στο φύλλο αποτελεσμάτων.

Ανάδευση εντός του χωνευτήρα , Μεσόφιλη Χώνευση				
Δομή Υλικό	Κυλινδρική Χάλυβας	Κυλινδρική Σκυρόδεμα	Ημισφαιρική Χάλυβας	Ημισφαιρική Σκυρόδεμα
Dt	18,48	18,88	26,607	27,007
Di	0,66	0,66	0,66	0,66
HI	18,38	18,38	13,254	13,254
Wb	0,1	0,5	0,1	0,5
Dt/Di	28	28,606	40,314	40,92
HI/Di	27,848	27,848	20,082	20,082
Wb/Dt	0,005	0,026	0,004	0,019
F	2,081	4,797	1,897	4,165
P'(kW)	14,98	34,54	13,66	29,99
Pmix(kW)	15	35	14	30

Πίνακας 18 Ισχύς αναδευτήρα

Στη συνέχεια υπολογίζεται η απαίτηση ενέργειας για την λειτουργία του θρυμματιστή. Ο θρυμματιστής χρησιμοποιείται για να μειώσει το μέγεθος των στερεών του υποστρώματος. Η τοποθέτηση του γίνεται στον αγωγό τροφοδοσίας του χωνευτήρα, μετά την δεξαμενή ανάμιξης.

Επειδή δεν βρέθηκαν εξισώσεις υπολογισμού της ισχύος ενός θρυμματιστή, αυτή επιλέχτηκε με βάση την παροχή του σύμφωνα με στοιχεία των κατασκευαστών. Για επεξεργασία ζωικών και φυτικών αποβλήτων με ροή μάζας $Q \leq 120(m^3/h)$ χρησιμοποιούνται θρυμματιστές με ισχύ $P_{grad} \sim 1,5(kW)$ ενώ για ροή $Q \leq 400(m^3/h)$ η ισχύς είναι $P_{grad} \sim 2,2(kW)$.

Η κατανάλωση του θρυμματιστή είναι:

$$E_{grad}(kWh) = P_{grad} \times t \times D_{work}$$

, με t τον ημερήσιο χρόνο λειτουργίας του.

Το τελευταίο στάδιο της προετοιμασίας του υποστρώματος πριν την χώνευση είναι η προθέρμανση. Η πρώτη ύλη συλλέγεται και μεταφέρεται από κτηνοτροφικές μονάδες σε απόσταση χιλιομέτρων από το σημείο της εγκατάστασης, οπότε είναι ασφαλές να θεωρήσουμε την θερμοκρασία της ίση με μέση ετήσια της περιοχής $T_{sub} = T_{αέρα}$. Όμως κατά την είσοδο στον χωνευτήρα η θερμοκρασία της πρέπει να είναι ίση με αυτή που επικρατεί στο εσωτερικό του ώστε να μην διαταράξει την διεργασία της αναερόβιας χώνευσης. Η απαίτηση σε θερμική ενέργεια για την προθέρμανση του υποστρώματος υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο:

$$E_{sub}(kWh) = Q_{tot} \times \rho \times C_p \times (T_{in} - T_{sub}) \times D_{work}$$

Όπου $Q_{tot}(m^3/day)$ η ημερήσια παροχή υποστρώματος, $\rho(kg/m^3)$ η πυκνότητα, $C_p(Kj/Kg^{\circ}C)$ η ειδική θερμοχωρητικότητα, $T_{in}(^{\circ}C)$ η θερμοκρασία χωνευτήρα για μεσόφιλες και θερμοφίλες συνθήκες, $D_{work}(days)$ ημέρες λειτουργίας ανά έτος.

Ακολουθεί η διαστασιολόγηση του αεριοφυλακίου. Ο όγκος του V_g εξαρτάται από τους ρυθμούς παραγωγής και κατανάλωσης και πρέπει να:

- Καλύπτει το μέγιστο ρυθμό κατανάλωσης $g_{c(max)} \rightarrow V_{g1}$
- Έχει ικανότητα αποθήκευσης του παραγόμενου βιοαερίου για την μεγαλύτερη περίοδο μηδενικής κατανάλωσης $t_{z(max)} \rightarrow V_{g2}$

$$V_{g1} = g_{c(max)} \times t_{c(max)} \text{ και } V_{g2} = P_{h,biogas} \times t_{z(max)}$$

Όπου $g_{c(max)}(m^3/h)$: η μέγιστη ωριαία κατανάλωση

$t_{c(max)}(h)$: η διάρκεια μέγιστης κατανάλωσης

$P_{h,biogas}(m^3/h)$: η ωριαία παραγωγή βιοαερίου

$t_{z(max)}(h)$: η μέγιστη διάρκεια μηδενικής κατανάλωσης

Ο όγκος του αεριοφυλακίου V_g καθορίζεται από την μεγαλύτερη εκ των δύο τιμών V_{g1}, V_{g2} προσαυξημένη με ένα συντελεστή ασφάλειας 10%.

$$V_g = 1,1 \times \max[V_{g1}, V_{g2}]$$

6.4 Αντλίες

Σε αυτό το φύλλο υπολογίζεται η ονομαστική ισχύς των αντλιών καθώς και η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για την λειτουργία τους, σε ετήσια βάση. Χρησιμοποιούνται τέσσερις αντλίες κάθε μια για την μεταφορά διαφορετικού μέσου. Αυτές είναι η αντλία τροφοδοσίας του χωνευτήρα για την μεταφορά επεξεργασμένου υποστρώματος, η αντλία εκκένωσης του χωνευτήρα από το χωνευμένο υπόστρωμα, η αντλία υγρού υπολείμματος στην έξοδο του διαχωριστή και τέλος η αντλία παροχής βιοαερίου στην μονάδα συμπαραγωγής.

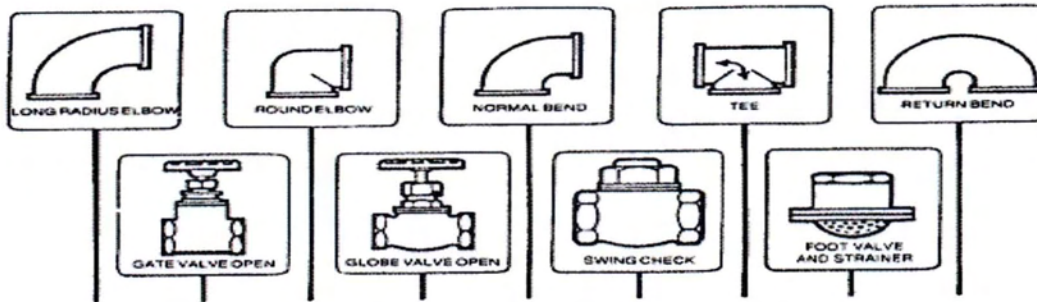
Για τις αντλίες μεταφοράς υποστρώματος και υγρού υπολείμματος οι υπολογισμοί έγιναν με βάση τα εξής χαρακτηριστικά:

Παραδοχές

- Πίεση στην είσοδο και την έξοδο ίση με την ατμοσφαιρική, $P_{in} = P_{out} = 1,013bar$
- Χαλύβδινες σωληνώσεις με εσωτερική διάμετρο $D_{in} = 300mm$
- Ο αριθμός και η διάρκεια αντλήσεων καθορίζουν πόσες φορές και για πόσο χρόνο θα λειτουργήσουν οι αντλίες σε μία ημέρα. Στην προκειμένη περίπτωση θεώρηθηκε μία περίοδος λειτουργίας ανά ημέρα με διάρκεια δέκα λεπτών, $t_d = 1 \times 30min$
- Η απώλειες τριβών για εξαρτήματα όπως συνδέσεις, γωνίες και βαλβίδες επιλέχθηκαν από τον παρακάτω πίνακα.
- Ολικός βαθμός απόδοσης για τις αντλίες $n_{tot} = 0,75$
- Το μήκος των αγωγών $L(m)$ και η υψομετρική διαφορά μεταξύ σημείου αναρρόφησης και κατάθλιψης, $H_z(m) = H_{out} - H_{in}$, βρέθηκαν από το διάγραμμα χωροθέτησης της εγκατάστασης.

Μεσόφιλη Χώνευση	Επεξεργασμένο υπόστρωμα	Χωνευμένο υπόστρωμα	Υγρό υπόλειμμα
H in (m)	-0,5	-4	-4
H out (m)	14	2	2
Μήκος αγωγού (m)	19,5	10,7	10
Ισοδύναμο μήκος εξαρτημάτων (m)	76,05	76,05	76,05

Πίνακας 19 Αντλίες



Διάμετρος (mm)	Ισοδύναμο μήκος ευθύγραμμου αγωγού για τον υπολογισμό των απωλειών (m)								
200	2.73	4.0	7.15	87.1	5.6	21.4	17.4	23.4	19.5
300	4.0	5.6	11.0	127.4	8.7	31.7	26	35.6	30

Πίνακας 20 Αντλίες

Πρώτα υπολογίζεται:

- η ογκομετρική παροχή της αντλίας, $\dot{V}_p (m^3/s) = Q_{tot} / (t_d \times 60)$,
- η ταχύτητα ροής, $U (m/s) = \dot{V}_p / (\pi \times D_{in}^2 / 4)$

Για τον υπολογισμό των απωλειών τριβής χρησιμοποιείται ο αριθμός *Reynolds*,

$$Re = \frac{\rho \times D_{in} \times U}{\mu_s}$$

Στην περίπτωση στρωτής ροής (για $Re < 2300$) ο συντελεστής τριβής $f = \frac{64}{Re}$

ενώ στην περίπτωση που η ροή είναι τυρβώδης (για $Re > 4000$) ο συντελεστής f υπολογίζεται με την εξίσωση **Swamee – Jain** σύμφωνα με την οποία ισχύει:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3.7 \times D_{in}} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

Όπου $\varepsilon (m)$ η τραχύτητα του αγωγού, $D_{in} (mm)$ η διάμετρος του και Re ο αριθμός *Reynolds*. Η τραχύτητα του αγωγού για ροή πολτού σε μεταλλικούς αγωγούς παίρνει την τιμή $\varepsilon = 2,6m$

- Η απώλειες τριβών του αγωγού

$$\delta_{nf}(m) = f \times \frac{L''}{D_{in}} \times \frac{U^2}{2g}, g = 9,81m/s^2$$

Με $L''(m)$ το μήκος του αγωγού προασαυξημένο κατά το ισοδύναμο μήκος των ειδικών εξαρτημάτων: $L''(m) = L + L'$ Στην περίπτωση των αντλιών υποστρώματος και υπολείμματος χρησιμοποιήθηκαν ενδεικτικά :

1 βάνα με $L' = 5,6m$, 4 γωνίες με $L' = 8,7m$ και 1 βαλβίδα αποστραγγισμού με $L' = 35,6m$ το συνολικό ισοδύναμο μήκος είναι $L' = 5,6 + 4 \times 8,7 + 35,6 = 76m$

Στη συνέχεια υπολογίζονται

- Το ολικό ύψος της αντλίας $H_{tot}(m) = H_z + \delta_{nf}$

- Η αποδιδόμενη ισχύς από την αντλία στο ρευστό

$$P_{pump}(kW) = \rho \times g \times \dot{V}_p \times H_{tot}$$

- Η απαιτούμενη ισχύς του κινητήρα της αντλίας

$$P_{motor}(kW) = P_{pump}/\eta_{tot}$$

	Επεξεργασμένο Υπόστρωμα	Χωνεμένο Υπόστρωμα	Υγρό Υπόλειμα
Παροχή Q (m ³ /s)	0,208	0,195	0,154
Ταχύτητα U(m/s)	2,944	2,760	2,180
Reynolds	4273	4006	3164
Συντελεστής τριβών f	1,824	1,824	1,822
Απώλειες τριβών αγωγού(m)	11,10	7,78	3,00
Μανομετρικό H (m)	25,60	13,78	9,00
Καθαρή ισχύς (kw)	51,61	26,04	13,60
Βαθμός απόδοσης	0,75	0,75	0,75
Ονομ. Ισχύς (kw)	69,0	35,0	18,5

Πίνακας 21 Ισχύς αντλιών

Βάσει της ισχύος του κινητήρα βρίσκεται και η ετήσια κατανάλωση ενέργειας

$$E_{pump}(kWh) = P_{motor} \times t_d \times D_{work}$$

Σειρά έχουν οι υπολογισμοί για τον συμπιεστή βιοαερίου που είναι υπεύθυνος για την τροφοδοσία της μονάδας Σ.Η.Θ. με καύσιμο.

Παραδοχές

- Πίεση εισόδου $P_{in} = 1,018 \text{ bar}$ και πίεση εξόδου $P_{out} = 1,221 \text{ bar}$
- Χαλύβδινες σωληνώσεις με εσωτερική διάμετρο $D_{in} = 200 \text{ mm}$
- Συνεχόμενη λειτουργία συμπιεστή 24h την μέρα
- Ολικός βαθμός απόδοσης για τον συμπιεστή $n_{tot} = 0,75$
- Το μήκος των αγωγών $L(m)$ υπολογίστηκε από το διάγραμμα χωροθέτησης.
- Για τις επιμέρους απώλειες τριβής λόγω ειδικών εξαρτημάτων χρησιμοποιήθηκε ο παραπάνω πίνακας.

Υπολογίζεται:

- Η ογκομετρική παροχή του συμπιεστή είναι: $\dot{V}_c(m^3/s) = F_{CHP}/3600$, με $F_{CHP}(m^3/h)$ την ωριαία κατανάλωση καυσίμου της μονάδας συμπαραγωγής
- Η ταχύτητα ροής μέσω του αγωγού:

$$U(m/s) = \dot{V}_c / (\pi \times D_{in}^2 / 4)$$

$$Re = \frac{\rho \times D_{in} \times U}{\mu_s}$$

Είναι ο αριθμός *Reynolds*, όπου $\rho(kg/m^3)$ η πυκνότητα, και $\mu_s(Pas)$ το δυναμικό ιξώδες του βιοαερίου όπως υπολογίστηκαν στο φύλλο 1.

Ο συντελεστής τριβής f υπολογίστηκε όπως και στο παραπάνω εδάφιο.

για $Re < 2300$

$$f = \frac{64}{Re}$$

,ενώ για $Re > 4000$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3.7 \times D_{in}} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

με το $\varepsilon = 0,15m$ για ρή βιοαερίου σε μεταλλικούς αγωγούς.

Οι απώλειες τριβών $\delta_{nf}(m)$ κατά μήκος του αγωγού είναι:

$$\delta_{nf}(m) = f \times \frac{L''}{D_{in}} \times \frac{U^2}{2g}, g = 9,81m/s^2$$

Με $L''(m) = L + L'$ το προσαυξημένο μήκος σωληνώσεων.

Τα ειδικά εξαρτήματα που λήφθηκαν υπόψιν στον υπολογισμό των απωλειών στην περίπτωση του συμπιεστή βιοαερίου είναι: 1 βάνα με $L' = 4m$ και 4 γωνίες με $L' = 5,6m$ Δηλαδή $L' = 4 + 4 \times 5,6 = 26,4(m)$

Η απαιτούμενη ισχύς του συμπιεστή δίνεται ως συνάρτηση της ογκομετρικής ροής $\dot{V}_c(m^3/s)$, της θερμοκρασίας εισόδου $T_1(K)$ και του λόγου πίεσης P_1/P_2 .

$$P_{compressor}(kW) = \rho \times \dot{V}_c \times C_p \times T_1 \times \left(\frac{P_2}{P_1}^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right)$$

Με $\gamma = C_p/C_v$ τον λόγο των ειδικών θερμοτήτων του παραγόμενου βιοαερίου

Με $C_p(kJ/Kg^\circ C)$ την ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερή πίεση και $C_v(kJ/Kg^\circ C)$ την ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερό όγκο.

Η ισχύς του κινητήρα του συμπιεστή είναι : $P_{motor}(kW) = P_{compressor}/\eta_{tot}$

Άρα η κατανάλωση ενέργειας είναι : $E_{compressor}(kWh) = P_{motor} \times 24 \times D_{work}$

6.5 Μονάδα Σ.Η.Θ.

Το βιοαέριο της μονάδας θα χρησιμοποιείται σαν καύσιμο για την λειτουργία της μονάδας συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας. Ο κινητήρας της Σ.Η.Θ. είναι συνδεδεμένος με μία ηλεκτρογεννήτρια που φροντίζει για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγόμενη ενέργεια θα καλύπτει όλες τις απαιτήσεις της παραγωγικής διαδικασίας ενώ η περίσσεια της θα εγχέεται στο δίκτυο. Η θερμική ενέργεια προέρχεται από δύο πηγές, το κύκλωμα ψύξης του κινητήρα και την ανάκτηση θερμότητας από τα καυσαερίά του. Για καύσιμα με χαμηλή θερμιδική αξία όπως το βιοαέριο, το οποίο περιέχει και ίχνη υδρόθειου (H_2S), συνιστάται η χρήση εμβολοφόρων κινητήρων λόγω της μεγαλύτερης αξιοπιστίας τους έναντι των αεριοστροβίλων.

Οι κινητήρες αυτοί λειτουργούν σύμφωνα με τον κύκλο *Otto* ή *Diesel* και δέχονται τις κατάλληλες τροποποιήσεις για την καύση βιοαερίου. Συνηθίζεται η χρήση υπερτροφοδότη για αύξηση της απόδοσης ωστόσο υπάρχουν κατασκευαστές που προτείνουν κινητήρες φυσικής αναπνοής. Παρατίθενται ενδεικτικά κάποια μοντέλα κινητήρων αερίου στο εύρος $330 kW_e - 400 kW_e$ ηλεκτρικής ισχύος.

Κατασκευαστής	Μοντέλο	Ισχύς (Kw)		Βαθμός Απόδοσης %		
		Ηλεκτρική	Θερμική	Ηλεκτρικός	Θερμικός	Ολικός
MAN	LE322/2842	390	490	40,00	50,20	90,20
MTU	GC390B5	390	473	39,80	48,20	88,00
MTU	GC370B5	370	466	38,70	48,80	87,50
MTU	GC400B5	400	481	39,40	47,40	86,80
GE jenbacher	J208GS	330	395	38,79	46,42	85,21
CAT	GC132-8	400	398	42,80	42,10	84,90
VISSMANN	BM366	366	437	38,53	46,00	84,53
Dreyer&Bosse	GS V12 366	366	408	39,3	43,747	83,047
Dreyer&Bosse	GS V8 400	400	370	42,8	39,553	82,353
Cummins	M KTAA38	400	417	39,92	41,62	81,54

Πίνακας 22 Κινητήρες βιοαερίου

Με βάση την ισχύ και τον ονομαστικό βαθμό απόδοσης n_{tot} υπολογίζεται η κατανάλωση καυσίμου $\dot{m}_f (m^3/h)$ κάθε κινητήρα [10].

$$\dot{m}_f = \frac{\dot{W}_e + \dot{Q}_{th}}{n_{tot} \times HHV_{biogas}}$$

- Όπου $\dot{W}_e, \dot{Q}_{th} (kW)$ η ηλεκτρική και η θερμική ισχύς αντίστοιχα.

- $HHV_{biogas} (kWh/m^3)$ η θερμογόνος δύναμη του βιοαερίου. Ορίζεται επίσης η ειδική απόδοση κινητήρα $p_{den} (kWh/m^3)$ ως ο λόγος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ανά κυβικό μέτρο καυσίμου.

$$p_{den} = \frac{\dot{W}_e}{\dot{m}_f}$$

Η επιλογή κινητήρα γίνεται με βάση την ωριαία παραγωγή βιοαερίου $P_{biogas} (m^3/h)$ μειωμένη κατά ένα συντελεστή ασφαλείας 5% και τον βαθμό απόδοσης του κινητήρα.

Έπειτα υπολογίζεται η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, χρησιμοποιώντας θεωρητικό βαθμό απόδοσης της γεννήτριας $n_{gen} = 93.5\%$.

$$P_e (kWh) = \dot{W}_e \times n_{gen} \times D_{work} \times 24$$

$$P_{th} (kWh) = \dot{Q}_{th} \times D_{work} \times 24$$

με $D_{work} = 330 \text{ days} \sim 8000h$, όπως ορίζεται από τους κατασκευαστές κινητήρων.

6.6 Αποτελέσματα

Αφού έχει υπολογιστεί η παραγωγή ενέργειας της Σ.Η.Θ. και οι απώλειες σε κάθε στάδιο της λειτουργίας της μονάδας, μπορεί να καθοριστεί η καθαρή παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας και ο συνολικός βαθμός απόδοσης.

Παρατίθενται οι επιμέρους θερμικές και ηλεκτρικές απώλειες.

Απώλειες θερμότητας χωνευτήρα					
Μεσόφιλη Χώνευση / Θερμόφιλη Χώνευση					
Δομή	Υλικό	Συνολικές Απώλειες (kW)		Ετήσιες Απώλειες Θερμότητας (kWh)	
		Κυλινδρική	Σκυρόδεμα	16	15,5
Ημισφαιρική	Σκυρόδεμα	17	16	134.640	126.720
Κυλινδρική	Χάλυβας	26	25	205.920	198.000
Ημισφαιρική	Χάλυβας	26,5	25	209.880	198.000

Πίνακας 23 Σύγκριση θερμικών απωλειών

Επιλέχθηκε κυλινδρικός χωνευτήρας κατασκευασμένος από σκυρόδεμα και στις δύο περιπτώσεις. Η επιλογή έγινε λόγω των μικρότερων θερμικών απωλειών που παρουσιάζει ο συγκεκριμένος τύπος. Οι χωνευτήρες από σκυρόδεμα εμφανίζουν πολύ καλύτερη θερμική συμπεριφορά σε σχέση με τους χάλυβδινους με περίπου 40% λιγότερες απώλειες. Οι διαφορές μεταξύ μεσόφιλης – θερμόφιλης χώνευσης είναι της τάξης του 4%.

Προθέρμανση πρώτης ύλης	
Μεσόφιλη Χώνευση / Θερμόφιλη Χώνευση	
Ετήσιες Απώλειες Θερμότητας (kWh)	
1.172.129	1.749.314

Πίνακας 24

Η απαίτηση ενέργειας για την προθέρμανση του υποστρώματος είναι συντριπτικά μεγαλύτερη για τις θερμόφιλες συνθήκες με ένα ποσοστό που αγγίζει το 50%. Αυτό οφείλεται στην σημαντικά υψηλότερη θερμοκρασία χώνευσης, 55°C έναντι 42°C.

Προεπεξεργασία υποστρώματος		
Είδος επεξεργασίας	Ισχύς (kW)	Ετήσια κατανάλωση ενέργειας (kWh)
Ομογενοποίηση	16	352
Θρυμματισμός	2,2	363
Σύνολο	18,2	715

Πίνακας 25

Οι απαιτήσεις σε ενέργεια δεν μεταβάλλονται από τις συνθήκες χώνευσης, ενώ μπορούν να θεωρηθούν και αμελητέες στο συνολικό ισοζύγιο. Η μικρή κατανάλωση ενέργειας οφείλεται στο μικρό χρονικό διάστημα που απαιτείται για την ομογενοποίηση της πρώτης ύλης.

Ανάδευση στον χωνευτήρα					
Μεσόφιλη Χώνευση / Θερμόφιλη Χώνευση					
Δομή	Υλικό	Συνολικές Απώλειες (kW)		Ετήσιες Απώλειες Θερμότητας (kWh)	
Κυλινδρική	Σκυρόδεμα	12	9,5	5.214	2.143
Ημισφαιρική	Σκυρόδεμα	10	8	4.345	1.804
Κυλινδρική	Χάλυβας	15	14,5	6.518	3.270
Ημισφαιρική	Χάλυβας	14	12,5	6.083	2.819

Πίνακας 26

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω έχει γίνει επιλογή κυλινδρικού χωνευτήρα από σκυρόδεμα. Παρόλο που οι ημισφαιρικές δομές παρουσιάζουν τις μικρότερες απώλειες ανάδευσης οι διαφορές είναι σχετικά μικρές, μόλις 900kWh ετησίως ενώ η εξοικονόμηση ενέργειας για την θέρμανση αγγίζει τις 8000kWh περίπου. Συνεπώς δόθηκε μεγαλύτερη βαρύτητα στο κομμάτι των θερμικών απωλειών για να επιλεγθεί ο τύπος χωνευτή που θα χρησιμοποιηθεί.

Αντλίες – Συμπιεστές		
	Ισχύς (kW)	Ετήσια κατανάλωση ενέργειας (kWh)
Επεξεργασμένο Υπόστρωμα	38	6270
Χωνευμένο Υπόστρωμα	24,5	4043
Υγρό Υπόλειμμα	13,5	2228
Βιοαέριο	9,5	75420
Σύνολο	85,5	87780

Πίνακας 27

Και σε αυτή την περίπτωση η κατανάλωση ενέργειας δεν μεταβάλλεται από τις συνθήκες χώνευσης. Ωστόσο το κομμάτι της άντλησης και μεταφοράς του υποστρώματος σε όλα τα στάδια της επεξεργασίας είναι το πλέον ενεργοβόρο από πλευράς ηλεκτρικής ενέργειας. Η μεγάλη κατανάλωση ηλεκτρισμού οφείλεται κυρίως στον συμπιεστή βιοαερίου, ο οποίος τροφοδοτεί με καύσιμο τον κινητήρα της Σ.Η.Θ. ,συνεπώς βρίσκεται σε συνεχόμενη λειτουργία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να καταναλώνει περισσότερη ενέργεια από όλες τις υπόλοιπες αντλίες (σχεδόν έξι φορές περισσότερη) παρόλο που έχει την μικρότερη ισχύ.

Ισοζύγιο ενέργειας				
Μεσόφιλη Χώνευση / Θερμόφιλη Χώνευση				
Μορφή ενέργειας	Ηλεκτρική (kWh)		Θερμική (kWh)	
Παραγωγή	2.962.080	2.888.028	3.809.520	3.880.800
Κατανάλωση	93.710	89.091	1.378.049	1.947.314
Περίσσεια Ενέργειας	2.868.370	2.798.937	2.431.471	1.933.486
Βαθμός απόδοσης	96,8%	96,9%	63,8%	49,8%

Πίνακας 28

Παρατηρείται πως ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης είναι ουσιαστικά ίδιος και στις δύο περιπτώσεις. Η μικρή διαφορά που παρατηρείται στην παραγωγή ενέργειας (ηλεκτρικής και θερμικής) οφείλεται στην επιλογή διαφορετικών κινητήρων.

Παρατίθενται τα χαρακτηριστικά των κινητήρων που επιλέχθηκαν για μεσόφιλες και θερμόφιλες συνθήκες αντίστοιχα:

Κατασκευαστής	Μοντέλο	Ισχύς (Kw)		Βαθμός Απόδοσης %			Κατανάλωση Καυσίμου (m ³ /h)
		Ηλεκτρική	Θερμική	Ηλεκτρικός	Θερμικός	Ολικός	
MTU	GC400B5	400	481	39,4	47,4	86,8	154,74
MAN	LE322/2842	390	490	40,0	50,2	90,2	148,74

Πίνακας 29

Τεχνικά χαρακτηριστικά MAN LE322/2842		
Τρόπος λειτουργίας	Συνεχής λειτουργία με καύση βιοαερίου	
Ρυθμός περιστροφής rpm (Hz)	1500(50)	1800(60)
Κωδικός κινητήρα	LE322	LE322
Διάμετρος mm	128	128
Διαδρομή mm	142	142
Κυβισμός l	21.9	21.9
Ισχύς κατά ISO kW	420	420
Λόγος αέρα/καυσίμου λ	1.45	1.45
Θερμότητα ψυκτικού kW	257	264
Θερμότητα εξάτμισης (120°C)	233	262
Βαθμός απόδοσης	40.0	38.4
Μηχανικός %		
Θερμικός %	50.2	52.3
Συνολικός %	90.2	90.7
Εκπομπές NOx (mg/Nm ³)	<500	<500

Πίνακας 30

Ο κινητήρας της MTU έχει μεγαλύτερη ηλεκτρική και μικρότερη θερμική ισχύ από αυτόν που επιλέχθηκε για την θερμόφιλη χώνευση. Αν χρησιμοποιούνταν ο ίδιος κινητήρας και στις δύο περιπτώσεις η παραγωγή ενέργειας θα ήταν η ίδια, όμως θα έμεναν ανεκμετάλλευτα τουλάχιστον 4 m³/h βιοαερίου για την μεσόφιλη χώνευση. Η περίσσεια βιοαερίου θα απαιτούσε ανάλογη αύξηση των διαστάσεων του αεριοφυλακίου ή απελευθέρωση στο περιβάλλον μέσω καύσης σε πυρσό.

Μολονότι σε θερμόφιλες συνθήκες η παραγωγή θερμικής ενέργειας είναι κατά τι υψηλότερη από ότι στις μεσόφιλες, υπάρχει μεγάλη αύξηση και στην καταναλούμενη ενέργεια. Η θερμόφιλη χώνευση λοιπόν παρουσιάζει σημαντικά μειωμένο θερμικό βαθμό απόδοσής που την καθιστά ακατάλληλη σε εφαρμογές που ενδιαφέρει κυρίως η πώλησης θερμικής ενέργειας.

Εισάγεται η έννοια του ενεργειακού περιεχομένου $E_{con}(kWh)$ του παραγόμενου βιοαερίου. Μέγεθος ενδεικτικό της ενέργειας που περιέχεται στην ετήσια παραγωγή αερίου.

$$E_{con} = P_{biogas} \times HHV_{biogas} \times D_{work}$$

Ολικό ισοζύγιο ενέργειας				
Μεσόφιλη Χώνευση / Θερμόφιλη Χώνευση				
Ενεργειακό περιεχόμενο βιοαερίου (kWh)	8.210.685	8.048.253	Βαθμός απόδοσης	
Καθαρή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (kWh)	2.868.370	2.798.937	34,93%	34,78%
Καθαρή παραγωγή θερμικής ενέργειας (kWh)	2.431.471	1.933.486	29,61%	24,02%
Συνολικός βαθμός απόδοσης			64,54%	58,80%

Πίνακας 31

Με βάση λοιπόν το ενεργειακό περιεχόμενο υπολογίζεται ο ολικός βαθμός απόδοσης όλης της παραγωγικής διαδικασίας. Στο κομμάτι της ηλεκτροπαραγωγής οι δύο μέθοδοι λειτουργούν με παραπλήσιο βαθμό απόδοσης με διαφορά μόλις 0,15% . Όσον αφορά την θερμική ενέργεια, η συντριπτικά μεγαλύτερες θερμικές απώλειες για λειτουργία υπό θερμόφιλες συνθήκες δίνουν βαθμό απόδοσης μικρότερο κατά 5% περίπου.

7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

7.1 Η νομοθεσία για το βιοαέριο

Η παραγωγή και αξιοποίηση του βιοαερίου επηρεάζεται από το νομοθετικό πλαίσιο σε Ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο. Η διαδικασία λήψης απόφασης σε Ευρωπαϊκό επίπεδο διαμορφώνεται από θεσμικά όργανα, όπως η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η Επιτροπή είναι εκείνη που προτείνει νέα ευρωπαϊκή νομοθεσία και το Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο είναι εκείνα που την εγκρίνουν. Υπάρχουν και άλλα όργανα και οργανισμοί που συμμετέχουν στην διαδικασία αυτή. Οι κανόνες και οι διαδικασίες για την λήψη απόφασης εμπεριέχονται στις Συνθήκες. Οποιαδήποτε πρόταση για νέα Ευρωπαϊκή νομοθεσία βασίζεται σε συγκεκριμένο άρθρο κάποιας Συνθήκης.

Αν και μέχρι στιγμής δεν υπάρχει κάποια Οδηγία ή Κανονισμός σχετικά με την παραγωγή και χρήση βιοαερίου, η αναγκαιότητα εφαρμογής ενός νομοθετικού πλαισίου σε ότι αφορά στο βιοαέριο τονίζεται από πολλούς οργανισμούς και εμπλεκόμενους φορείς. Για παράδειγμα η Επιτροπή Αγροτικής Ανάπτυξης του Κοινοβουλίου εξέδωσε έκθεση αναφέροντας ότι το βιοαέριο αποτελεί σημαντική ενεργειακή πηγή που συνεισφέρει στην αειφόρο οικονομική και αγροτική ανάπτυξη και στην προστασία του περιβάλλοντος. Επιπρόσθετα, ενθαρρύνει τόσο την Ευρωπαϊκή Ένωση όσο και τα Κράτη Μέλη να αξιοποιήσουν το τεράστιο δυναμικό του βιοαερίου δημιουργώντας ένα ελκυστικό περιβάλλον καθώς και αναπτύσσοντας και διατηρώντας υποστηρικτικούς μηχανισμούς δίνοντας έμπνευση για επενδύσεις σε μονάδες βιοαερίου.

Στην Ελλάδα δεν υπάρχει συγκεκριμένη νομοθεσία για το βιοαέριο. Η ανάπτυξη των έργων βιοαερίου και η εκμετάλλευση του εντάσσεται κυρίως στο πλαίσιο των διατάξεων της γενικότερης νομοθεσίας για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και των οικονομικών κινήτρων καθώς και στην ελληνική περιβαλλοντική πολιτική για τη διαχείριση των αποβλήτων.

7.2 Το νομοθετικό πλαίσιο για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Τα βασικά σημεία του νέου νόμου για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με αριθμό 3581/2010 και τίτλο <<Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής>> συνοψίζονται παρακάτω:

Άρθρο 1-Εθνικός στόχος ΑΠΕ:

- Καθορίζεται εθνικός δεσμευτικός στόχος 20% για την συμμετοχή των ΑΠΕ στην κάλυψη της τελικής κατανάλωσης ενέργειας το 2020 (αντί του 18% που προβλέπει η Οδηγία 28/2009 για την Ελλάδα). Καθορίζεται αντίστοιχος εθνικός στόχος 40% για τη συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην κάλυψη της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας το 2020.
- Καθορίζεται ότι η προστασία του κλίματος μέσω της προώθησης της παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελεί περιβαλλοντική και ενεργειακή προτεραιότητα υψίστης σημασίας για τη χώρα.

Άρθρο 2-Άδεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε ή Σ.Η.Θ.Υ.Α:

- Απλοποιείται και ορθολογικοποιείται η διαδικασία έκδοσης της άδειας παραγωγής έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η οποία αποσυνδέεται από τη διαδικασία περιβαλλοντικής αδειοδότησης, η οποία ακολουθεί σε επόμενο στάδιο.
- Αναβαθμίζεται ο ρόλος της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (ΡΑΕ) και περιορίζεται η διάρκεια της σχετικής αδειοδοτικής διαδικασίας σε 2 μήνες ενώ εξαιρούνται από την υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής εγκαταστάσεις περιορισμένης ισχύος. Οι κατηγορίες αυτών των εγκαταστάσεων παρουσιάζονται στον Πίνακα Π1 του παραρτήματος Α.

Άρθρο 3-Έγκριση περιβαλλοντικών επιπτώσεων (ΕΠΟ) και άδειες εγκατάστασης και λειτουργίας:

Συγχωνεύονται, σε μια ενιαία διαδικασία, οι διαδικασίες Προκαταρκτικής Περιβαλλοντικής Εκτίμησης και Αξιολόγησης (ΠΠΕΑ) και Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ) και περιορίζεται η διάρκεια της σε 8-10 μήνες.

Άρθρο 7-Ειδικό τέλος και παροχή κινήτρων στους οικιακούς καταναλωτές περιοχών όπου εγκαθίστανται έργα ΑΠΕ:

- Το 1/3 του ειδικού τέλους 3% επί της παραγωγής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα αποδίδεται στους οικιακούς καταναλωτές του δημοτικού ή κοινοτικού διαμερίσματος του οργανισμού τοπικής αυτοδιοίκησης, στο οποίο εγκαθίσταται το έργο, μέσω των λογαριασμών ηλεκτρικού ρεύματος. Τα υπόλοιπα 2/3 θα αποδίδονται στον αντίστοιχο ΟΤΑ για έργα τοπικής ανάπτυξης, περιβαλλοντικών δράσεων και κοινωνικής υποστήριξης και στο Πράσινο Ταμείο.

- Αξιοποιούνται όλοι οι σχετικοί πόροι για την στήριξη των τιμολογίων στους παραγωγούς ηλεκτρισμού από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Άρθρο 4-Ένταξη και σύνδεση σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ:

Δημιουργούνται οι προϋποθέσεις για την κατασκευή ιδιωτικών δικτύων από παραγωγούς ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και διασφαλίζεται η πρόσβαση τρίτων στα έργα σύνδεσης.

Άρθρο 5-Ορθολογικοποίηση της τιμολόγησης ενέργειας που παράγεται από σταθμούς Α.Π.Ε και Σ.Η.Θ.Υ.Α:

- Η τιμολόγηση γίνεται περισσότερο ορθολογική, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η βιωσιμότητα των επενδύσεων χωρίς στρεβλώσεις και κατασπατάληση πόρων. Ενισχύονται τα τιμολόγια για τη βιομάζα, το βιοαέριο, τις μικρές ανεμογεννήτριες και τις μονάδες ΣΗΘΥΑ.
- Για τα φωτοβολταϊκά εξακολουθεί να ισχύει η κλίμακα των τιμών σύμφωνα με τον νόμο 3734/2009.
- Η σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από σταθμούς ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ ισχύει για 20 έτη και μπορεί να παρατείνεται εφόσον ισχύει η σχετική άδεια παραγωγής ενώ για τους ηλιοθερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής η σύμβαση ισχύει για 25 έτη με δυνατότητα επέκτασης.
- Η τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με βάση τα στοιχεία του πίνακα Π2 του παραρτήματος Α.

Άρθρο 8-Τροποποίηση διατάξεων για την αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής:

Κατοχυρώνεται νομοθετικά ότι οι περιοχές απολύτου προστασίας της φύσης, αποτελούν ζώνη αποκλεισμού για τις ανανεώσιμες πηγές ενώ στις υπόλοιπες περιοχές επιτρέπεται η χωροθέτηση των ΑΠΕ με εκτίμηση των επιπτώσεων και αφού ληφθεί μέριμνα για την διατήρηση κάθε πιθανού προστατευτέου αντικειμένου της περιοχής

Άρθρο 9-Θέματα χωροθέτησης εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας:

- Στην περίπτωση ανολοκλήρωτων θεσμοθετημένων σχεδίων ή μελετών χωροταξικού σχεδιασμού, η έγκριση εγκατάστασης σταθμών ΑΠΕ γίνεται με εφαρμογή των κατευθύνσεων του Ειδικού Πλαισίου Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
- Επιτρέπεται η εγκατάσταση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε γεωργική γη υψηλής παραγωγικότητας (ΓΓΥΠ) αλλά βάση ειδικών διατάξεων για τη μείωση

της επίπτωσης τους στη γεωργική γη και την διαφύλαξη του χαρακτήρα της και με όριο το 1% της καλλιεργήσιμης γης ανά νομό.

Άρθρο 11-Σύσταση αυτοτελούς υπηρεσίας ΑΠΕ:

Συνίσταται Αυτοτελής Υπηρεσία Πολιτικής και Έργων ΑΠΕ η οποία θα λειτουργεί στα πρότυπα του <<one-stopshop>> με αποστολή την παροχή πληροφοριών και τη συντονισμένη διεκπεραίωση αιτημάτων των επενδυτών σε ΑΠΕ.

Άρθρο 14-Τροποποιήσεις του ν.2971/2001(ΦΕΚ 285 Α΄):

Διευκρινίζεται η διαδικασία για την παραχώρηση του δικαιώματος χρήσης αιγιαλού, παραλίας ή θαλάσσιου χώρου για την εκτέλεση εργασιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ.

Άρθρο 15-Μεταβατικές διατάξεις:

Εισάγονται αναλυτικές μεταβατικές ρυθμίσεις για διευκρίνιση όλων των σταδίων της νέας απλοποιημένης αδειοδοτικής διαδικασίας και των αναγκαίων αιτήσεων κάθε σταδίου.

7.3 Η εξέλιξη του νομοθετικού πλαισίου

Στην υποενότητα αυτή παρουσιάζεται το κύριο νομοθετικό πλαίσιο που διέπει τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έτσι όπως έχει διαμορφωθεί τα τελευταία χρόνια καθιστώντας εμφανή την ανάγκη ανάπτυξης και περαιτέρω διεύθυνσης των ΑΠΕ στο ελληνικό ενεργειακό σύστημα.

Νόμος 1559/1985 «Ρύθμιση θεμάτων εναλλακτικών μορφών ενέργειας και ειδικών θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ 135/Α/85). Ο νόμος αυτός αποτελεί την απαρχή των ΑΠΕ και εφαρμόστηκε σε περιορισμένο βαθμό.

Νόμος 2244/1994 «Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ 68/Α/94). Ο νόμος καταρτίστηκε με πρότυπο τον γερμανικό νόμο, και αποτέλεσε την ουσιαστική αρχή

για την ανάπτυξη των ΑΠΕ στην Ελλάδα. Ο νόμος αυτός αντικαταστάθηκε από το Νόμο 2773/99.

Νόμος 2773/99 «Ρύθμιση θεμάτων Ηλεκτροπαραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ 286/Α/99). Ο νόμος αυτός αποτελεί την βάση σε θέματα ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Οι βασικές διατάξεις του νόμου 2773/99 είναι :

- Ο Διαχειριστής του Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΣΜΗΕ) υποχρεούται σε προτεραιότητα σύνδεσης στις εφαρμογές ΑΠΕ.
- Η ΔΕΣΜΗΕ υποχρεούται σε 10 ετές συμβόλαιο σύνδεσης με τον παραγωγό με δικαίωμα 10 ετούς ανανέωσης.
- Η ηλεκτρική ενέργεια από τις ΑΠΕ πωλείται στην ΔΕΣΜΗΕ με προκαθορισμένο ποσοστό τιμής αγοράς.
- Το παρόν σύστημα τιμολόγησης των ΑΠΕ κάνει σαφή διάκριση μεταξύ του Αυτοπαραγωγού και του Ανεξάρτητου Παραγωγού.
- Κάθε παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ υπόκειται σε μια ειδική ετήσια αμοιβή (2% επί των πωλήσεων ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο), η οποία δίδεται στις τοπικές αρχές.

Ο Νόμος 2773/99 εισάγει μία νέα άδεια την Άδεια Παραγωγής η οποία είναι η πρώτη άδεια που απαιτείται από οποιονδήποτε σταθμό ηλεκτροπαραγωγής, συμβατικό ή ΑΠΕ, η οποία βασίζεται σε μια μακροχρόνια διαδικασία χορήγησης αδειών που περιλαμβάνει προκαταρκτική περιβαλλοντική εκτίμηση, άδεια χρήσης του εδάφους, έγκριση των περιβαλλοντικών όρων και διατάξεων, άδεια εγκαταστάσεων, άδεια λειτουργίας.

Νόμος 2941/2001 «Απλοποίηση διαδικασιών ίδρυσης εταιρειών, αδειοδότησης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, ρύθμιση θεμάτων της Α.Ε. <<ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΝΑΥΠΗΓΕΙΑ>> και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ 201/Α/01). Ο νόμος αυτός συμπλήρωσε το νόμο 2773/99 με σημαντικές διατάξεις σχετικά με τις ανανεώσιμες πηγές τις προϋποθέσεις εγκατάστασης έργων ΑΠΕ σε δάση και το χαρακτηρισμό όλων των έργων ΑΠΕ ως έργα δημόσιας ωφέλειας.

Νόμος 3017/2002 «Κύρωση του Πρωτοκόλλου του Κιότο στη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος» (ΦΕΚ 117/Α/02). Με το Νόμο αυτό το ελληνικό κράτος επισημοποίησε τις δεσμεύσεις της χώρας για δράσεις ενάντια στην κλιματική αλλαγή.

Νόμος 3175/2003 «Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, τηλεθέρμανση και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ 207/Α/03). Με τον νόμο αυτό θεσπίστηκε για πρώτη φορά ένα περιεκτικό σύνολο κανόνων για την ορθολογική χρήση της γεωθερμικής ενέργειας. Το κύριο πεδίο όμως του νέου νόμου ήταν να αναθεωρηθεί ο νόμος 2773/1999 προκειμένου να επισπευσθεί η διαδικασία της απελευθέρωσης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Το κύριο πεδίο για τη μετάβαση του νόμου ήταν η ανάπτυξη και η ενίσχυση του ανταγωνισμού στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, η προσέλκυση νέων πηγών επένδυσης και η προστασία της επάρκειας ηλεκτρικής ενέργειας χάριν της εξασφάλισης ανταγωνιστικών τιμών διάθεσης στην κατανάλωση. Ο νόμος 3175/2003 παρέχει τις περαιτέρω ενέργειες συμπεριλαμβανομένης της εισαγωγής των συντομευμένων και απλουστευμένων διαδικασιών σχετικά με τις απαλλοτριώσεις, απαραίτητες για την ενίσχυση και την επέκταση των γραμμών μετάδοσης ισχύος, οι οποίες θα εξυπηρετήσουν και την επέκταση των ΑΠΕ.

Νόμος 3423/2005 «Εισαγωγή στην Ελληνική Αγορά των Βιοκαυσίμων και των άλλων Ανανεώσιμων Καυσίμων» (ΦΕΚ 304/Α/05). Η Οδηγία 2003/30/ΕΚ μεταφέρθηκε στο εθνικό δίκαιο μέσω αυτού του νόμου για την προώθηση των βιοκαυσίμων.

Νόμος 3468/2006 «Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις» (ΦΕΚ 129/Α/06). Ο νόμος που άλλαξε το σκηνικό της αγοράς των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ο σκοπός αυτού του νόμου είναι η εναρμόνιση ουσιαστικά της Ελληνικής νομοθεσίας με την οδηγία της ευρωπαϊκής κοινότητας 2001/77/ΕΚ. Με αυτόν τον νόμο θεσπίζονται σοβαρά κίνητρα στους ιδιώτες για την εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κυρίως με σκοπό την οικονομική επένδυση. Το κυριότερο του σημείο είναι η κρατική δέσμευση για αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και η έκδοση του σχετικού τιμοκαταλόγου με τον οποίο καθορίζονται τιμές πώλησης της ενέργειας για κάθε πιθανή δραστηριότητα στον χώρο των ΑΠΕ.

Νόμος 3734/2009 «Πρωώθηση της συμπαραγωγής δύο ή περισσότερων χρήσιμων μορφών ενέργειας, ρύθμιση ζητημάτων σχετικών με το Υδροηλεκτρικό Έργο Μεσοχώρας και άλλες διατάξεις» (ΦΕΚ Α' 8). Με τις διατάξεις αυτού του νόμου εναρμονίζεται η ελληνική νομοθεσία με την Οδηγία 2004/8/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου για την προώθηση της συμπαραγωγής ενέργειας βάσει της ζήτησης για χρήσιμη θερμότητα στην εσωτερική αγορά ενέργειας και συμπληρώνεται το νομικό πλαίσιο για την προώθηση της συμπαραγωγής δύο ή περισσότερων χρήσιμων μορφών ενέργειας.

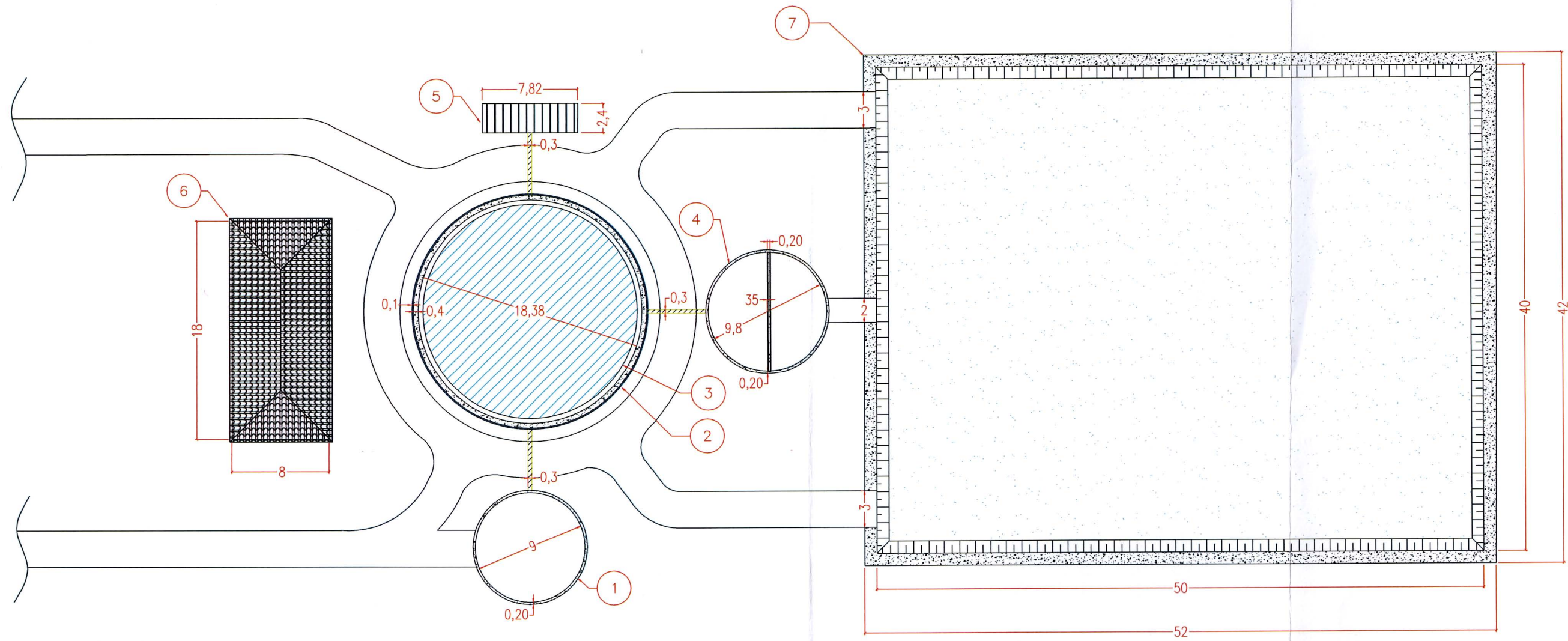
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] METCALF , EDDY. Wastewater Engineering : treatment disposal reuse. Mc Graw – Hill, New York, 1979
- [2] TOM BOND, MICHAEL R. TEMPLETON. History and future of domestic biogas plants in the developing world. Energy for Sustainable Development, Volume 15, Issue 4, December 2011
- [3] TEODORITA AL SEADI, DOMINIK RUTZ, HEINZ PRASSL, MICHAEL KÖTTNER, TOBIAS FINSTERWALDER, SILKE VOLK, RAINER JANSSEN. Biogas Handbook. BIG> East report 2008
- [4] YE CHEN, JAY J. CHENG. Inhibition of anaerobic digestion process: A review. Bioresource Technology, Volume 99, Issue 10, July 2008
- [5] M. MYINT, N. NIRMALAKHANDAN. Anaerobic fermentation of cattle manure: Modeling of hydrolysis and acidogenesis. Water Research, Volume 41, Issue 2, January 2007
- [6] DOMINIK RUTZ. Sustainable Heat use of Biogas Plants, A Handbook. WIP Renewable Energies, Munich, 2012
- [7] HADI AFAZELI, ALI JAFARI, SHAHIN RAFIEE, MOHSEN NOSRATI. An investigation of biogas production potential from livestock and slaughterhouse wastes. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 34, June 2014
- [8] CHRISTOPH GRIEDER, GRETA MITTWEG, BALDEV S. DHILLON, JUAN M. MONTES, ELENA ORSINI, ALBRECHT E. MELCHINGER. Kinetics of methane fermentation yield in biogas reactors: Genetic variation and association with chemical composition in maize . Biomass and Bioenergy, Volume 37, February 2012
- [9] Y. R. CHEN , A. G. HASHIMOTO. Substrate utilization kinetic model for biological treatment process. Biotechnology and Bioengineering Volume 22, Issue 10, October 1980
- [10] LI YINGJIAN, QIU QI, HE XIANGZHU, LI JIEZHI. Energy balance and efficiency analysis for power generation in internal combustion engine sets using biogas. Sustainable Energy Technologies and Assessments, Volume 6, June 2014
- [11] ΣΙΟΥΛΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, Βιοαέριο στην Ελλάδα: Συνοπτική Έκθεση. BIG>Eastreport 2009
- [12] CHENGUANG ZHU, JUNYA ZHANG, YUANPING TANG, ZHENGKAI XU, RENTAO SONG. Diversity of methanogenic archaea in a biogas reactor fed with swine feces as the mono-substrate by mcrA analysis. Microbiological Research Volume 166, 2011

- [13] BUDIYONO, I N. WIDIASA, S. JOHARI, SUNARSO. The Kinetic of Biogas Production Rate from Cattle Manure in Batch Mode. International Journal of Chemical and Biomolecular Engineering 3:1 2010
- [14] LING CHEN, LIXIN ZHAO, CHANGSHAN REN, FEI WANG. The progress and prospects of rural biogas production in China. Energy Policy, Volume 51, December 2012
- [15] C. WALLA, W. SCHNEEBERGER. The optimal size for biogas plants. BIOMASS AND BIOENERGY, Volume 32, 2008
- [16] ULI WERNER, ULRICH STÖHR, NICOLAI HEES. Biogas plants in animal Husbandry. (GTZ) GmbH, 1989
- [17] STEFFEN R., SZOLAR O., BRAUN R. Feedstocks for Anaerobic Digestion. University of Agricultural Sciences Vienna, September 1998
- [18] MILENA JIŘIČKOVÁ, ZBYŠEK PAVLÍK, ROBERT ČERNÝ. THERMAL PROPERTIES OF BIOLOGICAL AGRICULTURAL MATERIALS. Czech Technical University in Prague, Faculty of Civil Engineering, Department of Mechanics, Prague, Czech Republic
- [19] M. LUNA-DEL RISCO, A. NORMAK, K. ORUPÖLD. Biochemical methane potential of different organic wastes and energy crops from Estonia. Agronomy Research, Volume 9, 2011
- [20] H.K. AHN, T.J. SAUER, T.L. RICHARD, T.D. GLANVILLE. Determination of thermal properties of composting bulking materials. Bioresource Technology Volume 100, 2009
- [21] BRIAN K. RICHARDS, ROBERT J. CUMMINGS, THOMAS E. WHITE, WILLIAM J. JEWELL. Methods For Kinetic Analysis Of Methane Fermentation In High Solids Biomass Digesters. Biomass and Bioenergy Volume 1, No. 2, 1991
- [22] KAN YETILMEZSOY. Integration of kinetic modeling and desirability function approach for multi-objective optimization of UASB reactor treating poultry manure wastewater. Bioresource Technology Volume 118, 2012

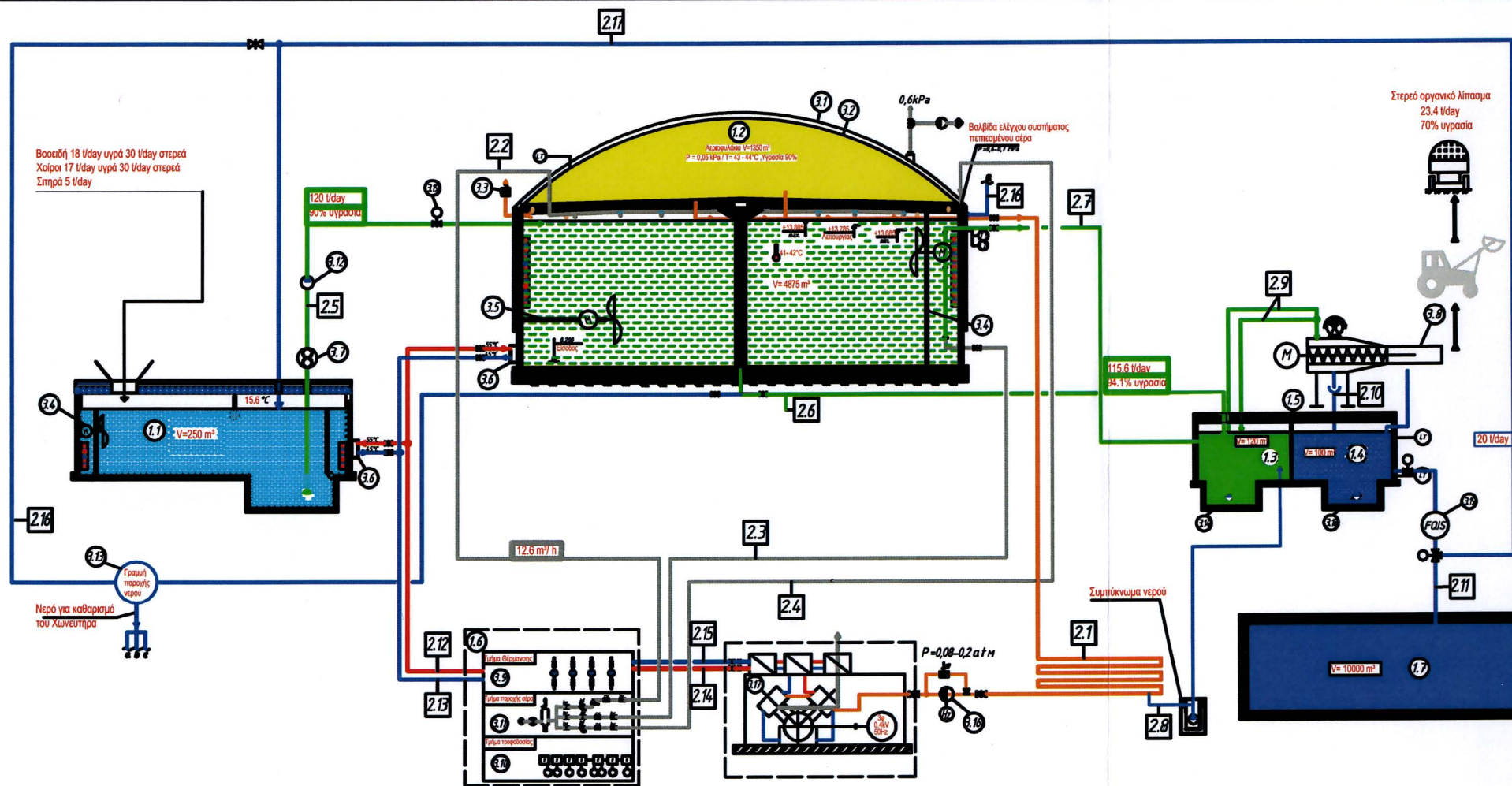
Ακόμα χρησιμοποιήθηκαν πολύτιμες πληροφορίες από τις παρακάτω ιστοσελίδες:

<http://biogas.fnr.de/> , <http://www.admie.gr/> , <http://www.epa.gov/> ,
<http://www.capstoneturbine.com/> , <http://zorg-biogas.com/> ,
http://en.wikipedia.org/wiki/Anaerobic_digestion , <http://www.entec-biogas.com/en/> , <https://energypedia.info/wiki/Biogas>



Υπόμνημα	
1	Δεξαμενή Προεπεξεργασίας
2	Χωνευτήρας
3	Αεριοφυλάκιο
4	Δεξαμενή Διαχωρισμού
5	Κινητήρας-Γεννήτρια
6	Δωμάτιο Ελέγχου & Μηχ. Εξοπλισμού
7	Σκάμμα Υποστρώματος

Διάγραμμα Χωροθέτησης Μονάδας Βιοαερίου



Σύμβολο	Ονομασία	Χαρακτηριστικά	Μονάδες	Ποσ/τα	Σημείωση
1.1	Δεξαμενή προεπεξεργασίας	250	m³	1	Οπλισμένο Σκυρόδεμα
1.2	Χωνευτήρας	4875	m³	1	Θεμέλια και τοιχώματα : Οπλισμένο Σκυρόδεμα
1.3	Δεξαμενή χωνεμένου υποστρώματος	120	m³	1	Οπλισμένο Σκυρόδεμα
1.4	Δεξαμενή φιλτραρισμένου υπολείμματος	100	m³	1	Οπλισμένο Σκυρόδεμα
1.5	Σημείο διαχωρισμού	78	m³	1	Οπλισμένο Σκυρόδεμα
1.6	Δωμάτιο μηχ.εξοπλισμού / συντήρησης			1	Θεμέλια: Οπλισμένο Σκυρόδεμα Τοιχώματα: Οπτοπλινθοδομή
1.7	Σκάμμα αποθήκευσης υποστρώματος	10000	m³	1	Εδαφος καλυμμένο με μεμβράνη

Σύμβολο	Παράγον που μεταφέρεται	Χαρακτηριστικά	Ημερήσια παροχή	Σημείωση
2.1	Βιοαέριο	20°C, CH ₄ 59.3%	3793 m³/day	Βιοαέριο στη μονάδα Σ.Η.Θ.
2.2	Αέρας	15.6°C, P. atm 0.05	302.4 m³/day	Αποθήκευση βιοαερίου
2.3	Αέρας	15.6°C, P. atm 0.7	200 m³/day	Σύστημα φεκασμού Αέρα
2.4	Αέρας	15.6°C, P. atm 7.0	3.0 m³/day	Σύστημα πεπεσμένου Αέρα
2.5	Επεξεργασμένο Υπόστρωμα	25°C, wet. % 90.0	120 t/day	Εισαγωγή στον χωνευτήρα
2.6	Χωνεμένο Υπόστρωμα	41-42°C, wet. % 90.0	115.6 t/day	Εξόδος από τον πυθμένα του χωνευτήρα
2.7	Χωνεμένο Υπόστρωμα	41-42°C, wet. % 94.1	115.6 t/day	Σύστημα φεκασμού Αέρα
2.8	Συμπύκνωμα νερού	20°C, wet. % 100.0	0.5 m³/day	Ξήρανση βιοαερίου
2.9	Χωνεμένο Υπόστρωμα	25°C, wet. % 94.1	115.6 t/day	Διαχωρισμός χωνεμένου υποστρώματος
2.10	Φιλτραρισμένο Υπόλειμμα	20°C, wet. % 99.0	92.2 m³/day	Εξόδος προς τη δεξαμενή φιλτραρισματος
2.11	Φιλτραρισμένο Υπόλειμμα	20°C, wet. % 99.0	72.2 m³/day	Εξόδος προς το σκάμμα αποθήκευσης
2.12	Νερό			Θέρμανση μονάδας βιοαερίου
2.13	Νερό			Θέρμανση μονάδας βιοαερίου
2.14	Νερό			Απαγωγή θερμότητας από την Σ.Η.Θ.
2.15	Νερό			Απαγωγή θερμότητας από την Σ.Η.Θ.
2.16	Γραμμή παροχής νερού	15.6°C, P. atm 2.0	0 m³/day	Πρόσθετο νερό διεργασιών
2.17	Φιλτραρισμένο Υπόλειμμα	15.6°C, P. atm 2.0	20 m³/day	Νερό διεργασιών

Θέση	Ταυτότητα	Ποσότητα	Χαρακτηριστικά
3.1	Μηχανολογικός εξοπλισμός		
3.1	Προστατευτική μεμβράνη	1	Πολυεστερική μεμβράνη με επίστρωση PVC, προστασία UV
3.2	Μεμβράνη αεριοαγωγού PELED	1	Δείσωση μεθάνιου max 260 cm³/m² d @ 1bar, Αντοχή 650N/5cm βιοαερίου
3.3	Βαλβίδα ασφαλείας	1	Σύνδεση με αγωγό Ø150, ανοξείδωτη, γόμωση με αντιμικροβιακή ικανότητα εκτόνωσης - αναρρόφησης 125m³/h
3.4	Υδατοσπινθη μηχανοκίνητος αναδευτήρας	2	Κινητήρας 16 kW-400V-50Hz-380rpm προσέλα Ø660mm ανοξείδωτο χάλυβας ss 304
3.5	Αναδευτήρας τοποθετημένος υπό κλίση	1	Κινητήρας 19 kW-400V-50Hz-330rpm προσέλα Ø660mm ανοξείδωτο χάλυβας ss 304
3.6	Τροφοδοσία θερμότητας	2	Αγωγοί διανομής, συνδέσεις, ρυθμιστικές βάνες, βαλβίδες αέρα από ορείχαλκο, σύμφωνα με DIN EN 1244, 12164, 12165, 12168
3.7	Θρυμματιστής	1	N=3.2kW Q=120 t/day
3.8	Διαχωριστής	1	10 m³/h
3.9	Σύστημα θέρμανσης	1	Αντλίες, δοχείο πίεσης, τριόδη βαλβίδα ρύθμισης, φίλτρα, θερμομέτρα,μανόμετρα
3.10	Σύστημα τροφοδοσίας	1	Σύστημα αυτοματισμού και ελέγχου διανομής, σύστημα φωτισμού
3.11	Σύστημα παροχής αέρα	1	12.6 m³/h
3.12	Αντλία μεταφοράς υποστρώματος	1	N=8.4 kW Q=125 m³/h
3.13	Μετρητής ροής	1	Ηλεκτρομαγνητικός, υγρής στήλης
3.14	Αντλία τροφοδοσίας διαχωριστή	1	N=3.5 kW Q=125 m³/h
3.15	Σύστημα αυτοματισμού και παρακολούθησης	1	Βασισμένο σε ελεγκτή της Siemens, αισθητήρες, διακόπτες πίεσης, βαλβίδα στραγγαλισμού
3.16	Συμπιεστής βιοαερίου με μετατροπή συχνότητας	1	153 m³/h
3.17	Μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας	1	MAN LE322/2842 390kW ηλεκτρική 490kW θερμική kW
3.18	Αντλία μεταφοράς υγρού υπολείμματος	1	N= 2.6 kW Q=108 m³/h
3.19	Βαλβίδα διανομής υπολείμματος	1	Ø150mm, τριόδη ηλεκτρική βαλβίδα

Συμβολισμοί

- Βιοαέριο
- Βιοαέριο
- Επεξεργασμένο Υπόστρωμα
- Υπόστρωμα κατά την χώνευση
- Χωνεμένο Υπόστρωμα
- Φιλτραρισμένο υπόλειμμα
- Βιοαέριο
- Αέρας
- Υπόστρωμα
- Φιλτραρισμένο υπόλειμμα ή Νερό
- Σωληνώσεις Θέρμανσης

Διάγραμμα ροής μονάδας βιοαερίου

Διάγραμμα ροής μονάδας βιοαερίου			

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000121522

