

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
1325

Παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από μονάδα αναερόβιας χώνευσης. Το παράδειγμα του σχεδιασμού αντιδραστήρα αναερόβιας χώνευσης 100KW για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:
ΑΝΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΤΣΙΜΙΧΑΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ:
ΗΛΕΙΑΣ ΣΤΑΘΑΤΟΣ

ΠΑΤΡΑ ΙΟΥΝΙΟΣ 2013

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποτελεί μία εκτίμηση της διαστασιολόγησης ενός αντιδραστήρα αναερόβιας χώνευσης για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών της τάξης των 100 KW από μονάδα χοιροτροφικών αποβλήτων. Εισαγωγικά παρουσιάζονται οι τεχνικές επεξεργασίας αποβλήτων καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τις αναερόβιας χώνευσης. Έπειτα γίνεται αναφορά σε μια τυπική εγκατάσταση μίας μονάδας κτηνοτροφικών λυμάτων και οι τρόποι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το βιοαέριο. Στην συνέχεια, συγκεκριμενοποιώντας την έρευνα, γίνεται επιλογή της μοντέλου μηχανής θερμοηλεκτρικής συμπαραγωγής. Τέλος χρησιμοποιώντας βιβλιογραφικές παραδοχές, υπολογίζονται οι απαραίτητες παράμετροι για την γεωμετρική αλλά και γεωμετρική διαστασιολόγηση του αντιδραστήρα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι δύο μέθοδοι αναερόβιας χώνευσης που συναντούνται στις περισσότερες μονάδες είναι τα συστήματα αναερόβιας ζύμωσης χαμηλής συγκέντρωσης στερεών και τα συστήματα υψηλής συγκέντρωσης στερεών. Εισαγωγικά θα γίνει αναφορά στην αερόβια επεξεργασία – λιπασματοποίηση κατά την οποία οι κατάλληλοι οργανισμοί βιοαποδομούν τα οργανικά συστατικά παρουσία οξυγόνου. Έπειτα η αερόβια βιολογική επεξεργασία – ενεργός ιλύς, όπου ο συνδυασμός της με την αναερόβια επεξεργασία οδηγεί στην παραγωγή του χουμικού υλικού το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως εδαφοβελτιωτικό.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα πραγματοποιηθεί εκτεταμένη αναφορά στην παραγωγή βιοαερίου και κατ' επέκταση ηλεκτρικής ενέργειας με την μέθοδο της αναερόβιας χώνευσης κατά την οποία παράγεται βιοαέριο, που περιέχει σε σημαντικές ποσότητες μεθάνιο (~65%), και ανήκει στην κατηγορία ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η διαδικασία αφορά τα στάδια της υδρόλυσης, ζύμωσης, οξυγένεσης και μεθανογένεσης. Θα παρουσιαστούν επίσης τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα καθώς και η επίδραση της θερμοκρασίας κατά την αναερόβια χώνευση.

Έμφαση θα δοθεί στον σχεδιασμό και διαστασιολόγηση του αντιδραστήρα αναερόβιας χώνευσης με γνώμονα την απαιτούμενη ποσότητα παραγόμενου αερίου ($N \cdot m^3$) για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της μονάδος (~100KW). Θα περιγραφούν επίσης τα βασικά μέρη ενός σταθμού αναερόβιας επεξεργασίας, με ιδιαίτερη αναφορά στην γεννήτρια συμπαραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος/θερμότητας (genset) και στα επιμέρους μέρη από τα οποία αποτελείται όπως επίσης και το σύστημα έλεγχου αυτής.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

I. Εισαγωγή	
1.1 Περιβαλλοντικά οφέλη της αναερόβιας χώνευσης – Πράσινη ενέργεια..	7
1.2 Η αναερόβια χώνευση στις αναπτυγμένες – αναπτυσσόμενες χώρες.....	7
1.3 Τεχνικές βιολογικής επεξεργασίας.....	9
1.3.α) Αναερόβια χώνευση.....	9
1.3.β) Αερόβια χώνευση – Λιπασματοποίηση.....	10
1.3.γ) Αερόβια βιολογική επεξεργασία – Δραστική λάσπη.....	10
1.3.δ) Συνδυασμός αναερόβιας επεξεργασίας – Λιπασματοποίησης.....	10
1.4. Τα στάδια της αναερόβιας χώνευσης.....	11
1.5. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αναερόβιας χώνευσης.....	12
1.6.Επίδραση της θερμοκρασίας.....	12
1.7.Τύποι αναερόβιων αντιδραστήρων.....	13
II. Τυπική εγκατάσταση σταθμού βιολογικής επεξεργασίας κτηνοτροφικών λυμάτων	
2.1 Δεξαμενή εξισορρόπησης και ομοιογενοποίησης ανεπεξέργαστων λυμάτων χοιροτροφείου.....	15
2.2. Αναερόβιος αντιδραστήρας	16
2.2.α) Κύριος αντιδραστήρας.....	16
2.2.β) Δεύτερος αντιδραστήρας (Post Digester).....	16
2.3. Μονάδα μηχανικού διαχωρισμού του ρεύματος εξόδου του αναερόβιου. αντιδραστήρα σε υγρά και στερεά.....	16
2.4. Δεξαμενή αερισμού και διαχωρισμού υγρού ρεύματος.....	16
2.5 Λοιπές επιμέρους μονάδες.....	17

III. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το βιοαέριο

3.1. Συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας	18
3.2 Μηχανές αερίου Otto – Diesel.....	19
3.3 Μηχανές προέγχυσης καυσίμου.....	19
3.4 Μικροστρόβιλοι αερίου.....	20
3.5 Κυψέλες καυσίμου.....	20
3.6 Κατάλληλη ποιότητα βιοαερίου.....	21
3.6.α) Μέθοδοι επίτευξης βέλτιστης ποιότητας.....	21

IV. Επιλογή μηχανής συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας

4.1 Data sheet μηχανής Kummins 100 KW biogas generator set.....	22
4.2 Περιγραφή επιμέρους τμημάτων της μηχανής εσωτερικής καύσης KUMMINS 6CT.....	25
4.2.α) Συστοιχία έξι κυλίνδρων (6 cylinders in-line)	25
4.2.β) Ατμοσφαιρικός κινητήρας (naturally aspirated engine).....	25
4.2.γ) Καλοριφέρ (Radiator) – Ψύξη μηχανής.....	26
4.2.δ) Το σύστημα εξάτμισης αερίου και τα επιμέρους μέλη του.....	26
4.2.ε) Intercooler.....	27
4.2.στ) Εναλλάκτης Engga EG225L-100N.....	27
4.2.ζ) Σύστημα εισόδου και εξόδου αέρα.....	30
4.2.η) Σύστημα ελέγχου (Deer See).....	30
ο <u>Περιγραφή:</u>	31
ο <u>Εύκολος έλεγχος από μπουτόν:</u>	31
ο <u>Έλεγχος από μικροεπεξεργαστή:</u>	31
ο <u>Μετρήσεις:</u>	31
ο <u>Ημερολόγιο Συμβάντων:</u>	32
ο <u>Ενδείξεις των LED:</u>	32
ο <u>Ψηφιακές είσοδοι:</u>	32
ο <u>Αναλογικές είσοδοι:</u>	32
ο <u>Έξοδοι ρελέ:</u>	33

○ <u>Προδιαγραφές</u>	33
○ <u>Λειτουργίες χρονομέτρων και εισόδων</u>	34
V. Σχεδιασμός αντιδραστήρα	
5.1.Επιλογή τύπου αντιδραστήρα.....	35
5.2 Απαραίτητες παράμετροι για την διαστασιολόγηση του AX.....	37
5.2.α) Θερμοκρασία του αντιδραστήρα.....	37
5.2.β) Υδραυλικός χρόνος παραμονής.....	38
5.2.γ) Σύνολο στερεών εισροής	39
5.2.δ) Ρυθμός οργανικής φόρτισης του χώνευτή – Organic loading rate (OLR).....	39
5.2.ε) Ανάμιξη.....	40
5.2.στ) pH.....	40
5.2.ζ) Συνολικά στερεά (TS) – Πτητικά στερεά (VS).....	40
5.2.η) Αποικοδόμηση των πτητικών στερεών.....	41
5.2.θ) COD.....	41
5.2.ι) BOD.....	41
5.2.κ) Επιπλέον παράμετροι παρακολούθησης.....	41
5.2.λ) Σχέση μεταξύ των παραμέτρων.....	41
5.2.μ) Γραφική απεικόνιση της σχέσης των παραμέτρων στην αναερόβια χώνευση.....	43
5.2.ν) Ογκομετρική παραγωγικότητα.....	43
5.3 Αποτελέσματα ερευνών της επιτροπής : ATV / VKS Expert Committee	
3.8.....	45
5.4 Διαστασιολόγηση αντιδραστήρα αναερόβιας χώνευσης για την παραγωγή 100 KW ηλεκτρικής ενέργειας.....	47
5.4.α) Ποσότητα των απαιτούμενων χοίρων – αποβλήτων.....	49
5.4.β) Όγκος Χώνευσης.....	49

5.5.Παράμετροι που καθορίζουν την βιωσιμότητα του αντιδραστήρα.....	51
5.5.α) Υπολογισμός ογκομετρικής παραγωγικότητας.....	51
5.5.β) Υπολογισμός συγκεκριμένης παραγωγής μεθανίου (Specific Methane Production).....	51
5.6. Τμηματική διαστασιολόγηση αντιδραστήρα AX.....	51
5.6.α) Παραδοχές τμημάτων.....	51
5.6.β) Ογκομετρική διαστασιολογηση.....	52
5.6.γ) Γεωμετρική διαστασιολόγηση.....	52

VI. Χρήση ανεπεξέργαστης ύλης ως εδαφοβελτιωτικό

VII. Βιβλιογραφία

I. Εισαγωγή

1.1 Περιβαλλοντικά οφέλη της αναερόβιας γώνευσης – Πράσινη ενέργεια

Ένα από τα κύρια περιβαλλοντικά προβλήματα της σημερινής κοινωνίας είναι η συνεχώς αυξανόμενη παραγωγή αποβλήτων. Σε πολλές χώρες, η αειφόρος διαχείριση, αλλά και η πρόληψη και η μείωση των αποβλήτων έχουν καταστεί σημαντικές πολιτικές προτεραιότητες και συνιστούν ένα σημαντικό μέρος των προσπαθειών για τη μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης, των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και τη μετρίαση των αλλαγών του παγκόσμιου κλίματος. Οι προηγούμενες πρακτικές της ανεξέλεγκτης εναπόθεσης των αποβλήτων δεν είναι πλέον αποδεκτές. Ούτε η ελεγχόμενη διάθεση στις χωματερές αλλά ούτε και η αποτέφρωση των οργανικών αποβλήτων δεν προτιμούνται ως τεχνολογίες, δεδομένου ότι τα περιβαλλοντικά πρότυπα που ισχύουν σήμερα είναι πολύ πιο αυστηρά, ενώ ζητούμενο είναι η ενέργεια ανάκτησης και η ανακύκλωση των θρεπτικών ουσιών και της οργανικής ουσίας.

Το βιοαέριο, όπως και η βιομάζα, ως πηγή ενέργειας θεωρείται ως CO₂ (διοξείδιο του άνθρακα) ουδέτερο επειδή το CO₂ που εκλύεται κατά την καύση του βιοαερίου είναι το ίδιο με το CO₂ που τα φυτά της βιομάζας έχουν αφομοιώσει κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης για τη δημιουργία οργανικής ύλης. Με αυτό τον τρόπο η καύση του βιοαερίου είναι απλά μια ανακύκλωση του CO₂ στη βιόσφαιρα. Επιπλέον, η παραγωγή ενέργειας βοηθά επίσης στη μείωση της εκπομπής των αερίων του θερμοκηπίου, το μέγεθος αυτής της μείωσης διαφέρει ανάλογα με το καύσιμο το οποίο αντικαθίσταται. Εάν το βιοαέριο χρησιμοποιείται αντί του άχυρου, δεν θα υπάρξει καμία μείωση των εκπομπών CO₂, διότι η χρήση του άχυρου είναι ήδη CO₂ ουδέτερη. Εάν, ωστόσο, το βιοαέριο αντικαθιστά το πετρέλαιο, λιγότερο πετρέλαιο θα χρησιμοποιηθεί και θα υπάρξει μια μείωση των εκπομπών. Επίσης διαφορετικό αντίκτυπο στην μείωση των εκπομπών θα παρουσιάζεται όταν το βιοαέριο χρησιμοποιείται για σκοπούς μεταφοράς και αντικαθιστά την ντίζελ ή την βενζίνη.

Στις περισσότερες κοινοτικές μονάδες βιοαερίου της Δανίας, το βιοαέριο χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της χρήσης ενός κινητήρα-γεννήτριας. Η ηλεκτρική ενέργεια, η οποία αποτελεί το 35-40% του ενεργειακού περιεχομένου του βιοαερίου, πωλείται στο δίκτυο και αντικαθιστά την ηλεκτρική ενέργεια που διαφορετικά θα παραγόταν σε έναν από τους μεγάλους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής καύσης άνθρακα. Σύμφωνα με τα στοιχεία που δημοσιεύθηκαν από τη Δανική Υπηρεσία Ενέργειας, οι ατμοσφαιρικές εκπομπές μειώνονται κατά 640 g CO₂ για κάθε kWh ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από βιομάζα και από αιολική ενέργεια.

1.2 Η αναερόβια γώνευση στις αναπτυγμένες – αναπτυσσόμενες χώρες

Οι τεχνολογίες της αναερόβιας ζύμωσης και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το παραγόμενο βιοαέριο είναι γνωστές για μεγάλο χρονικό διάστημα. Ιδιαίτερα για

μονάδες αποχέτευσης έχουν τεθεί σε λειτουργία για πολλούς σκοπούς εδώ και χρόνια. Ωστόσο, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο με τη χρήση γεωργικών πρώτων υλών έγιναν πιο συχνές λίγο μετά την εισαγωγή του feed-in tariff.* Περίπου 0,11 €ανά kWh (συν ειδικά επιδόματα) ήταν η εγγυημένη τιμή βάσης για εγκαταστάσεις έως 150 kW (EEG 2009)** (Renewable energy sources act).

Το 2009, πάνω από 4.500 σταθμοί βιοαερίου λειτουργούσαν στη Γερμανία με πάνω από 1.500 MW εγκατεστημένη ισχύς. Ως εκ τούτου, ειδική τεχνογνωσία και τεχνολογικές λύσεις είναι διαθέσιμες σε ένα πολύ υψηλό επίπεδο. Ωστόσο, παρά την εγγυημένη feed-in tariff, η αποδοτικότητα των μονάδων δεν ήταν πάντα εγγυημένη. Με διακυμάνσεις των τιμών των πρώτων υλών, που συχνά, ειδικά για μονάδες που προορίζονταν συγκεκριμένα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η αποδοτικότητα των μονάδων αυτών παρουσίασε διακυμάνσεις από έτος σε έτος.

Το μέγεθος των σταθμών παραγωγής ενέργειας έχει αυξηθεί ραγδαία τα τελευταία χρόνια. Ενώ το μέσο μέγεθος ενός σταθμού βιοαερίου ήταν 60 kW, το 1999, μόνο 10 χρόνια αργότερα ήταν 300 KW (2009). Ο λόγος για αυτό έγκειται στην μείωση του ειδικού κόστους των μεγαλύτερων μονάδων - περίπου 50% χαμηλότερα για μια μονάδα 300kW από ό, τι για μια εγκατάσταση 60kW αναλογικά. Σήμερα, η αποδοτικότητα των μονάδων βιοαερίου στη Γερμανία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την δυνατότητα πώλησης της θερμότητας, καθώς και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγωγή θερμότητας των μονάδων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ) χρησιμοποιούνται για την παροχή ζεστού νερού για τα συστήματα θέρμανσης των νοικοκυριών της κοινότητας, για σχολεία, δημόσιες πισίνες κλπ.

Εκατομμύρια μονάδες παραγωγής βιοαερίου έχουν εγκατασταθεί σε όλο τον κόσμο κατά τις τελευταίες δύο δεκαετίες, μονάδες οι οποίες χρηματοδοτούνται ή υποστηρίζονται από εθνικά και διεθνή προγράμματα. Δεν είναι δυνατόν να δοθεί μια ολοκληρωμένη εικόνα των δραστηριοτήτων αυτών στο πλαίσιο του παρόντος εγγράφου.

Από τα τέλη της δεκαετίας του εβδομήντα, η GTZ (German Technical cooperation) έχει ξεκινήσει πολλά έργα για τη διάδοση της τεχνολογίας βιοαερίου: • Διμερή σχέδια με την Αιθιοπία, το Καμερούν και το Λεσότο • Το πρόγραμμα διάδοσης του βιοαερίου που δραστηριοποιείται στην Μπελίτζ, τη Βολιβία, τη Τζαμάικα, τη Νικαράγουα, την Μπουρκίνα Φάσο, την Τανζανία, την Κένυα, το Μπουρούντι και την Ταϊλάνδη. Και • Ειδικά Προγράμματα ενέργειας που δραστηριοποιούνται πάνω στο βιοαέριο στην Τανζανία, Μπουρούντι, Κένυα , Ακτή Ελεφαντοστού, Μπουρκίνα Φάσο και το Μάλι.

* Είναι μια παγκόσμια ένωση συγκέντρωσης των πόρων στον κόσμο για το σχεδιασμό, την κατασκευή, λειτουργία και συντήρηση των αυτοκινήτων, αεροσκαφών, διαστημικών οχημάτων.

** Υπηρεσία του Γερμανικού Ομοσπονδιακού Υπουργείου Δικαιοσύνης Νόμος για τη χορήγηση προτεραιότητας στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας Act-EEG)

Οι περισσότεροι από τους σταθμούς που εγκαθίστανται από τα προγράμματα αυτά έχουν σχεδιαστεί για τα νοσοκομεία, τα νοικοκυριά και τους αγρότες, κυρίως με τη χρήση του βιοαερίου απευθείας ως καύσιμο για το μαγείρεμα και το φωτισμό. Η κύρια εστίαση για κατασκευή μεγαλύτερων εγκαταστάσεων γίνεται στα σφαγεία και στις αποχετεύσεις. Ωστόσο, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έχει διαδραματίσει επίσης έναν ρόλο και αρκετές πιλοτικές μονάδες εγκαταστάθηκαν στη δεκαετία του 1980 και 1990, κυρίως δυναμικότητας ισχύος 10 kW έως 100 kW. Παρ' όλα αυτά, φαίνεται ότι πολύ λίγες από αυτές τις μονάδες είναι ακόμα σε λειτουργία ή έχουν λειτουργήσει επιτυχώς όλα αυτά τα χρόνια. Τέτοιες μονάδες που αντιμετωπίζουν αναμφίβολα πολλά τεχνικά προβλήματα ως πρότυπο τεχνολογίας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο δεν μπορούν να εγκατασταθούν πλέον.

1.3 Τεχνικές βιολογικής επεξεργασίας

1.3.α) Αναερόβια χώνευση

Η αναερόβια χώνευση αποτελεί την μικροβιολογική διεργασία αποσύνθεσης της οργανικής ουσίας, απουσία οξυγόνου. Τα βασικά προϊόντα αυτής της διεργασίας είναι το βιοαέριο και το κομποστ. Το βιοαέριο είναι ένα αέριο καύσιμο, αποτελούμενο κυρίως από μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Το κομποστ είναι το αποσυντεθειμένο υπόστρωμα, επακόλουθο της παραγωγής του βιοαερίου, πλούσιο σε θρεπτικές ουσίες και έτσι χρησιμοποιείται ως λίπασμα για τα φυτά. Το μίγμα μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2$) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας. Κατά την αναερόβια χώνευση χρησιμοποιούνται κλειστοί βιοαντιδραστήρες (χωνευτές).

Κατηγορίες αναερόβιας χώνευσης:

Οι μέθοδοι αναερόβιας χώνευσης που έχουν κυριαρχήσει είναι με συστήματα αναερόβιας ζύμωσης χαμηλής συγκέντρωσης στερεών και με συστήματα υψηλής συγκέντρωσης στερεών.

- Αναερόβια Ζύμωση Χαμηλής Συγκέντρωσης Στερεών.

Σε αυτή τη μέθοδο οι συγκεντρώσεις στερεών κυμαίνονται από 4 – 14 %. Η μέθοδος αυτή για να αποδομηθεί και σταθεροποιηθεί η οργανική ύλη απαιτεί μεγάλες ποσότητες σε νερό. Επίσης η αφυδάτωση του τελικού στερεού προϊόντος απαιτεί πρόσθετο εξοπλισμό καθώς και την ύπαρξη συστήματος επεξεργασίας των υγρών που παράγονται κατά την αφυδάτωση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνεται το κόστος της μεθόδου.

- Αναερόβια ζύμωση υψηλής συγκέντρωσης στερεών

Σε αυτά τα συστήματα η διεργασία γίνεται σε συγκεντρώσεις στερεών μεγαλύτερες από 22%. Σε σχέση με την προηγούμενη μέθοδο υπάρχουν οι εξής διαφορές:

1. Λιγότερες απαιτήσεις όσον αφορά στην αφυδάτωση του χωνευμένου τελικού προϊόντος
2. Ελαττωμένες απαιτήσεις στερεών.
3. Μεγαλύτερες ποσότητες βιοαερίου ανά μονάδα όγκου αντιδραστήρα.

1.3.β) Αερόβια βιολογική επεξεργασία – Λιπασματοποίηση (Composting)

Η λιπασματοποίηση (Composting) ανήκει επίσης στις τεχνικές επεξεργασίας της βιομάζας, ενώ θεωρείται μια εκ των πλέων βιώσιμων τεχνικών. Πρόκειται για τη ελεγχόμενη βιοξείδωση ετερογενών οργανικών υλικών. Η επεξεργασία αυτή πραγματοποιείται με τη βοήθεια ετερότροφων μικροοργανισμών (βακτήρια, μύκητες). Οι οργανισμοί αυτοί βιοαποδομούν τα οργανικά συστατικά παρουσία οξυγόνου. Απαιτούνται 2 kg O₂ για την αποδόμηση 1 kg BOD (Biochemical oxygen demand), η οποία έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση-σχεδόν την εξάλειψη του αζώτου. Προϊόν της λιπασματοποίησης είναι το compost (οργανικό λίπασμα) το οποίο είναι πλούσιο σε σταθεροποιημένη οργανική ουσία με υψηλό χουμικό περιεχόμενο.

Χούμος (Compost) ονομάζεται το σύνολο της οργανικής ύλης η οποία βρίσκεται στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους και η οποία υποβάλλεται σε συνεχείς διεργασίες αποσύνθεσης και σύνθεσης νέων ουσιών.

Το compost ανάλογα με την ποιότητα του μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως:

- Εδαφοβελτιωτικό υλικό
- Υπόστρωμα για την καλλιέργεια φυτών
- Βιολογικό Φίλτρο
- Ηχομονωτικό

1.3.γ) Αερόβια βιολογική επεξεργασία – Δραστική λάσπη

Η συγκεκριμένη μέθοδος μπορεί να διαχειριστεί τόσο αστικά όσο και βιομηχανικά υγρά απόβλητα. Είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική στην μείωση του οργανικού φορτίου των λυμάτων με μειονέκτημα τις αυξημένες λειτουργικές ανάγκες σε ενέργεια. Για την διευκόλυνση της αποδόμησης των οργανικών ενώσεων που βρίσκονται διαλυμένα μέσα στα λύματα, δημιουργούνται οι συνθήκες για την ανάπτυξη σαπροφυτικών οργανισμών, που χρησιμοποιούν μεταξύ άλλων το οργανικό υπόστρωμα των λυμάτων για σύνθεση νέων κυττάρων και παραγωγή της απαραίτητης ενέργειας. Τα λύματα υποβάλλονται σε αερόβια σταθεροποίηση με την συνεχή παροχή αέρα (οξυγόνο), είτε με αεραντλίες, είτε με μηχανική επιφανειακή ανάδευση.

1.3.δ) Συνδυασμός Αναερόβιας επεξεργασίας και Λιπασματοποίησης.

Το οργανικό υλικό υφίσταται αρχικά αναερόβια ζύμωση και στη συνέχεια αερόβια επεξεργασία-σταθεροποίηση, οπότε προκύπτει χουμικό υλικό. Το τελικό προϊόν

της συνδυασμένης επεξεργασίας παρουσιάζει σύσταση και χαρακτηριστικά παρόμοια με αυτά που έχει το compost και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε γεωργικές εφαρμογές (εδαφοβελτιωτικό) αλλά και να αξιοποιηθεί ως καύσιμο υλικό.

1.4. Τα Στάδια της αναερόβιας χώνευσης

Υδρόλυση

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

Οξεογένεση ή ζύμωση

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 (VFA) και αλκοόλες (30%).

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.

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. Η μεθανογένεση είναι ένα 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 τη μεθανογένεση.

Μέσα από την συμβιωτική λειτουργία των μικροοργανισμών η οργανική ύλη μετατρέπεται περίπου σε:

- 50%-60% μεθάνιο
- 38%-48% διοξείδιο του άνθρακα
- 2% άλλα αέρια, μίγμα το οποίο είναι γνωστό ως βιοαέριο.

1.5. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της AX

Πλεονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα της αναερόβιας ζύμωσης είναι ότι η μέθοδος υπό τις κατάλληλες συνθήκες αποτελεί κλειστό κύκλο άνθρακα, με αποτέλεσμα να μην συνεισφέρει στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Το παραγόμενο μεθάνιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια. Η AX επίσης συμβάλει στην μείωση του όγκου των αποβλήτων, της οσμής, των παθογόνων μικροοργανισμών, όπως επίσης και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Μειονεκτήματα

Αποτελεί μια ευαίσθητη διαδικασία κατά την οποία κάτω από ασταθείς συνθήκες παρουσιάζεται ανάπτυξη ανεπιθύμητων ουσιών όπως οξέα και αλκοόλες.

Παράμετροι που δείχνουν την αποτυχία μίας μονάδος είναι:

- Η μειωμένη παραγωγή μεθανίου.
- Αυξημένη συγκέντρωση πτητικών λιπαρών οξέων.
- Μείωση του pH.

1.6. Επίδραση της θερμοκρασίας

Το μεθάνιο διαμορφώνεται στη φύση σε ένα εύρος θερμοκρασίας από τη ζέστη μέχρι το κρύο. Στις τεχνικές εφαρμογές διακρίνονται τρία διαφορετικά εύρη θερμοκρασιών:

- Ψυχρόφιλη θερμοκρασία από 10°C - 25°C
- Μεσόφιλη θερμοκρασία από 25°C - 35°C
- Θερμόφιλη θερμοκρασία από 35°C - 60°C

Ένας αριθμός μεσόφιλων και θερμόφιλων αναερόβιων βακτηρίων λειτουργούν με μέγιστη απόδοση στις θερμοκρασίες από 28°C - 42°C και με 55°C - 72°C αντίστοιχα. Μέχρι τώρα κανένα αναερόβιο βακτήριο δεν έχει βρεθεί σε θερμοκρασία κάτω των 25°C. Στην πράξη η θερμοκρασία λειτουργίας επιλέγεται ανάλογα με την πρώτη ύλη που

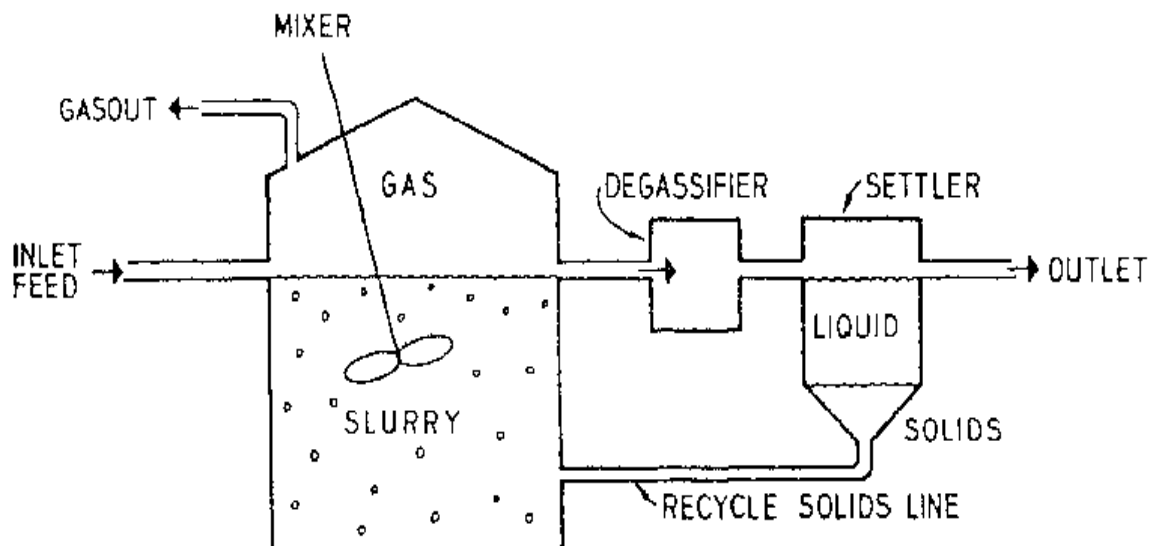
χρησιμοποιείται και συνήθως παρέχεται από ενδοδαπέδια ή επιτυχία συστήματα θέρμανσης στο εσωτερικό του χωνευτή. Επειδή συνήθως παράγεται περισσότερη θερμότητα από αυτήν που χρειάζεται για να επιτευχθεί η μεσόφιλη θερμοκρασία, η ίδια αποτελεί και την πιο συχνή μέθοδο. Οι θεμόφιλη θερμοκρασία χρησιμοποιείται κυρίως σε μεγάλης κλίμακας εγκαταστάσεων βιοαερίου.

1.7. Τύποι αναερόβιων αντιδραστήρων

- Συνεχούς ή διαλείποντος έργου.

Αντιδραστήρας CSTR (Continuously stirred tank reactor)

Αποτελέσαν τους πρώτους αντιδραστήρες αναερόβιας επεξεργασίας και χρησιμοποιούνται εκτενώς για αναερόβια χώνευση που παρουσιάζει υψηλές συγκεντρώσεις στερεών όπως οι βιολογικές λάσπες. Για να επιτευχθούν επιθυμητά επίπεδα αποδόμισης απαιτείται αρκετά μεγάλος χρόνος παραμονής των αποβλήτων, σε σχέση με άλλους αντιδραστήρες, διάστημα περίπου 25 ημερών. Με σκοπό να αυξηθεί ο χρόνος παραμονής των ενεργών αιωρούμενων στερεών (μικροβιακοί οργανισμοί), οι CSTR εξελίχθηκαν σε αντιδραστήρες πλήρους ανάδευσης με ανακυκλοφορία της λάσπης (anaerobic contact process). Σε αυτή την περίπτωση, η βιολογική λάσπη που απομακρύνεται μαζί με το επεξεργασμένο απόβλητο, διαχωρίζεται σε μια δεξαμενή καθίζησης και έπειτα επιστρέφει στον κύριο αναερόβιο χωνευτή. Η τεχνολογία αυτή έχει περιορισμένη χρήση για την επεξεργασία βιομηχανικών αποβλήτων



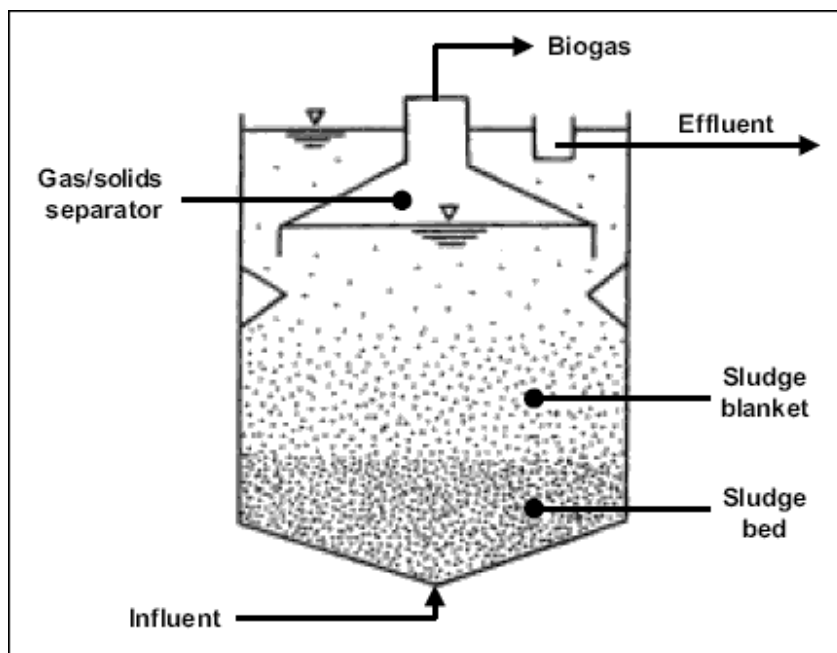
Αντιδραστήρας UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)

Ο αντιδραστήρας ανοδικής ροής στοιβάδας ανόργανης ιλύος καταλαμβάνει το 72% των αντιδραστήρων που χρησιμοποιούνται παγκοσμίως. Ο λόγος της εκτεταμένης αυτής χρήσης είναι η δυνατότητα να επεξεργαστεί ποικιλία βιομηχανικών και οικιακών αποβλήτων. Το απόβλητο εισάγεται από τον πυθμένα του αντιδραστήρα και με εξαναγκασμένη ανοδική πορεία (upflow), διέρχεται μέσα από στοιβάδα ιλύος. Η στοιβάδα αυτή περιέχει μικτή καλλιέργεια αναερόβιων οργανισμών σε αιώρηση. Η σπουδαιότητα της ιλύος έγκειται στην μετατροπή του οργανικού υποστρώματος σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα.

Οι αντιδραστήρες UASB φέρουν στην κορυφή τους διαχωριστήρα τριών φάσεων ο οποίος:

- Συλλέγει διαχωρίζει και απομακρύνει το παραγόμενο βιοαέριο
- Δρα περιοριστικά στη διαστολή της κλίνης ιλύος
- Περιορίζει τις αναταραχές του υγρού κλάσματος, που συνιστούν απόρροια της παραγωγής αερίου στην περιοχή καθίζησης.
- Αποτρέπει την έκπλυση και την συνακόλουθη διαφυγή ιλύος από το σύστημα.

Ο αντιδραστήρας UASB συνιστάται για την επεξεργασία βαρέων οργανικών αποβλήτων.



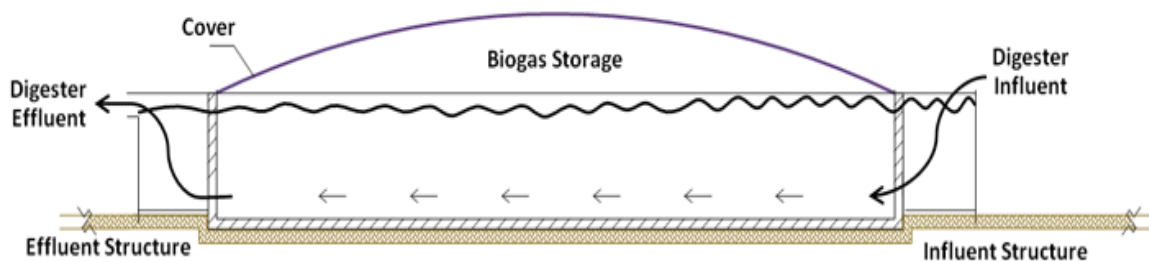
Αντιδραστήρας Plug flow (Εμβολικής ροής)

Οι αντιδραστήρες εμβολικής ροής χρησιμοποιούνται για την διαχείριση μεγάλου όγκου αποβλήτων. Είναι κατάλληλοι για την επεξεργασία υγρών και αέριων αποβλήτων καθώς και για την διαχείριση κοπριάς.

Συγκεκριμένα τυγχάνουν ευρείας χρήσης σε περιπτώσεις:

- Αντιδράσεων μεγάλης κλίμακας.
- Ταχέων αντιδράσεων
- Ομογενών και ετερογενών αντιδράσεων
- Αντιδράσεων συνεχούς παραγωγής
- Ιδιαίτερα εξώθερμων αντιδράσεων

Πλεονεκτούν από τους CSTR καθώς παράγουν υψηλότερο ποσοστό από οφέλημων και αξιοποιήσιμων προϊόντων. Επίσης παρουσιάζουν χαμηλό κόστος λειτουργίας. Αντίθετα μειονεκτούν στη δυσκολία ελέγχου των θερμοκρασιών και στο υψηλό κόστος συντήρησης.



II. Τυπική εγκατάσταση σταθμού βιολογικής επεξεργασίας κτηνοτροφικών αποβλήτων

2.1. Δεξαμενή εξισορρόπησης και ομοιογενοποίησης ανεπεξέργαστων λυμάτων χοιροτροφείου.

Τα ημερήσια απόβλητα και με μέση περιεκτικότητα 5,5 % σε οργανική ξηρή ύλη θα διοχετεύονται ή θα μεταφέρονται από τους διάφορους στάβλους σε 2 δεξαμενές οι οποίες μπορούν να γεμίζουν εναλλάξ η μια μετά την άλλη. Στις δεξαμενές αυτές τα απόβλητα θα ομογενοποιούνται.

2.2. Αναερόβιος αντιδραστήρας

2.2.α) Κύριος αντιδραστήρας

Ο κύριος αντιδραστήρας, η διαστασιολόγηση του οποίου αποτελεί ένα από τα κύρια κομμάτια της παρούσας πτυχιακής εργασίας και θα αναλυθεί εκτενώς στο κεφάλαιο 5, θα είναι μια κατακόρυφη δεξαμενή από μονωμένο σιδηροπαγές σκυρόδεμα

με αποθήκη αερίου. Εξωτερικά θα είναι μονωμένο με κομμάτια πολυστερίνης XPS 100mm και καλυμμένο με μεταλλικό έλασμα για προστασία από τις καιρικές συνθήκες. Η ανάμιξη θα γίνεται με τη βοήθεια αναδευτήρων χαμηλής ταχύτητας χωρίς να υπάρχουν κινούμενα μέρη μέσα στον αντιδραστήρα. Το παραγόμενο βιοαέριο θα μεταφέρεται από το θόλο στον επόμενο αντιδραστήρα (post digester) που είναι η κεντρική αποθήκη αερίου μετά από την αποθείωση. Το περιεχόμενο του αντιδραστήρα θα μεταφέρεται με αντλία στον επόμενο αντιδραστήρα (Post Digester). Οι σωλήνες θέρμανσης που είναι τοποθετημένοι στην περιφέρεια της δεξαμενής διατηρούν κατάλληλη τη θερμοκρασία για τη διάσπαση του οργανικού φορτίου χρησιμοποιώντας τη χαμένη θερμότητα της γεννήτριας.

2.2.β) Δεύτερος αντιδραστήρας (Post Digester)

Ο εν λόγω αντιδραστήρας θα είναι μια κατακόρυφη δεξαμενή από μονωμένο σιδηροπαγές σκυρόδεμα με αποθήκη αερίου. Εξωτερικά θα είναι μονωμένο με κομμάτια πολυστερίνης XPS 100mm και καλυμμένο με μεταλλικό έλασμα για προστασία από τις καιρικές συνθήκες. Το πάνω μέρος του είναι καλυμμένο με μεμβράνη για αποθήκευση αερίου. Ένας καταδύμενος αναμεικτής θα διασφαλίζει την αποτελεσματική και ευέλικτη ομογενοποίηση των υγρών αποβλήτων. Οι σωλήνες θέρμανσης που είναι τοποθετημένες στην περιφέρεια της δεξαμενής διατηρούν κατάλληλη τη θερμοκρασία για την περαιτέρω διάσπαση του οργανικού φορτίου χρησιμοποιώντας και σε αυτή τη περίπτωση τη χαμένη θερμότητα της γεννήτριας.

2.3. Μονάδα μηχανικού διαχωρισμού του ρεύματος εξόδου του αναερόβιου αντιδραστήρα σε υγρά και στερεά.

Ένα πολύ αποδοτικό σύστημα διαχωρισμού του ρεύματος εξόδου από το δεύτερο αντιδραστήρα σε υγρά και στερεά είναι η φυγοκέντρωση που επιτρέπει στον ιδιοκτήτη να μειώσει το χρόνο συντήρησης. Τα στερεά θα περιέχουν περίπου 25% DM (Dry matter) και μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα ως λίπασμα για τα χωράφια. Τα υγρά θα εισέρχονται στη δεξαμενή αερισμού, νιτροποίησης και απονιτροποίησης για περαιτέρω επεξεργασία.

2.4. Δεξαμενή αερισμού του διαχωρισμένου υγρού ρεύματος

Η αερόβια επεξεργασία του υγρού που προέρχεται από τη φυγοκέντρωση γίνεται σε δεξαμενή με ειδικό σχεδιασμό ώστε να βελτιστοποιείται η απομάκρυνση του διαλυμένου αζώτου και οργανικού φορτίου. Το άζωτο που υπάρχει μέσα στο νερό κυρίως σε μορφή αμμωνίας μετατρέπεται αρχικά από βακτηρίδια που αναπτύσσονται σε αερόβιες συνθήκες σε νιτρικές και νιτρώδεις ενώσεις. Στη συνέχεια οι νιτρικές/νιτρώδεις ενώσεις καταναλώνονται από βακτηρίδια που αναπτύσσονται σε ανοξικό περιβάλλον και μετατρέπονται σε αέριο άζωτο, το οποίο είναι αδιάλυτο στο νερό και απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα. Μέσα στην αερόβια δεξαμενή επιτυγχάνεται η δημιουργία περιοχών όπου είτε επικρατούν πλήρως αερόβιες συνθήκες είτε επικρατεί πλήρης απουσία οξυγόνου έτσι ώστε να επιτυγχάνουμε την πραγματοποίηση και των δύο αντιδράσεων.

Τέλος ειδικά αερόβια βακτηρίδια καταναλώνουν το υπάρχον οργανικό φορτίο και μειώνουν τη συγκέντρωσή του στο τελικό υγρό προϊόν.

2.5. Λοιπές επιμέρους μονάδες

Μηχανολογική εγκατάσταση και συστήματα διαχείρισης υλικών (αναμικτήρες, αντλίες, βαλβίδες, σωληνώσεις κ.λ.π.)

Φίλτρα τριτοβάθμιας επεξεργασίας

Ηλεκτρική εγκατάσταση και συστήματα ηλεκτρονικού ελέγχου

Εναλλάκτης εξοικονόμησης ενέργειας από τα καυσαέρια της γεννήτριας και παραγωγής θερμικής ενέργειας.

Γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

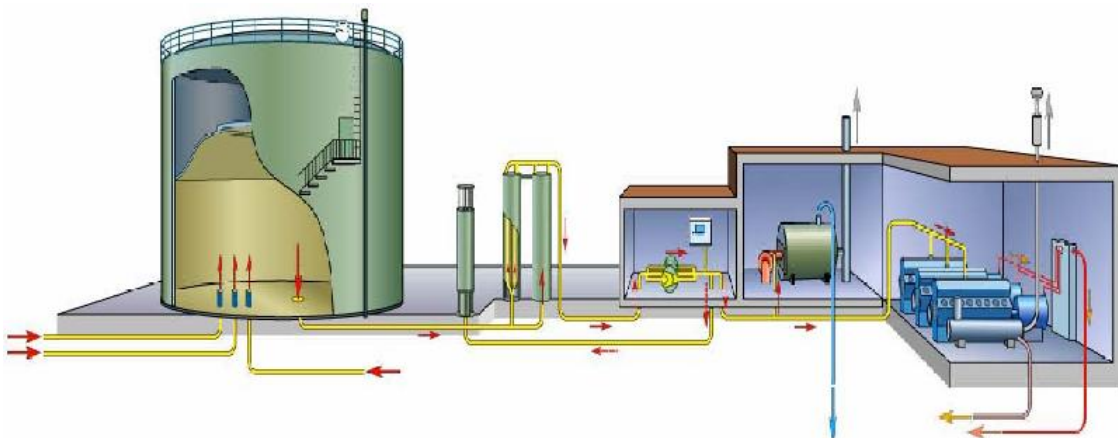
III. Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από το βιοαέριο.

Η παραγωγή συμπιεσμένου βιοαερίου από την αναερόβια χώνευση αποτελεί ευρέως γνωστή και χρησιμοποιημένη τεχνολογία. Είδη υπάρχουν εκατομμύρια μονάδες σε λειτουργία ανά τον κόσμο.

Θεωρητικά, το βιοαέριο μπορεί να μετατραπεί απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας μια κυψέλη καυσίμων. Ωστόσο, πολύ “καθαρό” βιοαέριο και μία πολύ ακριβή κυψέλη καυσίμων απαιτούνται για αυτή την διαδικασία. Στις περισσότερες των περιπτώσεων, το βιοαέριο χρησιμοποιείται ως καύσιμο μηχανών καύσεως, οι οποίες το μετατρέπουν σε μηχανική ενέργεια, τροφοδοτώντας μια ηλεκτρική γεννήτρια και παράγοντας ηλεκτρισμό. Κατάλληλες ηλεκτρικές γεννήτριες μπορούν να εξασφαλιστούν πρακτικά σε όλες τις χώρες και σε πληθώρα μεγεθών. Η τεχνολογία τους είναι γνωστή και η συντήρηση απλή.

Η πρόκληση παρουσιάζεται στο πρώτο μέρος της μονάδος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας: η μηχανή καύσης του βιοαερίου ως καύσιμο. Θεωρητικά το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλα τα είδη μηχανών καύσης, όπως μηχανές αερίου Otto* μηχανές diesel, μηχανές προέγχυσης καυσίμου, μηχανές stirling, μικροστρόβιλοι βιοαερίου και κυψέλες καυσίμου.

* Ο τετράχρονος κύκλος που χρησιμοποιείται στη βενζίνη/πετρέλαιο των κινητήρων. 1. Πρόσληψη, 2. Συμπίεση, 3. Ενέργεια, 4. Εξάτμιση



3.1. Συνδυασμένη παραγωγή Ηλεκτρικής και Θερμικής ενέργειας

Η συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ) είναι η τυπική εφαρμογή του βιοαερίου από την ΑΧ σε πολλές χώρες και θεωρείται ως μια πολύ αποδοτική χρήση του βιοαερίου για την παραγωγή ενέργειας. Πριν από τη μετατροπή στη ΣΗΘ, το βιοαέριο στραγγίζεται και ξηραίνεται. Οι περισσότερες μηχανές αερίου έχουν μέγιστα όρια για το υδρόθειο, τους αλογονικούς υδρογονάνθρακες και τις ενώσεις οργανοπυριτίου (σιλοξάνες) στο βιοαέριο. Μια μονάδα ΣΗΘ που χρησιμοποιεί μηχανή εσωτερικής καύσης έχει αποδοτικότητα μέχρι 90% και παράγει 35% ηλεκτρική ενέργεια και 65% θερμότητα. Η πιο συνήθης εφαρμογή των μονάδων ΣΗΘ είναι οι θερμικές εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής τύπου συστοιχίας (BTTP), με κινητήρες καύσης που συνδέονται με μια γεννήτρια. Οι γεννήτριες έχουν συνήθως μια σταθερή ταχύτητα περιστροφής (1.500 στροφές/λεπτό) προκειμένου να είναι συμβατές με τη συχνότητα του δικτύου. Οι κινητήρες μπορεί να είναι μηχανές έγχυσης τύπου Otto, Ντίζελ ή πιλοτικές. Τόσο οι μηχανές αερίου Ντίζελ όσο και οι Otto λειτουργούν χωρίς πετρέλαιο ανάφλεξης, σύμφωνα με την αρχή του Otto. Η διαφορά αυτών των μηχανών είναι μόνο στη συμπίεση.

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ενέργεια διεργασίας για τον ηλεκτρικό εξοπλισμό, όπως είναι οι αντλίες, τα συστήματα ελέγχου και οι αναδευτήρες. Σε πολλές χώρες με υψηλά τιμολόγια αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, όλη η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια πωλείται στο δίκτυο και η ηλεκτρική ενέργεια της διεργασίας αγοράζεται από το ίδιο το δίκτυο. Σημαντικό ζήτημα για την ενεργειακή και την οικονομική αποδοτικότητα των εγκαταστάσεων του βιοαερίου αποτελεί η χρήση της παραγόμενης θερμότητας. Συνήθως, ένα μέρος της θερμότητας χρησιμοποιείται για τη θέρμανση των χωνευτών (θερμότητα διεργασίας) και περίπου τα δύο τρίτα όλης της παραγόμενης ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εξωτερικές χρήσεις. Πολλές μονάδες βιοαερίου, σε χώρες όπως η Γερμανία, σχεδιάστηκαν αποκλειστικά για ηλεκτροπαραγωγή, χωρίς πρόβλεψη για τη διάθεση της θερμότητας. Σήμερα, για την επίτευξη οικονομικής βιωσιμότητας της μονάδας είναι υποχρεωτική η χρήση της θερμότητας. Οι τιμές της βιομάζας (π.χ. καλαμπόκι) έχουν αυξηθεί και, για πολλές εγκαταστάσεις, δεν είναι αρκετή μόνο η πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας για την επίτευξη οικονομικής

βιωσιμότητας. Οι νέες μονάδες βιοαερίου πρέπει να περιλαμβάνουν πάντα στο γενικό σχεδιασμό τους και τη διάθεση της θερμότητας.

3.2. Μηχανές αερίου Otto – Diesel

Οι μηχανές Otto πιο συγκεκριμένα αναπτύσσονται για τη χρήση του βιοαερίου σύμφωνα με την αρχή του Otto. Οι μηχανές αυτές (ανεπαρκούς καύσης) λειτουργούν με πλεόνασμα αέρα, προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα. Αυτό οδηγεί σε μικρότερη κατανάλωση αερίου και μειωμένη απόδοση του κινητήρα, τα οποία αντισταθμίζονται με τη χρήση ενός στροβιλοφουσητήρα καυσαερίων. Οι μηχανές αερίου Otto απαιτούν βιοαέριο περιεκτικότητας 45% σε μεθάνιο. Οι μικρότερες μηχανές, μέχρι 100 kW_{el}, είναι συνήθως μηχανές Otto. Για υψηλότερη ηλεκτρική απόδοση χρησιμοποιούνται συστοιχίες προσαρμοσμένων ντιζελοκινητήρων. Και οι δύο μηχανές ονομάζονται «Μηχανές Αερίου Otto» δεδομένου ότι η βασική λειτουργία τους βασίζεται στην αρχή του Otto. Οι μηχανές Otto μπορούν να λειτουργούν με βιοαέριο ή φυσικό αέριο. Αυτό είναι χρήσιμο κατά την φάση της εκκίνησης των μονάδων βιοαερίου, όταν η θερμότητα χρησιμοποιείται για να θερμάνει τους χωνευτές.

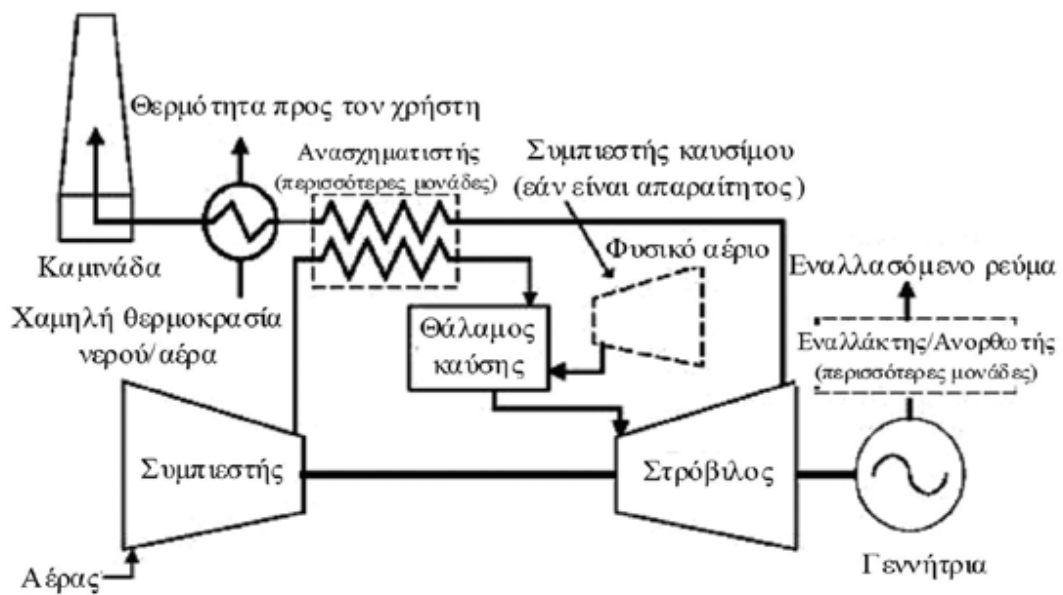
3.3. Μηχανή Προέγχυσης Καυσίμου

Η Μηχανή Προέγχυσης Καυσίμου (γνωστή και ως μηχανή φυσικού αερίου πιλοτικής έγχυσης ή μηχανή διπλού καυσίμου) βασίζεται στην αρχή της μηχανής ντίζελ. Αυτές οι μηχανές συχνά χρησιμοποιούνται στους ελκυστήρες και τα βαρέα οχήματα. Το βιοαέριο αναμειγνύεται με τον αέρα καύσης σε έναν αναμεικτή αερίου. Αυτό το μείγμα περνά μέσω ενός συστήματος έγχυσης στο θάλαμο καύσης όπου αναφλέγεται από το εγχόμενο πετρέλαιο ανάφλεξης. Συνήθως, εγχέεται αυτόματα και καίγεται πετρέλαιο ανάφλεξης μέχρι 10%. Οι μηχανές προέγχυσης λειτουργούν με μεγάλη περίσσεια αέρα. Στην περίπτωση διακοπής του εφοδιασμού με βιοαέριο, οι μηχανές προέγχυσης μπορούν επίσης να λειτουργήσουν με καθαρό πετρέλαιο ανάφλεξης ή ντίζελ χωρίς οποιοδήποτε πρόβλημα. Μπορεί να είναι απαραίτητη η αντικατάσταση του βιοαερίου από πετρέλαιο ή ντίζελ κατά τη διάρκεια της φάσης εκκίνησης των μονάδων βιοαερίου για την παραγωγή θερμότητας διεργασίας. Το πετρέλαιο ανάφλεξης μπορεί να είναι είτε τα συμβατικά ντίζελ και πετρέλαιο θέρμανσης, είτε τα «ανανεώσιμα» βιοντίζελ (μεθυλεστέρας αγριοκράμβης) και φυτικό έλαιο. Το πλεονέκτημα των ανανεώσιμων ελαίων ανάφλεξης είναι ότι δεν περιέχουν διοξείδιο του θείου και εκπέμπουν λιγότερο μονοξείδιο του άνθρακα. Επιπλέον είναι βιοδιασπάσιμα, που είναι σημαντικό στην περίπτωση διαρροής υγρών και δημιουργίας κηλίδων.

Ωστόσο, εάν χρησιμοποιούνται βιοκαύσιμα πρέπει να ληφθούν υπόψη η μεγαλύτερη φθορά των φίλτρων, η απόφραξη των εκτοξευτήρων και το χαμηλότερο ιξώδες του φυτικού ελαίου. Ένα άλλο μειονέκτημα είναι η απελευθέρωση νιτρώδους οξειδίου. Σε κάθε περίπτωση, είναι σημαντικό να ακολουθούνται οι οδηγίες των κατασκευαστών των μηχανών όσον αναφορά στην ποιότητα του καυσίμου.

3.4. Μικροστρόβιλοι βιοαερίου

Στους μικροστρόβιλους βιοαερίου ο αέρας συμπιέζεται σε έναν θάλαμο καύσης, σε υψηλή πίεση και αναμειγνύεται με το βιοαέριο. Το μείγμα αέρα-βιοαερίου καίγεται και λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας, το αέριο μείγμα διαστέλλεται. Τα καυτά αέρια διέρχονται μέσω ενός στρόβιλου, ο οποίος συνδέεται με την ηλεκτρογεννήτρια. Η ηλεκτρική ισχύς των μικροστρόβιλων είναι εν γένει κάτω από 200 kWel. Σήμερα, οι μικροστρόβιλοι βιοαερίου είναι πάρα πολύ ακριβοί ώστε να είναι οικονομικά ανταγωνιστικοί, αλλά διεξάγεται έρευνα με το βιοαέριο και αναμένονται μακροπρόθεσμα μειώσεις στα κόστη.



3.5. Κυψέλες καυσίμου

Οι κυψέλες καυσίμου είναι ηλεκτροχημικές συσκευές που μετατρέπουν τη χημική ενέργεια μιας αντίδρασης άμεσα σε ηλεκτρική ενέργεια. Η βασική φυσική δομή (δομική μονάδα) μιας κυψέλης καυσίμου αποτελείται από μια στρώση ηλεκτρολύτη σε επαφή με μια πορώδη άνοδο και κάθοδο και στις δύο πλευρές. Σε μια χαρακτηριστική κυψέλη καυσίμου, το αέριο καύσιμο (βιοαέριο) τροφοδοτείται συνεχώς στο διαμέρισμα της ανόδου (αρνητικό ηλεκτρόδιο) και ένα οξειδωτικό (οξυγόνο από τον αέρα) τροφοδοτείται συνεχώς στο διαμέρισμα της καθόδου (θετικό ηλεκτρόδιο). Μια ηλεκτροχημική αντίδραση λαμβάνει χώρα στα ηλεκτρόδια, παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα.

3.6. Κατάλληλη ποιότητα βιοαερίου

Με σκοπό να χρησιμοποιηθεί σε μηχανές καύσης, οι ποιότητα του βιοαερίου θα πρέπει να ακολουθεί συγκεκριμένες προϋποθέσεις:

- Η περιεκτικότητα σε μεθάνιο πρέπει να είναι όσο το δυνατόν υψηλότερη καθώς το μεθάνιο αποτελεί την κύρια καύσιμη ύλη του βιοαερίου.
- Οι υδρατμοί και η περιεκτικότητα σε CO₂ θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν χαμηλότερα, αυτό γιατί οδηγούν σε χαμηλή θερμιδική αξία του βιοαερίου.
- Το περιεχόμενο σε θείο, κυρίως στην μορφή του υδρόθειου (H₂S), πρέπει να είναι χαμηλό, καθώς μετατρέπεται σε διαβρωτικά οξέα κατά την συμπύκνωση και καύση.

3.6.α) Μέθοδοι επίτευξης βέλτιστης ποιότητας βιοαερίου

Οι υδρατμοί μπορούν να μειωθούν με συμπύκνωση στον θάλαμο αποθήκευσης αερίου του αντιδραστήρα ή κατά την πορεία προς την μηχανή. Η μείωση της περιεκτικότητας υδρόθειου στο βιοαέριο μπορεί να επιτευχθεί μέσω διάφορων τεχνικών μεθόδων. Αυτοί μπορούν να προσδιοριστούν ως χημικοί, βιολογικοί, ή φυσικοί οι οποίοι χωρίζονται σε εσωτερικές και εξωτερικές μεθόδους. Ωστόσο, καθώς η εξάλειψη δεν απαιτείται για την χρήση σε ισχυρές μηχανές, οι παρακάτω απλές μέθοδοι έχουν εδραιωθεί:

Βέλτιστα σταθερή διαδικασία χώνευσης με συνεχή παροχή των απαραίτητων πρώτων υλών είναι αναγκαία για την παραγωγή ομογενούς ποιότητας βιοαερίου.

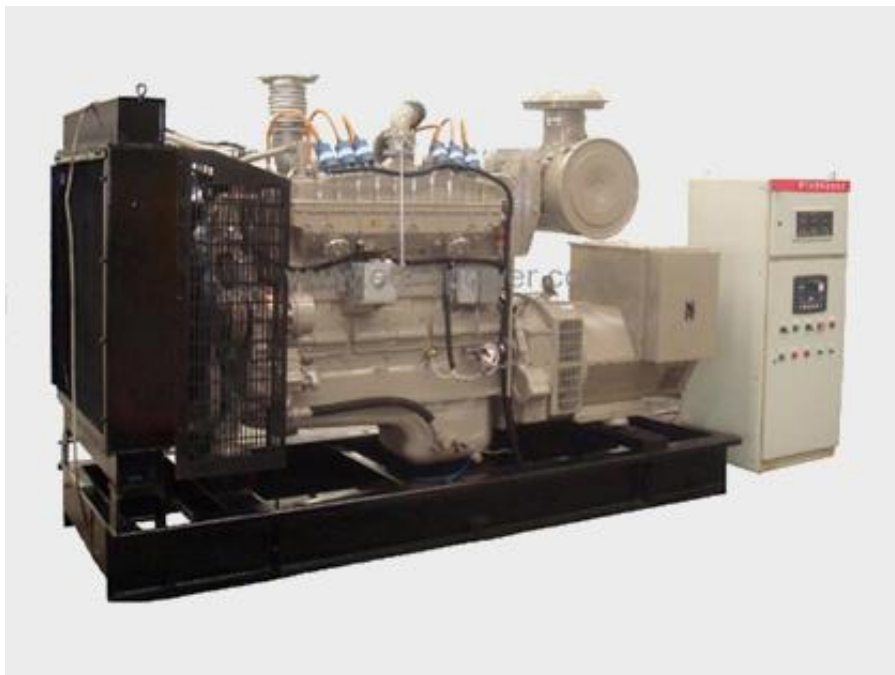
- Η έγχυση μικρής ποσότητας οξυγόνου μέσα στον κυρίως χώρο αντιδραστήρα χώνευσης οδηγεί στην οξείδωση του υδρόθειου από μικροοργανισμούς με αποτέλεσμα την εξουδετέρωση μίας σημαντικής ποσότητας θείου από το βιοαέριο. Αυτή αποτελεί την πιο συχνή μέθοδο αποθείωσης. Είναι οικονομική και μπορεί να εξαλείψει έως και το 95 % της περιεκτικότητας θείου στο βιοαέριο.
- Ακόμα μια επιλογή αποτελεί η εσωτερικά χημική κατεργασία σε φίλτρο. Το ενεργό υλικό μπορεί να είναι:

Υδροξείδιο του σιδήρου: $Fe(OH)_2 + H_2S \rightarrow FeS + 2 H_2O$. Η συγκεκριμένη διεργασία είναι αναστρέψιμη και το φίλτρο μπορεί να αναγεννηθεί προσθέτοντας οξυγόνο. Το υλικό απορρόφησης μπορεί να είναι πλούσιο σε σίδηρο χρώμα, απόβλητα από παραγωγή ατσαλιού ή αλουμινίου.

Ενεργός άνθρακας: Μερικές εταιρίες προμηθεύουν φίλτρα ενεργού άνθρακα σαν κομμάτι των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής.

IV. Επιλογή μηχανής συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας

KUMMINS 100kw Biogas Generator Set



4.1 Data sheet μηχανής Kummins 100 KW biogas generator set

Engine Model	KUMMINS 6CT
Type	6 cylinders in line
Bore * Stroke (mm)	114*134
Displacement(L)	8.3
Compression ratio	10.5:1
Rated speed(rpm)	1500/1800
Inlet type	Naturally aspirated
Cooling type	Cooling water tank

Fuel System	Low and high pressure
ESC Type	Special for U.S. GAC Biogas
Ignition sequence	1-5-3-6-2-4
The allowed maximum speed(Biogas supply closed at this time)	2160rpm
The allowed maximum rotating speed (The ignition system shut down at this time)	2160 rpm
Oil Capacity	23.8 L
Cooling water capacity	24.3 L
Maximum engine back pressure	10.2 kpa
Gas consumption(m ³ /kw·h)	< 0.5
Rough oil consumption(g/kWh)	<1.2
Radiator and oil cooler heat	29 KW
Exhaust pipe heat radiation	46 KW
Engine thermal radiation	10 KW
Alternator thermal radiation	8 KW
Cooling water temperature	95 Deg C
Oil temperature	< 120 Deg C
Exhaust pipe heat energy (above 120 ° C section)	90 KW
Exhaust temperature (before vortex)	670±15 Deg C
Exhaust Flow	900 m ³ /h
Fan exhaust flow	5.8 m ³ /s
Noise level from 1 m	<100 db(A)

Alternator of KUMMINS EG100B Biogas Generator Set	
Alternator Model	Engga EG225L-100N
Excitation Method	Brushless Permanent Magnet
Winding pitch	2/3 pitch
Number of poles	4
Bearing number	1
Stator Windings	12 ends
Insulation Class	H class
Protection class	IP 21 or IP 23
Load type	Continuous operation
AVR Model	WT-2
Alignment	Fly wheel
Temperature Range	Less than 125 degrees Celsius
Overload Capacity- the percentage of rated power	110%

Waveform distortion rate, no-load	< 5%
Voltage Regulation Mode	AVR
Voltage Regulation Range	±5%
Steady State Voltage Regulation	±1%
No-load line voltage sine wave distortion	±2%
Telephone interference factor (TIF)	< 50

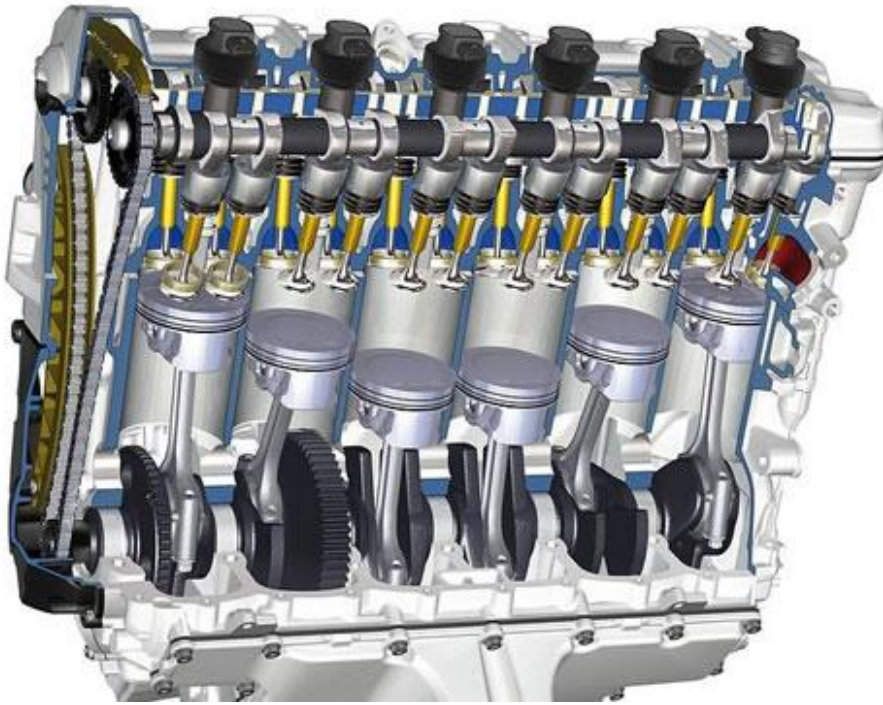
KUMMINS EG100B Biogas Generator Set	
Rated Output(KW)	100
Standby Output(KW)	110
Voltage(V)	400
Current(A)	180
Size(mm)	2500*950*1535
Approximate weight(KG)	1400
Emission levels (Nox)	Euro II emission(mg/m ³)
Naturally aspirated engine intake air temperature	None
Air temperature before entering the air to air intercooler	82-87(Deg C)
Air temperature after entering the air to air intercooler	35-42(Deg C)
Rated Power @ 0.8 power factor (w / pump s and w / o fan)	100KW (continuous operation)
Total energy input (100% load)	288(KW)
Electrical efficiency	34.80%
Thermal efficiency	84.00%
Control panel(Deepsea or others)	Synchronizing Control, Multilingual Mode Digital Control, Diagnostic Function, Direct Text Indicate of Faults, MOBUS Communication Protocol, Compatible Communication, Exchange Telecommunications, Wired Control Data Output, Automatic or manual start

4.2. Περιγραφή επιμέρους τμημάτων της μηχανής εσωτερικής καύσης KUMMINS 6CT

4.2.α) Συστοιχία έξι κυλίνδρων (6 cylinders in-line)

Ο straight-six κινητήρας ή inline-six κινητήρας (σε συντομογραφία συχνά I6 ή L6) είναι μια μηχανή εσωτερικής καύσεως με κυλίνδρους τοποθετημένους σε ευθεία γραμμή κατά μήκος του κορμού με όλα τα έμβολα να οδηγούν ένα κοινό στροφαλοφόρο άξονα. Η συστοιχία των κυλίνδρων μπορεί να προσανατολιστεί σε οποιαδήποτε γωνία,

και όπου έχει κάθετη κλίση, ο κινητήρας ονομάζεται μερικές φορές και slant-six. Η εξακύλινδρη διάταξη είναι η απλούστερη διάταξη κινητήρα και διαθέτει τόσο πρωτοβάθμια αλλά και δευτεροβάθμια μηχανική ισορροπία κινητήρα, με αποτέλεσμα πολύ λιγότερους κραδασμούς από τους κινητήρες με μικρότερο αριθμό κυλίνδρων.



4.2.β) Ατμοσφαιρικός κινητήρας (naturally aspirated engine)

Ένας ατμοσφαιρικός κινητήρας είναι ένας κινητήρας εσωτερικής καύσης, στον οποίο η πρόσληψη καυσίμου εξαρτάται αποκλειστικά από την ατμοσφαιρική πίεση. Σε έναν ατμοσφαιρικό κινητήρα, αέρας για την καύση ή μια μίξη αέρα και καυσίμου οδηγείται προς τους κυλίνδρους των μηχανών από την ατμοσφαιρική πίεση που επενεργεί έναντι ενός μικρού κενού που εμφανίζεται καθώς το έμβολο κινείται προς τα κάτω κατά τη διάρκεια της επαγωγικής διαδρομής. Λόγω του έμφυτου περιορισμού στο σωλήνα εισαγωγής του κινητήρα ο οποίος περιλαμβάνει την πολλαπλή είσοδο, μια μικρή πτώση πίεσης λαμβάνει χώρα καθώς ο αέρας αναρροφάται, με αποτέλεσμα μια ογκομετρική απόδοση μικρότερη από 100 τοις εκατό - και μία μικρότερη από πλήρης φόρτιση αέρα στον κύλινδρο. Η πυκνότητα του αέρα τροφοδοσίας, και επομένως η μέγιστη θεωρητική απόδοση του κινητήρα ισχύος, εκτός του ότι επηρεάζονται από τον περιορισμό του συστήματος επαγωγής, επηρεάζονται επίσης από την ταχύτητα του κινητήρα και την ατμοσφαιρική πίεση. Η τελευταία μειώνεται καθώς αυξάνεται το ύψος λειτουργίας.

Ο ατμοσφαιρικός κινητήρας έρχεται σε αντίθεση με έναν επαγωγικό κινητήρα,

στον οποίο ένας μηχανικά οδηγούμενος turbocharger, ή ένας turbocharger εξάτμισης χρησιμοποιείται για να διευκολύνει την αύξηση της μάζας του αέρα εισαγωγής πέραν αυτού που θα μπορούσε να παραχθεί από την ατμοσφαιρική πίεση και μόνο.

Εφόσον ένας δίχρονος κινητήρας ντίζελ είναι ανίκανος για φυσική αναρρόφηση, όπως ορίζεται παραπάνω, μία μέθοδος φόρτισης των κυλίνδρων με αέρα σάρωσης θα πρέπει να ενσωματωθεί στο σχεδιασμό του κινητήρα. Αυτό επιτυγχάνεται συνήθως με ένα φουσητήρα θετικής μετατόπισης που κινείται από τον στροφαλοφόρο άξονα. Ο φουσητήρας δεν ενεργεί ως ένας υπερσυμπιεστής στην παρούσα κατάσταση, καθώς έχει διαστασιολογηθεί έτσι ώστε να παραχθεί ένας όγκος της ροής του αέρα που είναι σε άμεση αναλογία με τις απαιτήσεις του κινητήρα για καύση, με μία δεδομένη δύναμη και ταχύτητα. Έχει εδραιωθεί από τους ορισμούς των Society of Automotive Engineer's * ότι μια δίχρονη diesel μηχανή σάρωσης θεωρείται ατμοσφαιρική.

4.2.γ) Καλοριφέρ (Radiator) – Ψύξη μηχανής

Είναι σώματα που χρησιμοποιούνται για την ψύξη των κινητήρων εσωτερικής καύσης. Οι μηχανές εσωτερικής καύσεως συχνά ψύχονται περνώντας ένα υγρό που ονομάζεται ψυκτικό μέσα στο μπλοκ του κινητήρα, όπου θερμαίνεται, στη συνέχεια, μέσα από ένα θερμομαντικό σώμα όπου χάνει θερμότητα στην ατμόσφαιρα, και στη συνέχεια πίσω στον κινητήρα σε ένα κλειστό βρόχο. Το Ψυκτικό υγρό του κινητήρα είναι συνήθως νερό, αλλά μπορεί επίσης να χρησιμοποιείται και πετρέλαιο. Είναι σύνηθες να χρησιμοποιείται μια αντλία νερού για να αναγκάζει το ψυκτικό υγρό του κινητήρα να κυκλοφορεί, καθώς επίσης και μια αξονική ανεμιστήρα για να αναγκάζει τον αέρα να περνά μέσω του ψυγείου.

4.2.δ) Το σύστημα εξάτμισης αερίου

Αποτελείται από:

- Ένα σιγαστήρα εξάτμισης αερίου, σχεδιασμένο για σταθερό επίπεδο πίεσης 65 dB(A) στα 10m (32 πόδια)
- Ένα σωλήνα εξάτμισης αερίου ανάμεσα στη φλάντζα εξόδου της μηχανής αερίου και του σκέπαστρου για τη βροχή, 2 μέτρα πάνω από την οροφή του container
- τις απαραίτητες φλάντζες
- μια εύκαμπτη φυσούνα
- τις γωνίες των σωλήνων
- τα στεγανωτικά
- και τη θερμομόνωση

* Είναι μια παγκόσμια ένωση συγκέντρωσης των πόρων στον κόσμο για το σχεδιασμό, την κατασκευή, λειτουργία και συντήρηση των αυτοκινήτων, αεροσκαφών, διαστημικών οχημάτων.

4.2.ε) Intercooler

Τα Intercoolers αυξάνουν την αποτελεσματικότητα του συστήματος επαγωγής μειώνοντας την θερμική επαγωγή αέρα που δημιουργείται από τον υπερσυμπιεστή ή turbocharger και προωθούν μια πιο εμπειριστατωμένη καύση. Αυτό αφαιρεί τη θερμότητα της συμπίεσης (δηλαδή, την άνοδο της θερμοκρασίας) που εμφανίζεται σε οποιοδήποτε αέριο όταν η πίεση του αυξάνεται ή η μονάδα μάζας του ανά μονάδα όγκου (πυκνότητα) αυξάνεται. Μία μείωση στην θερμοκρασία του εισερχόμενου αέρα διατηρεί ένα πιο πυκνό φορτίο εισαγωγής στον κινητήρα, ως αποτέλεσμα της αναγκαστικής επαγωγής. Η μείωση του φορτίου θερμοκρασίας του αέρα εισαγωγής καταργεί επίσης τον κίνδυνο εκ των προτέρων έκρηξης (knock) του φορτίου καυσίμου / αέρα πριν από την χρονομετρημένη ανάφλεξη σπινθήρα. Αυτό διατηρεί τα πλεονεκτήματα της περαιτέρω καύσης καυσίμου / αέρα ανά κύκλο του κινητήρα, αυξάνοντας την έξοδο του κινητήρα.

Οι Intercoolers έχουν επίσης εξαλείψει την ανάγκη για τη χρήση της σπάταλης μεθόδου μείωσης της προσλαμβανόμενης θερμοκρασίας επιβαρύνοντας από την έγχυση του καυσίμου σε θαλάμους αέρα εισαγωγής των κυλίνδρων, για την ψύξη του αέρα τροφοδοσίας εισαγωγής, πριν από την ροή του μέσα στους κυλίνδρους. Η σπάταλη αυτή πρακτική (όταν intercoolers δεν χρησιμοποιούνται) έχει εξαλείψει σχεδόν το κέρδος στην απόδοση του κινητήρα από την αναγκαστική επαγωγή, αλλά επιβλήθηκε καθώς παρουσιάστηκε μεγαλύτερη ανάγκη στο να αποφευχθεί πάση θυσία η βλάβη του κινητήρα που οι εκ των προτέρων εκρήξεις του δημιουργούν.

4.2.στ) Εναλλάκτης Engga EG225L-100N



Data sheet

THREE-PHASE SYNCHRONOUS GENERATOR

Datasheet For 50Hz @ 1500rpm / 60Hz @ 1800rpm

EG225L-100N

Electrical and Mechanical Characteristic

Frequency				Hz	50				60			
Voltage (series star)				V	380	400	415	380	416	440	460	480
Rated power at Class H (125° C) temperature rise				kVA	125	125	125	125	130	137.5	143.75	150
				kW	100	100	100	100	104	110	115	120
Efficiency at Class H (P.F.=0.8)				4/4%	0.9041	0.8320	0.9071	0.9053	0.9119	0.9143	0.9158	0.9165
				3/4%	0.9044	0.8913	0.9039	0.906	0.9112	0.913	0.9138	0.9138
				2/4%	0.8927	0.9053	0.8874	0.8951	0.8987	0.8999	0.9	0.8989
				1/4%	0.8373	0.9063	0.8232	0.8414	0.8438	0.8443	0.8433	0.8403
Reactance at Class H												
Short-circuit ratio				Kcc	0.448	0.536	0.646	0.342	0.406	0.441	0.481	0.536
Direct axis synchronous reactance unsaturated				Xd	2.829	2.553	2.361	3.395	2.939	2.785	2.664	2.553
Quadrature axis synchronous reactance unsaturated				Xq	1.276	1.151	1.064	1.531	1.325	1.256	1.201	1.151
Open circuit time constant (sec.)				T'do	1.127	1.127	1.127	1.127	1.127	1.127	1.127	1.127
Direct axis transient reactance saturated				X'd	0.104	0.094	0.087	0.125	0.108	0.102	0.098	0.094
Short-circuit transient time constant (sec.)				T'd	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041
Direct axis subtransient reactance saturated				X''d	0.097	0.088	0.081	0.117	0.101	0.096	0.092	0.088
Subtransient time constant (sec.)				T''d	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
Quadrature axis subtransient reactance saturated				X''q	0.18	0.162	0.15	0.216	0.187	0.177	0.169	0.162
Zero sequence reactance unsaturated				X0	0.005	0.004	0.004	0.006	0.005	0.005	0.004	0.004
Leakage reactance				X1	0.067	0.061	0.056	0.081	0.07	0.066	0.063	0.061
Negative sequence reactance saturated				X2	0.014	0.13	0.12	0.17	0.14	0.14	0.13	0.13
Armature time constant (sec.)				Tα	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
No load excitation current				io(A)	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1	1	1.1
Full load excitation current				ic(A)	3	3	3	3	3	3.1	3.1	3.1
Full load excitation voltage				uc(V)	23	23	23	25	25	25	25	25
No load losses				W	1290	1370	1470	1570	1720	1820	1900	1980
Heat dissipation at full load at Class H				W	9230	8910	8910	9120	8710	8960	9190	9500
Short Circuit Current Capacity				%					>300			
Recovery time				s					0.5			
Waveform : TIF									<50			
Waveform : THF									<2%			

Winding Pitch								2/3				
Voltage regulation								+/- 1%				
AVR Model								WT-2				
Duty								Continuous				
Number of Terminal								12				
Number of Poles								4				
Class of Insulation								H				
Class of Temperature Rise								H				
Altitude								1000m				
Rated Power Factor								0.8				
Execution								Brushless				
Stator winding								12 ends				
Rotor								with damping cage				
Overload								110% rated load for 1 hour				
								≤				
Stator Winding Resistance (20)								ohm	0.03369	0.03369	0.03369	0.03369
Rotor winding Resistance (20)								ohm	1.39795	1.39795	1.39795	1.39795
Exciter Resistance (20)								ohm	7.118	7.118	7.118	7.118
Cooling air requirement								m ³ /min	22.3	22.3	22.3	26.8
Energy Storage Constant (H)								sec.	0.10161	0.10161	0.101619	0.14633
Method of Cooling									IC 01			
Ambient Temperature								°C	40			
Sense of Rotation									Counter-clockwise			
Type of Construction									Single / Double bearing			
Degree of Protection / Enclosure									IP21 or IP23			
Maximum Overspeed								rpm	2250			

Data and Technical Specification are subject to change in order to update or improve the products, without prior notice

°C

4.2.ζ) Σύστημα εισόδου και εξόδου αέρα

Σταθερό επίπεδο πίεσης:

Με το σύστημα άμβλυνσης του ήχου που είναι εγκατεστημένο στο container μπορεί να διατηρείται ο ήχος στα 65 dB(A) στα 10 m απόστασης από τα ανοίγματα εισόδου κι εξόδου του αέρα.

Λειτουργία:

Εξασφάλιση του απαραίτητου αέρα για την καύση στις μηχανές. Εξασφάλιση επίσης κι εξάτμιση του απαραίτητου κρύου αέρα για εξουδετέρωση της ακτινοβολούμενης θερμότητας από τη μηχανή και τη γεννήτρια.

Το σύστημα εισόδου αέρα (louver) αποτελείται από:

- Σύστημα προστασίας από τις καιρικές συνθήκες
- Ένα κάλυμμα για προστασία από τη βροχή.
- Ένα Louver εκφορτωτή.
- Ένα σύστημα άμβλυνσης του ήχου.
- Ένα ανεμιστήρα εισόδου που περιλαμβάνει μηχανή και έλεγχο.

Τα πτερύγια στις γρίλιες εισόδου του αέρα ανοίγουν αυτόματα μόλις ξεκινήσει η μηχανή. Τα πτερύγια στις γρίλιες εξόδου ανοίγουν μόνο όταν η θερμοκρασία δωματίου φτάσει στο σημείο που θα αρχίσει να λειτουργεί ο ανεμιστήρας εισόδου.

4.2.η) Σύστημα ελέγχου

Deep Sea control Panel



ο Περιγραφή:

Το μοντέλο 5220 είναι μια αυτόματη μονάδα ελέγχου αποτυχίας του δικτύου (διακοπής ρεύματος). Η μονάδα αυτή χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της κύριας παροχής ρεύματος και στο να ξεκινάει αυτόματα μια μονάδα συμπαραγωγής ενέργειας που είναι σε κατάσταση αναμονής. Η μονάδα παρέχει επίσης ένδειξη της κατάστασης λειτουργίας και βλαβών, σβήνοντας αυτόματα το συγκρότημα ηλεκτροπαραγωγής και υποδεικνύοντας τις αποτυχίες μέσω μιας οθόνης LCD, καθώς και μέσω κατάλληλων LED που αναβοσβήνουν στον μπροστινό πίνακα.

Επιλεγμένα χρονόμετρα και συναγερμοί μπορούν να τροποποιηθούν από τον πελάτη από τον μπροστινό πίνακα. Οι μεταβολές στο σύστημα επιτυγχάνονται χρησιμοποιώντας το 810 interface και έναν υπολογιστή. Αυτή η διεπαφή (interface) παρέχει διάγνωση σε πραγματικό χρόνο. Είναι επίσης δυνατόν να παρακολουθείται η λειτουργία του συστήματος είτε τοπικά ή εξ αποστάσεως. (Κατ' επιλογή: Remote Communications εξόδου μόνο).

- ο Εύκολος έλεγχος από μπουτόν

Η λειτουργία της μονάδας είναι μέσω μπουτόν ελέγχου (με δυνατότητα κλειδώματος ασφαλείας) τοποθετημένο στο εμπρόσθιο πάνελ με STOP / RESET, AUTO, MANUAL και START μπουτόν. Τα τρία πρώτα κουμπιά διαθέτουν επιλεγμένες LED ενδείξεις. Τα περαιτέρω πλήκτρα παρέχουν LCD display scroll και Event log view λειτουργίες.

- ο Έλεγχος από μικροεπεξεργαστή

Η μονάδα διαθέτει 16-Bit μικροεπεξεργαστή ελέγχου και μια ολοκληρωμένη λίστα από χρονόμετρα και προ-ρυθμισμένες ακολουθίες. Αυτό επιτρέπει απαιτητικές προδιαγραφές που πρέπει να επιτευχθούν. Ρυθμιζόμενες εγκαταστάσεις επέκτασης επίσης διατίθενται.

- ο Μετρήσεις

Η μονάδα 5220 παρέχει μετρήσεις μέσω της οθόνης LCD με τις παρακάτω ενδείξεις των οργάνων, που είναι προσβάσιμες μέσω των κουμπιών της οθόνης LCD SCROLL.

Απεικονίζονται η τάση (Volt) της γεννήτριας L1 L1-N, η τάσεις N-L2, L3-N L1-L2, L2-L3, L3-L1, τα ρεύματα της γεννήτρια, L2, L3 και η συχνότητα της γεννήτριας σε Hz.

Οι Στροφές του κινητήρα σε RPM μονάδες. Η πίεση του λαδιού του κινητήρα. Η στάθμη των καυσίμων (%).

Η Θερμοκρασία του κινητήρα, η τάση (Volts) των εργοστασιακών μπαταριών, οι ώρες λειτουργίας της γεννήτριας, η φαινόμενη ισχύς (KVA), η πραγματική ισχύς της γεννήτριας σε kW και το $\cos\theta$.

Μετρούνται επίσης η τάσεις δικτύου L1-N, L2-N, L3-N και L1-L2, L2, L3, L3-L1 αλλά και η συχνότητα δικτύου (Hz).

- ο Ημερολόγιο Συμβάντων

Οι οθόνες των οργάνων συμπληρώνονται περαιτέρω με την επιλογή EVENT LOG VIEW, η οποία δείχνει τα τελευταία 15 συμβάντα τερματισμού μαζί με την ημέρα και ώρα του τερματισμού.

- ο Ενδείξεις των LED

Τα «Hid-'til-lit» εικονίδια χρησιμοποιούνται για να δείξουν την παρουσία συνθηκών συναγερμού που ανιχνεύονται από τη μονάδα.

Επιπλέον 4 μη διατεθέντα τμήματα LCD επιτρέπουν στον χρήστη να ρυθμίσει τη μονάδα να παρέχει άλλες ενδείξεις κατάστασης είτε από εσωτερικές καταστάσεις είτε από εξωτερικές ψηφιακές εισόδους.

- ο Ψηφιακές εισοδοί

Η μονάδα δέχεται τις ακόλουθες ψηφιακές εισόδους:

Επείγουσα είσοδος Διακοπής - A N / C DC θετική είσοδος

Πλήρως παραμετροποιήσιμες εισοδοί προειδοποίησης ή κλεισίματος.

Με την εξαίρεση της εισόδου διακοπής έκτακτης ανάγκης, αυτές μπορούν να ρυθμιστούν για να είναι είτε N / C ή N / O επαφές που συνδέονται με το DC-Ve. Οι έξι πλήρως παραμετροποιήσιμες βοηθητικές εισοδοί μπορούν να επιλεγούν ως ένδειξη, προειδοποιητικές εισοδοί ή εισοδοί τερματισμού είτε άμεσες είτε με καθυστέρηση κατά την εκκίνηση για να καταστεί δυνατή η χρήση των εισόδων επέκτασης της προστασίας. Εναλλακτικά, μπορεί να ρυθμιστούν ώστε να ελέγχουν επιπλέον λειτουργίες, όπως η δοκιμή Lamp ή Είσοδος απομακρυσμένης Έναρξης, και πολλά άλλα – μπορεί να ανατρέξει στα κατάλληλα εγχειρίδια για λεπτομέρειες.

- ο Αναλογικές εισοδοί

Αυτές οι εισοδοί παρέχονται για την πίεση λαδιού, την θερμοκρασία κινητήρα και την στάθμη των καυσίμων. Αυτά συνδέονται με μονάδες αποστολής τοποθετημένες στον κινητήρα (όπως VDO ή Datcon Type) έτσι ώστε να παρέχουν ακριβή παρακολούθηση και εγκαταστάσεις προστασίας. Εναλλακτικά, μπορεί να ρυθμιστούν να διασυνδέονται με ψηφιακούς διακόπτες εισόδου για χαμηλή πίεση λαδιού και υψηλή θερμοκρασία του κινητήρα εκτός λειτουργίας. Ο δείκτης της στάθμης καυσίμου παρέχει ένα συναγερμό χαμηλής στάθμης καυσίμου, και λογική ελέγχου μεταφοράς της αντλίας.

- ο Έξοδοι ρελέ

Αυτές οι εισοδοί παρέχονται για την έξοδο της ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας καυσίμων, την έξοδο εκκίνησης και για τρεις ρυθμιζόμενες εξόδους. Οι λειτουργίες ρύθμισης ρελέ μπορούν να επιλεγούν από μια σειρά από διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας, ή συναγερμούς. Επιπλέον ρελέ εξόδου μπορεί να προστεθούν μέσω μιας

μονάδας 157 Επέκτασης Relay. Συνολικά 11 έξοδοι είναι διαθέσιμοι με πλήρη ανάπτυξη της ενότητας 5220. Αυτό επιτρέπει στο σύστημα να ενσωματωθεί στην υπάρχουσα τηλεμετρία ή τα συστήματα διαχείρισης κτιρίων μέσω επαφών χωρίς τάση. Ανατρέξτε στα κατάλληλα εγχειρίδια για λεπτομέρειες.

ο Προδιαγραφές

DC Supply:

8 to 35 V Continuous.

Cranking Dropouts:

Able to survive 0 V for 50 mS, providing supply was at least 10 V before dropout and supply recovers to 5V. *This is achieved without the need for internal batteries.*

Max. Operating Current:

425mA at 12 V & 215mA at 24 V.

Max. Standby Current:

250 mA at 12 V & 125 mA at 24 V.

Alternator Input Range:

75V(ph-N) to 277V(ph-N) AC (+20%)

Alternator Input Frequency:

50 - 60 Hz at rated engine speed (Minimum: 15V AC Ph-N)

Magnetic Pick-up Voltage Input Range:

+/- 0.5 V to 70 V Peak

Magnetic Input Frequency: 10,000 Hz (max)

Start Relay Output:

16 Amp DC at supply voltage.

Fuel Relay Output:

16 Amp DC at supply voltage.

Auxiliary Relay Outputs:

5 Amp DC at supply voltage.

Dimensions:

240mm x 172mm x 57mm (9½" x 6¾" x 2¼")

Charge Fail / Excitation Range:

0 V to 35 V

Operating Temperature Range:

-30 to +70°C

Mains Sensing Input Range:

15V(ph-N) to 277V(ph-N) AC (+20%)

Mains Sensing Input Frequency:

50 - 60 Hz

Generator loading Relay Output:

8 Amp AC 250V.

Mains loading Relay Output:

8 Amp AC 250V

ο Λειτουργίες χρονομέτρων και εισόδων

Έναρξη χρονομέτρου καθυστέρηση

Διακοπή χρονοδιακόπτη καθυστέρησης

Crank / Crank υπόλοιπα χρονόμετρα

Ενεργοποίηση προσπάθειας και χρονικό όριο χειροκίνητης μανιβέλας

Ασφάλεια στο χρονοδιακόπτη καθυστέρησης

Warm-up χρονόμετρο

Χρονόμετρο ψύξης

Ενεργοποίηση για να σταματήσει ο hold χρονοδιακόπτης

Προθέρμανση χρονομέτρου / Προθέρμανση του χρονομέτρου παράκαμψης

Καπνός που περιορίζει τα χρονόμετρα ελέγχου

Χρονοδιακόπτης αποτυχίας σταματήματος.

Υπερβολικής ταχύτητας χρονόμετρο υπέρβασης

Breaker χρονόμετρα ελέγχου παλμού

Χρονόμετρα ειδοποίησης καθυστέρησης με DC μπαταρία.

V. Σχεδιασμός αντιδραστήρα

5.1. Επιλογή τύπου αντιδραστήρα AX (CSTR)

Όπως αναφέρθηκε εισαγωγικά, τρεις είναι οι κύριοι τύποι αντιδραστήρων που διατείνονται στο εμπόριο: Ο Αντιδραστήρας CSTR (Continuously stirred tank reactor), ο UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) και ο Plug flow (Εμβολικής ροής).

Ο κύριος θάλαμος του αντιδραστήρα ενός συμβατικού χωνευτή αγροκτήματος μεσαίας παραγωγής είναι συνήθως διαμορφωμένος σε μια μορφή σιλό, σε ένα επίμηκες σωληνοειδής μορφής, ή σε μορφή πετάλου, ανάλογα με το σχεδιασμό του αντιδραστήρα. Οι κατασκευές είναι συνήθως από σκυρόδεμα, με εξαρτήματα θέρμανσης στερεωμένα στα τοιχώματα. Ζεστό νερό κυκλοφορεί μέσω των σωληνώσεων σε αυτά τα εξαρτήματα θέρμανσης ή εναλλάκτες θερμότητας μέσα στο χωνευτή, τα οποία διατηρούν μια σταθερή θερμοκρασία χώνευσης της κλίμακας των 30 έως 40 βαθμών Κελσίου. Ο

θάλαμος σφραγίζεται για να διατηρεί αναερόβιες συνθήκες. Η Ανάμιξη γίνεται με μηχανικά μέσα (τροχοί με πτερύγια) ή με έγχυση αερίου ή μπορεί και να μην συμβαίνει, και πάλι ανάλογα με τον τύπο του αντιδραστήρα. Ο CSTR είναι σχεδιασμένος να χρησιμοποιεί μηχανική ανάμιξη του αερίου, ενώ ο εμβολικής ροής (Plug flow) αντιδραστήρας βασίζεται στην μεταγωγή στο εσωτερικό του θαλάμου χώνευσης μέσω της καθίζησης των στερεών και της τριβής των λυμάτων που κινούνται ενάντια στα τοιχώματα χώνευσης για την προώθηση των αποβλήτων σε ανάμειξη.

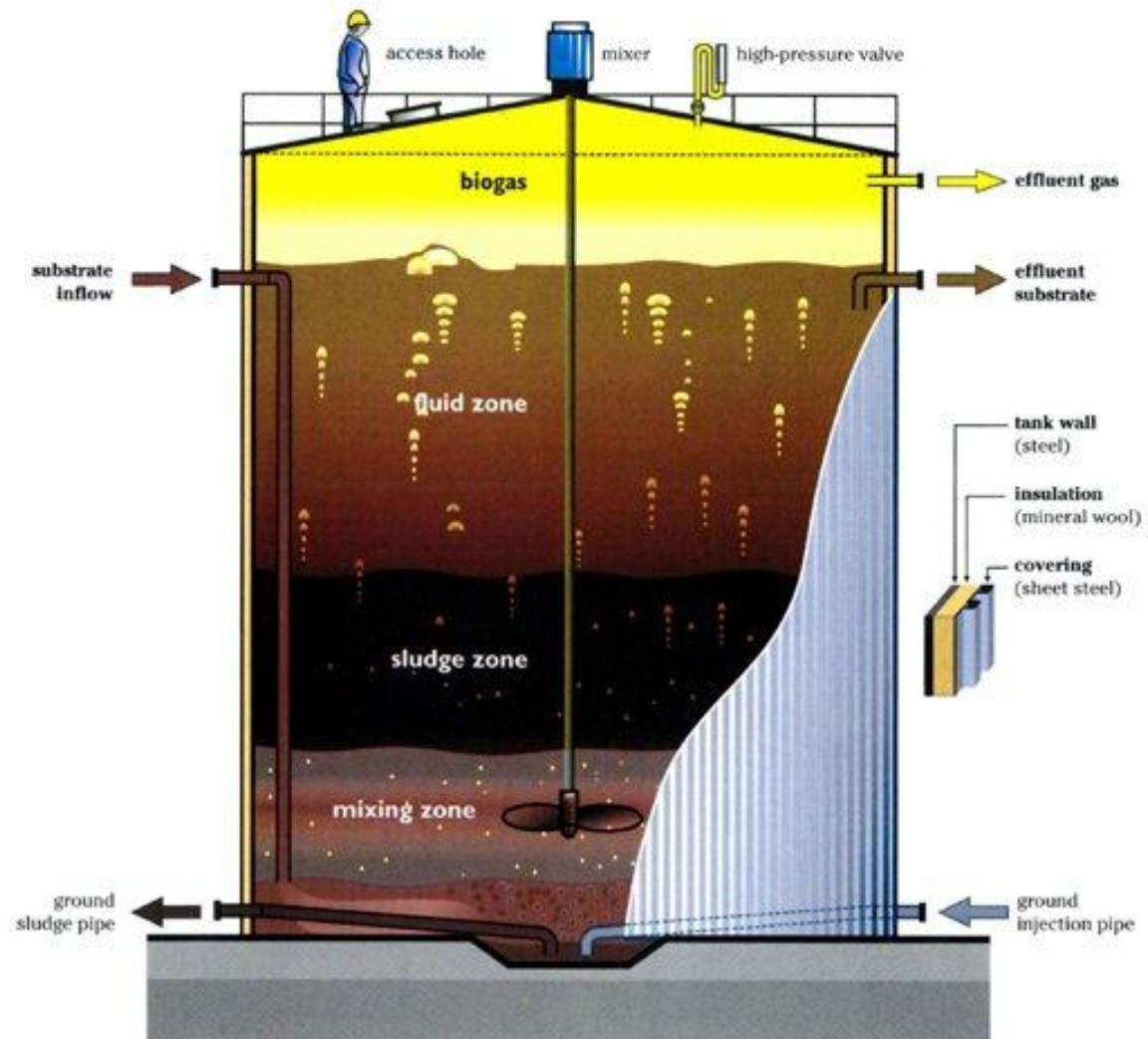
Το επάνω μέρος του θαλάμου χώνευσης είναι διαμορφωμένο έτσι ώστε να συσσωρεύεται το βιοαέριο. Το βιοαέριο φεύγει από την κορυφή του θαλάμου για να οδηγηθεί στην μηχανή καύσης. Συνήθως το βιοαέριο απομακρύνεται από τον αντιδραστήρα με τον ίδιο ρυθμό με τον οποίο παράγεται. Ορισμένοι CSTRs αντιδραστήρες ενσωματώνουν μία εσωτερική πλωτή οροφή υπό τη μόνιμη στέγη που επιτρέπει την προσωρινή υπό πίεση αποθήκευση του βιοαερίου έως και 24 ώρες.

Η παρούσα μελέτη αφορά την διαστασιολόγηση αντιδραστήρα αναερόβιας χώνευσης μονάδας επεξεργασίας χοιροτροφικών αποβλήτων. Ως εκ τούτου μετά από εκτενή μελέτη όλων των τύπων αντιδραστήρων, ο CSTR κρίθηκε κατάλληλος για τις απαιτήσεις του έργου (είδος λυμάτων προς επεξεργασία, προϋπολογισμός κτλ.).

CSTR (Continuously stirred tank reactor)

Ο CSTR σχεδιάζεται ως ένα κυλινδρικό σιλό, με μεγάλο όγκο στην επιφάνεια σε σχέση με τον συνολικό του χώρο, στοχεύοντας στην ελαχιστοποίηση των απωλειών θερμότητας κατά την χώνευση. Τέσσερα έως δέκα τοις εκατό συνολικά στερεά (TS) αποβλήτων τροφοδοτούνται στον χωνευτή ημερησίως, με αποτέλεσμα την μετατόπιση από τον χωνευτή ενός ισοδύναμου όγκου αποβλήτων από το εσωτερικό του αντιδραστήρα. Για τα πολύ υψηλά σε περιεκτικότητα ολικών στερεών (TS) απόβλητα, κάποια αραίωση στην δεξαμενή αναμίξεως απαιτείται. Τα λύματα αναμιγνύονται καλά στον χωνευτή μέσω της χρήσης μηχανικής ανάμιξης ή έγχυσης αερίου, η οποία περιορίζει την καθίζηση των στερεών, διατηρεί τα βακτήρια σε συνεχή επαφή με το υπόστρωμα λυμάτων, και διατηρεί μία βέλτιστη θερμοκρασία για την πέψη σε όλα τα μέρη του χωνευτή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ταχύτερη βιολογική αποδόμηση των τροφοδοτούμενων οργανικών αποβλήτων από ό, τι συμβαίνει με τον αντιδραστήρα εμβολικής ροής.

Δεδομένου ότι μπορεί να δεχθεί απόβλητα ενός ευρύ φάσματος συνολικής περιεκτικότητας σε στερεά (4 έως 10%), ο σχεδιασμός CSTR μπορεί να αντέξει περισσότερο τις περιοδικές μεταβολές στην περιεκτικότητα TS των τροφοδοτούμενων αποβλήτων από τον αντιδραστήρα εμβολικής ροής.



5.2. Απαραίτητες παράμετροι για την διαστασιολόγηση του αντιδραστήρα

Κατά την επεξεργασία αποβλήτων στην βιομηχανία και την γεωργία, η αναερόβια χώνευση σχεδιάζεται ως μια συνεχή διεργασία. Όσα απόβλητα επεξεργάζονται τόσα παράγονται με αποτέλεσμα να αποφεύγεται η προσωρινή αποθήκευση. Η διεργασία είναι συνήθως σχεδιασμένη ώστε να δέχεται μια συνεχή παροχή αποβλήτων. Οι προϋποθέσεις για μια ισορροπημένη εκκόλαψη των βακτηρίων δημιουργούνται και συντηρούνται σε ελεγχόμενες συνθήκες μιας μηχανικής δομής, που είναι ένας αντιδραστήρας επεξεργασίας αποβλήτων. Η επεξεργασία των αποβλήτων είναι σταθερή τόσο στο εσωτερικό του αντιδραστήρα όσο και κατά τις καθημερινές διεργασίες.

Οι ελάχιστες προϋποθέσεις που απαιτούνται στον αντιδραστήρα επεξεργασίας ή στον αντιδραστήρα τύπου lagoon περιλαμβάνουν: αναερωβίωση, θερμοκρασία

τουλάχιστον 25 βαθμών Κελσίου. Επίσης τόσο τα πτητικά λιπαρά οξέα όσο και τα επίπεδα της αμμωνίας πρέπει να μετρούνται κάτω από τα επίπεδα κατωφλίου για την τοξικότητα στους μεθανογόνους πληθυσμούς στο χωνευτή. Η Αναερόβια χώνευση επεξεργασίας οργανικών αποβλήτων έχει σχεδιαστεί γύρω από τέσσερις βασικές παραμέτρους: την θερμοκρασία χώνευσης, την συνολική περιεκτικότητα εισροής σε στερεά απόβλητα, τον χρόνο παραμονής αποβλήτων και τον ρυθμό οργανικής φόρτισης του χωνευτή.

5.2.α) Θερμοκρασία του αντιδραστήρα

Η βελτιστοποιημένη θερμοκρασία σε ένα εν λειτουργία αντιδραστήρα για την επεξεργασία των αποβλήτων βρίσκεται στην ή κοντά στην βέλτιστη θερμοκρασία για μέγιστη ανάπτυξη βακτηριδίων. Για τα βακτήρια που είναι παρόντες κατά τη διάρκεια της αναερόβιας χώνευσης, δύο ιδανικές θερμοκρασίες αναμένονται: 35 έως 40 βαθμούς Κελσίου και 55 έως 60 βαθμούς Κελσίου. Είναι επίσης δυνατή η επεξεργασία οργανικών αποβλήτων σε «ψυχρόφιλες» θερμοκρασίες, κοντά στο 25 βαθμούς Κελσίου. Η επεξεργασία αποβλήτων σε θερμοφιλες θερμοκρασίες είναι ταχεία και ολοκληρώνεται σε μερικές μέρες. Απόβλητα από την επεξεργασία σε μεσόφιλη θερμοκρασία της τάξης των 35 έως 40 βαθμών Κελσίου χωνεύονται με βραδύτερους ρυθμούς από ό, τι σε θερμοφιλες θερμοκρασίες 55 έως 60 βαθμών Κελσίου.

Κατά τις ψυχρόφιλες θερμοκρασίες, η επεξεργασία των αποβλήτων είναι πολύ αργή, απαιτώντας πολλούς μήνες για να ολοκληρωθεί. Στην πράξη, αυτό σημαίνει ότι τα απόβλητα τα οποία υποβάλλονται σε επεξεργασία σε ένα λειτουργικό αντιδραστήρα σε ψυχρόφιλη θερμοκρασία πρέπει να διατηρούνται στον αντιδραστήρα για μεγάλο χρονικό διάστημα μηνών, γεγονός που οδηγεί στην ανάγκη κατασκευής αντιδραστήρων πολύ μεγάλου όγκου. Αντίθετα, τα απόβλητα που υποβάλλονται σε επεξεργασία σε ένα λειτουργικό αντιδραστήρα σε μεσόφιλες ή θερμοφιλες θερμοκρασίες πρέπει να διατηρούνται στον θάλαμο χώνευσης για μικρότερες χρονικές περιόδους, άρα απαιτούνται μικρότερα μεγέθη θαλάμων του χωνευτή.

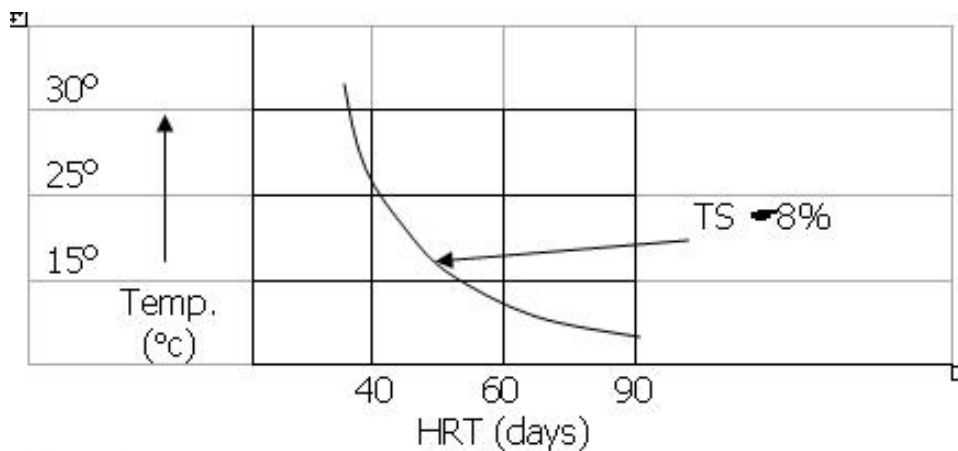
5.2.β) Υδραυλικός χρόνος παραμονής

Λαμβάνοντας υπόψη μια συγκεκριμένη θερμοκρασία αντιδραστήρα, τα απόβλητα διατηρούνται αρκετό καιρό στον αντιδραστήρα με σκοπό να οδηγηθούν σε σημαντικό βαθμό εξάλειψης των πτητικών τους στερεών. Σε μια δεδομένη θερμοκρασία, ο βαθμός της εξάλειψης των πτητικών στερεών εξαρτάται από το χρονικό διάστημα που τα απόβλητα φυλάσσονται σε επαφή με τα υδρολυτικά, οξεογενητικά και άλλα βακτήρια που αποτελούν το πληθυσμό βακτηρίων του αντιδραστήρα. Για τους σκοπούς του σχεδιασμού, ο χρόνος παραμονής έχει βελτιστοποιηθεί κοντά στο επίπεδο της βιολογικής συγκράτησης αποβλήτων, όπου οι οριακοί συντελεστές αποικοδόμησης των πτητικών στερεών (VS) μεγιστοποιούνται και όπου η περαιτέρω επιμήκυνση των χρόνων παραμονής παράγει μόνο μικρές αυξήσεις στην βιολογική αποικοδόμηση των αποβλήτων.

Οι αναερόβιοι αντιδραστήρες είναι σχεδιασμένοι ώστε να χειρίζονται υψηλής αραίωσης απόβλητα με υψηλή περιεκτικότητα σε νερό. Σε καλά αναμειγμένα απόβλητα, το στερεό διασπώμενο μέρος των αποβλήτων τελεί υπό αιώρηση. Για τέτοια καλά αναμειγμένα οργανικά απόβλητα, ένας ενιαίος χρόνος παραμονής του απόβλητου ορίζεται και ονομάζεται υδραυλικός χρόνος παραμονής (HRT).

Για καλά αναμειγμένα απόβλητα με σημαντικές ποσότητες συνολικών στερεών, ένα διάστημα 10 - έως 25-ημερών χρόνου παραμονής των αποβλήτων συνηθίζεται σε μεσόφιλες θερμοκρασίες. Σε θερμοφιλες θερμοκρασίες αντιδραστήρα, ο HRT των καλά σύμμεικτων απορριμμάτων είναι μικρότερος, κατά περίπου 5 ημέρες.

Στις περισσότερες μεθόδους επεξεργασίας των αποβλήτων, τα απόβλητα τροφοδοτούνται συνεχώς στον αντιδραστήρα. Καθώς εισέρχονται, εκτοπίζουν ένα αντίστοιχα ίσο μεγάλο ποσό χωνεμένων αποβλήτων. Ωστόσο, τα βακτήρια εξέρχονται και αυτά από τον αντιδραστήρα, συμπεριλαμβανομένων των αργά εκκολαπτόμενων μεθανογόνων και οξειογόνων βακτηρίων. Σε μεσόφιλες θερμοκρασίες και για HRT μικρότερο από 10 με 12 ημέρες, ο ρυθμός απομάκρυνσης των μεθανογενών βακτηρίων από τη δεξαμενή, μέσω της μετατόπισης από την πρόσφατα τροφοδοτούμενη κοπριά, υπερβαίνει το ρυθμό βακτηριακής ανάπτυξης, με αποτέλεσμα καθαρής μεθανογόνου έκπλυσης και την αποτυχία του χωνευτή. Αυτό καθορίζει ουσιαστικά την ελάχιστη χρονική διάρκεια διατήρησης των αποβλήτων στον αντιδραστήρα.



- Γραφική αναπαράσταση της θερμοκρασίας συναρτήσει του υδραυλικού χρόνου παραμονής για 8% ποσοστό συνολικών στερεών.

5.2.γ) Σύνολο στερεών εισροής

Η συνολική περιεκτικότητα σε στερεά εισροής των αποβλήτων καθορίζει το ποσό της οργανικής ύλης που πρέπει να χωνευτεί. Σε κάθε δεδομένη στιγμή συγκράτησης αποβλήτων, η συνολική περιεκτικότητα σε στερεά των εισρέοντος αποβλήτων περιορίζεται από την ικανότητα επεξεργασίας των βακτηρίων που εμπλέκονται στην αναερόβια χώνευση. Η παρουσία μεγάλης ποσότητας οργανικού υλικού μπορεί, εάν είναι ο υδραυλικός χρόνος παραμονής είναι πολύ μικρός, να οδηγήσει στην παραγωγή

πητικών λιπαρών οξέων σε ποσοστά που υπερβαίνουν την ικανότητα των οξεογόνων και μεθανογόνων βακτηριακών πληθυσμών να τα αφαιρέσουν. Αυτό οδηγεί σε υποβαθμισμένα ποσοστά αναερόβιας χώνευσης ή ακόμη και σε πλήρη αποτυχία της χώνευσης.

Το επίπεδο των εισρέοντος στερεών καθορίζει επίσης το επίπεδο της αραίωσης των αποβλήτων στον αντιδραστήρα. Με την προσθήκη νερού στο οργανικό μέρος των αποβλήτων, η αραίωση δρα αυξάνοντας τον όγκο των αποβλήτων, αυξάνοντας έτσι και το μέγεθος του αντιδραστήρα αλλά και το κόστος αυτού.

5.2.δ) Ρυθμός οργανικής φόρτισης του χωνευτή – Organic loading rate (OLR)

Ο ρυθμός οργανικής φόρτισης είναι το ποσοστό των πτητικών στερεών που τροφοδοτούν τον αντιδραστήρα ανά μονάδα όγκου αντιδραστήρα. Ο ρυθμός οργανικής φόρτισης φορτίο δρα έτσι ώστε να ορίσει έναν επιθυμητό υδραυλικό χρόνο παραμονής, δεδομένου μίας εισροής αποβλήτων από κάποια γνωστή συνολικής περιεκτικότητας στερεά. Εκτενή ανάλυση των ρυθμών φόρτισης για τα διαφορετικά απόβλητα εισροής σε διαφορετικούς υδραυλικούς χρόνους παραμονής έχει οδηγήσει σε συμφωνία μιας σειράς προκαθορισμένων τιμών σε ποσοστά φόρτισης για τις τυπικές διατάξεις αντιδραστήρων που χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό αυτών και τη λειτουργία τους.

5.2.ε) Ανάμιξη

Η ανάμιξη είναι μια άλλη σημαντική παράμετρος προς εξέταση κατά το σχεδιασμό ενός αντιδραστήρα αναερόβιας χώνευσης. Η ανάμιξη αυξάνει την κινητική ταχύτητα της αναερόβιας χώνευσης επιταχύνοντας την βιολογική διαδικασία μετατροπής. Επιπρόσθετα, η ανάμιξη επιτρέπει ομοιόμορφη θέρμανση του αντιδραστήρα. Η Ανάμιξη μπορεί να γίνει μηχανικά μέσω μηχανοκίνητα περωτών στροβίλων εντός του αντιδραστήρα ή πνευματικά με την έγχυση αερίου (στην αναερόβια χώνευση, μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα) μέσω σκεδαστήρων στο πυθμένα του αντιδραστήρα. Στα σταθερού θόλου και κυμαινόμενου τυμπάνου αναερόβιας χώνευσης σχέδια, δεν συμβαίνει η διαδικασία της ανάμιξης, εκτός από την ανάμιξη που εμφανίζεται ως αποτέλεσμα του σχηματισμού αερίου κατά την χώνευση του στρώματος ιλύος, το οποίο στη συνέχεια υψώνεται στην κορυφή του χωνευτή.

5.2.στ) pH

Το pH του χωνευτή είναι ακόμη μια σημαντική παράμετρος στην αναερόβια χώνευση. Το pH θα πρέπει να διατηρείται μεταξύ 6,6 και 7,6. Μία δυσκολία παρουσιάζει η διατήρηση του pH πάνω από 6,6. Κατά τη διάρκεια εκκίνησης, υπερφόρτωσης ή αστάθειας της χώνευσης, τα οργανικά οξέα είναι τα ενδιάμεσα προϊόντα που παράγονται από τους μικροοργανισμούς. Η παρουσία πάρα πολύ υψηλής συγκέντρωσης οργανικών οξέων μειώνει το pH, μειώνει την παραγωγή μεθανίου, και μπορεί να προκαλέσει όξυνση ή ανεπάρκεια του αντιδραστήρα. Το σύστημα του ανθρακικού οξέος επικρατεί του ελέγχου του pH στις περισσότερες περιπτώσεις κατά την αναερόβια χώνευση. Επιπλέον, ισοζύγιο διοξειδίου του άνθρακα προσεγγίζεται στην αναερόβια χώνευση. Από τον

υπολογισμό της εξάρτησης του pH από την όξινη ανθρακική αλκαλικότητα, μπορεί να συναχθεί ότι το pH στον αναερόβιο χωνευτή εξαρτάται από την διττανθρακική συγκέντρωση αλκαλικότητας στην υγρή φάση και το διοξείδιο του άνθρακα στην αέρια φάση.

5.2.ζ) Συνολικά στερεά (TS) – Πτητικά στερεά (VS)

Τα συνολικά στερεά είναι το άθροισμα των αιωρούμενων και διαλυμένων στερεών. Η ανάλυση του συνόλου των στερεών είναι σημαντική για την αξιολόγηση των διαδικασιών επεξεργασίας λυμάτων, όπως η βελτίωση της αποτελεσματικότητας χώνευσης και των παραμέτρων επεξεργασίας της ιλύος. Οι αναλύσεις αυτές συνήθως εκτελούνται σε δείγματα ιλύος όταν η συγκέντρωση των στερεών είναι μεγαλύτερη από 10.000 mg / L ή 1%, έτσι ώστε να μην φιλτράρονται εύκολα.

Τα συνολικά στερεά που αποτελούνται από δύο συστατικά, πτητικά και σταθερά στερεά. Τα πτητικά στερεά είναι οργανικές ενώσεις ζωικής ή φυτικής προέλευσης. Οι βιολογικές διαδικασίες μπορούν να τα αντιμετωπίσουν. Όταν τα πτητικά στερεά αναφέρονται στην παρούσα εργασία, στην πραγματικότητα αναφέρονται τα πτητικζζολικά στερεά, ή τμήμα των συνολικών στερεών που είναι πτητικά. Τα σταθερά στερεά είναι υλικά όπως άμμος, χαλίκι και αλάτι.

5.2.η) Αποικοδόμηση των πτητικών στερεών

Η βιοαποικοδομησιμότητα των πτητικών στερεών εξαρτάται από τη θερμοκρασία του αντιδραστήρα. Η καταστροφή των πτητικών στερεών του αντιδραστήρα αυξάνεται γραμμικά μεταξύ 27 και 37 βαθμών Κελσίου. Η παραγωγικότητα του βιοαερίου, η οποία είναι ένα έμμεσο μέτρο της καταστροφής VS, αυξάνεται γραμμικά με την εσωτερική θερμοκρασίας του αντιδραστήρα.

Για χρόνους συγκράτησης αποβλήτων που είναι χαρακτηριστικοί των συμβατικών μεσαίου ρυθμού χωνευτών, η παραγωγικότητα βιοαερίου ανά kg VS περιεκτικότητας που προστίθεται στον αντιδραστήρα αυξάνεται κατά το ήμισυ έως τα δύο τρίτα, την στιγμή που η θερμοκρασία του αντιδραστήρα αυξάνεται από 20 έως 30 βαθμούς Κελσίου, φθάνοντας ένα μέγιστο στους 35 και 40 βαθμούς Κελσίου. Η Αναερόβια χώνευση σταματάει εντελώς κάτω από 15 βαθμούς Κελσίου.

5.2.θ) COD

Το COD αποτελεί την χημική απαίτηση οξυγόνου (chemical oxygen demand), δηλαδή την ποσότητα χημικού οξειδωτικού που απαιτείται για να οξειδωθεί πλήρως το υπόστρωμα. Επίσης παριστά την ποσότητα οργανικού άνθρακα στο υπόστρωμα. Το COD αντιπροσωπεύει την θεωρητικά μέγιστη παραγωγή μεθανίου του υποστρώματος. Ακόμα αποτελεί πιο ακριβή εκτίμηση από τα πτητικά στερεά (VS).

5.2.ι) BOD

Κατά την έγχυση σε πλωτές οδούς, τα οργανικά απόβλητα δρουν βιολογικά έτσι ώστε να απομακρυνθεί το οξυγόνο από τις λίμνες, ρυάκια και άλλες υδάτινες επιφάνειες, με αποτέλεσμα να σκοτώνει τα ψάρια και να μειώνει των πληθυσμό αυτών. Το βιολογικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD) είναι το μέτρο της δυνατότητας να επηρεαστούν αρνητικά τα υδατικά συστήματα. Το BOD των αποβλήτων μειώνεται σημαντικά κατά τη διάρκεια της αναερόβιας χώνευσης. Μειώσεις του BOD της τάξης του 40 έως 75% αναφέρθηκαν στην επιστημονική βιβλιογραφία για την πέψη αποβλήτων από γαλακτοκομικά προϊόντα σε μονάδα μέσης χώνευσης. Εύρος μεταξύ 55 και 85% έχει αναφερθεί για τα απόβλητα χοίρων.

5.2.κ) Επιπλέον παράμετροι παρακολούθησης

Οι παράμετροι που συνήθως ελέγχονται είναι: αλκαλικότητα, αμμωνία, ολικό άζωτο, ολικός φωσφόρος, TOC, η παραγωγή φυσικού αερίου και η σύνθεση του αερίου.

5.2.λ) Σχέση μεταξύ των παραμέτρων

Όπως σημειώθηκε παραπάνω, οι αναερόβιοι χωνευτές έχουν σχεδιαστεί γύρω από τέσσερις βασικές παραμέτρους: την θερμοκρασία του αντιδραστήρα, την ολική περιεκτικότητα στερεών των εισρέοντος αποβλήτων, την μέση κατακράτηση των αποβλήτων στον αντιδραστήρα (υδραυλικός χρόνος παραμονής), και τον οργανικό ρυθμό φόρτισης.

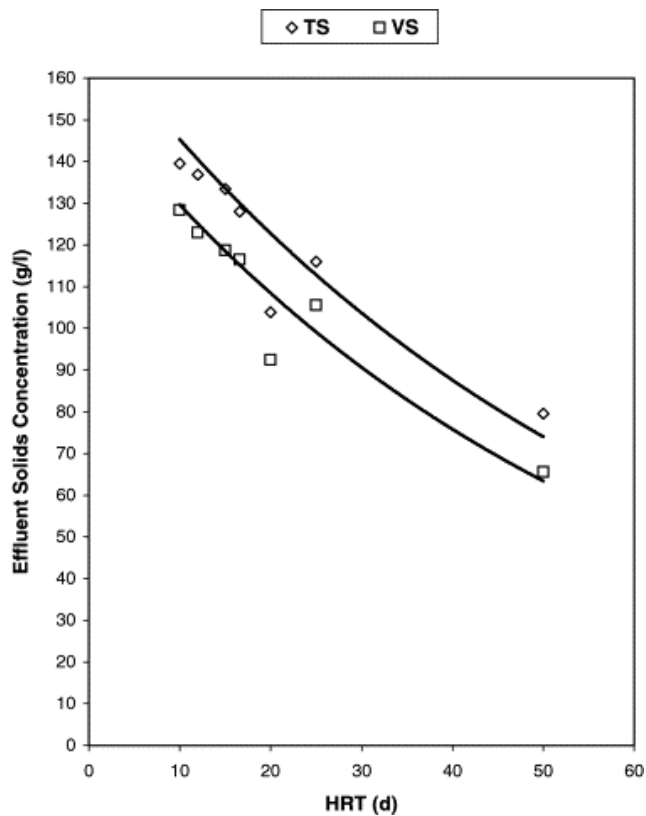
Ο χρόνος παραμονής των αποβλήτων είναι ο μέσος χρόνος παραμονής των αποβλήτων στο εσωτερικό του αντιδραστήρα των λιγότερο εγκατεστημένων στερεών στον πυθμένα του αντιδραστήρα. Η ολική περιεκτικότητα σε στερεά είναι το ποσοστό στερεών στα απόβλητα κατά βάρος. Ο οργανικός ρυθμός φόρτισης είναι απλά το μέσο ποσοστό πτητικών στερεών που εισέρχονται στον αντιδραστήρα ανά μονάδα όγκου αντιδραστήρα. Η θερμοκρασία χώνευσης είναι η θερμοκρασία των αποβλήτων εντός του θαλάμου.

Αυτές οι παράμετροι συνδέονται με ποικίλους τρόπους μεταξύ τους. Ο Υδραυλικός χρόνος παραμονής (HRT) αυξάνεται όταν παρατηρείται αυξημένη συνολική περιεκτικότητα στερεών στα απόβλητα, και μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του αντιδραστήρα ή όταν αυξάνεται ο οργανικός ρυθμός φόρτισης. Το οργανικό φορτίο αυξάνεται με την αύξηση της περιεκτικότητας σε ολικά στερεά αποβλήτων ή καθώς μειώνεται ο HRT. Δεδομένου ότι η βέλτιστη θερμοκρασία στον αντιδραστήρα για βακτηριακή δραστηριότητα είναι 35 έως 37 βαθμούς Κελσίου, κάθε απόκλιση από αυτούς τους 35-37 βαθμούς Κελσίου οδηγεί σε μειωμένο ποσοστό της πέψης, ως εκ τούτου την ανάγκη για τη μείωση του ρυθμού οργανικής φόρτισης. Αντιστρόφως, η αύξηση της περιεκτικότητας των στερεών οδηγεί στην ανάγκη για ένα μεγαλύτερο χρόνο παραμονής των αποβλήτων στον αντιδραστήρα ή σε υψηλότερη θερμοκρασία

Στο σχεδιασμό του αντιδραστήρα, για οικονομικούς λόγους, αυτές οι παράμετροι

σχεδιασμού έχουν επιλεχθεί έτσι ώστε να οδηγήσουν στην μέγιστη παραγωγή βιοαερίου ανά μονάδα όγκου του αντιδραστήρα, μέγιστη καθαρή παραγωγικότητα ενέργειας χώνευσης, ή πιο τυπικά, ένας συνδυασμός των δύο. Η καθαρή παραγωγή ενέργειας χώνευσης ευθύνεται για όλες τις χρήσεις της χώνευσης όπως η παραγωγή βιοαερίου εισροής, η θέρμανση του αντιδραστήρα αλλά και οι απώλειες κατά τη διάρκεια της ανταλλαγής θερμότητας. Η παραγωγή βιοαερίου ανά μονάδα όγκου του αντιδραστήρα είναι γνωστή ως ογκομετρική παραγωγικότητα ή μέτρηση ειδικού όγκου του αντιδραστήρα.

5.2.μ) Γραφική απεικόνιση της σχέσης των παραμέτρων στην αναερόβια χώνευση



- Στην παραπάνω γραφική παράσταση αναπαρίσταται η επίδραση του υδραυλικού χρόνου παραμονής (HRT) στην συγκέντρωση συνολικών εισερχόμενων στερεών (TS) και πτητικών στερεών (VS). Διαπιστώνουμε όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ότι η αύξηση της περιεκτικότητας των στερεών οδηγεί στην ανάγκη για ένα μεγαλύτερο χρόνο παραμονής των αποβλήτων στον αντιδραστήρα.

5.2.ν) Ογκομετρική παραγωγικότητα

Η ογκομετρική παραγωγικότητα του βιοαερίου ποικίλλει ανάλογα με τον υδραυλικό χρόνο παραμονής. Όσο μεγαλύτερο χρονικό διάστημα τα απόβλητα διατηρούνται στο χωνευτή, τόσο καλύτερα γίνεται η αποδόμηση των πτητικών στερεών και τόσο μεγαλύτερη είναι η αθροιστική παραγωγή αερίου ανά χιλιόγραμμο VS το οποίο προστίθεται στο σύστημα

Ωστόσο, ο όγκος του θαλάμου του αντιδραστήρα αυξάνεται επίσης καθώς ο χρόνος παραμονής του χωνευτή επιμηκύνεται στον χρόνο ενός αντιδραστήρα μεσαίου ρυθμού. Μετά από περίπου 15 έως 25 ημέρες για τα απόβλητα γαλακτοπαραγωγής και από 10 έως 15 ημέρες για τα χοιροτροφικά απόβλητα, ο ρυθμός παραγωγής αερίου αυξάνεται πολύ πιο αργά από ό, τι ο όγκος του χωνευτή, οδηγώντας σε μείωση της

απόδοσης του βιοαερίου ανά μονάδα όγκου που προστίθεται στο χωνευτή. Αυτό εισάγει μια οικονομική συνιστώσα στον σχεδιασμό του αντιδραστήρα -την παράμετρο κατά την οποία ο αντιδραστήρας πρέπει να σχεδιαστεί έτσι ώστε να μεγιστοποιείται η παραγωγή βιοαερίου ανά μονάδα όγκου αντιδραστήρα. Ουσιαστικά, για να είναι οικονομικά βιώσιμο, ένα έργο χώνευσης πρέπει να αποφέρει μια απόδοση της επένδυσης. Η παραγωγή βιοαερίου που οδηγείται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την ικανοποίηση των αναγκών θέρμανσης νερού του αγροκτήματος αποτελούν την κύρια πηγή εσόδων για ένα έργο χώνευσης.

Τα κόστη προκύπτουν κυρίως από κεφαλαιουχικές δαπάνες που πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια της κατασκευής χώνευσης. Όπως θα ήταν αναμενόμενο, η ογκομετρική παραγωγικότητα σε ένα μεσαίου ρυθμού χωνευτή μειώνεται ραγδαία όσο τα απόβλητα εισρέοντος αραιώνονται με νερό. Η αραιώση αυτή αυξάνει τον εσωτερικό όγκο του χωνευτή, ενώ, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις χαμηλής περιεκτικότητας συνολικών στερεών, μειώνει την παραγωγικότητα βιοαερίου. Σε γενικές γραμμές, μια μείωση στη συνολική περιεκτικότητα σε στερεά χώνευσης εισρέοντος από 8% έως 2% οδηγεί σε μια 5 - έως 6-πλάσια αύξηση του όγκου του αντιδραστήρα. Η ογκομετρική παραγωγικότητα σχετίζεται αντίστροφα με τον υδραυλικό χρόνο παραμονής. Για κάθε οργανικό ρυθμό φόρτισης, καθώς ο χρόνος παραμονής των αποβλήτων μειώνεται, ο όγκος του θαλάμου που επεξεργάζεται τα απόβλητα μειώνεται επίσης, και το κάνει με ταχύτερο ρυθμό από ό, τι το βιοαέριο παραγωγικότητας. Για μεσαίου ρυθμού αντιδραστήρες, ο υδραυλικός χρόνος παραμονής για τη βέλτιστη ογκομετρική παραγωγικότητα που υπολογίζεται στην επιστημονική βιβλιογραφία είναι περίπου 10 ημέρες.

Η ογκομετρική παραγωγικότητα αυξάνεται επίσης με την αύξηση της θερμοκρασίας του αντιδραστήρα. Καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία του αντιδραστήρα, τα οργανικά απόβλητα αποδομούνται γρηγορότερα, οδηγώντας σε βραχύτερους χρόνους παραμονής και μικρότερο όγκο χωνευτή. Θα μπορούσε να σημειωθεί, ωστόσο, ότι ενώ η ογκομετρική παραγωγικότητα αυξάνεται με τη αύξηση της θερμοκρασίας στο χωνευτή, η καθαρή παραγωγή ενέργειας, αντιπροσωπεύοντας τις παρασιτικές χρήσεις ενέργειας χώνευσης, αντιθέτως, είναι αντιστρόφως ανάλογη της θερμοκρασίας του αντιδραστήρα.

Τέλος, η ογκομετρική παραγωγικότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης εκτίμησης της οικονομικής αποδοτικότητας. Με βάση τις εκτιμήσεις που έγιναν στην επιστημονική βιβλιογραφία, για έναν μεσαίου ρυθμού χωνευτή, μια ογκομετρική παραγωγικότητα της τάξης του 1 m³/m³-d πιστεύεται ότι είναι το απόλυτο ελάχιστο επίπεδο που απαιτείται για οικονομική βιωσιμότητα.

5.3. Αποτελέσματα ερευνών της επιτροπής : ATV / VKS Expert Committee 3.8.

ATV / VKS Expert Committee 3.8.	KWh /m ³		CH ₄	
	από	έως	από	έως
Βιοαέριο Χωνευτή	6	7	60%	70%
Βιοαέριο Βιομηχανικής επεξεργασίας	5	8.5	50%	85%
Βιοαέριο Αγροτικών Απορριμμάτων	5.5	7.5	55%	75%
Βιοαέριο Χωματερής	3.5	5.5	35%	55%
Ειδικό βάρος 65 % CH ₄	1.2			
Παραγωγή Βιοαερίου	0.25	0.32	m ³ / Kg COD	

Το βιοαέριο ενός χωνευτή παράγει 6 – 7 KWh / m³ με περίπου 60 – 65% περιεκτικότητα σε μεθάνιο (CH₄).

Παραγωγή Βιοαερίου	0.25	0.32	m ³ / Kg COD					
			KWh / m ³ ιλύος					
	20	30						
	m ³ / kg ds		kg ZB / Z	lit / kg VS	lit / Z	kg VS /Z	kg VS /kg ZB	lit / Z
	από	έως						
Βοοειδή	0.2	0.5	500	330	1,200	3.636	0.0073	2.4
Μοσχάρια	0.86							
Χοιροι	0.49	1.02	50	630	180	0.286	0.0057	3.6
Αμνοί	0.37	0.61						
Ορνιθες	0.26	0.3	2	450	11	0.024	0.0122	5.5

- Ο υπολογισμός της παραγωγής αερίου ανά κιλό COD (chemical oxygen demand) αποτελεί μία αρκετά ακριβής εκτίμηση (περισσότερο ακριβής από την αντίστοιχη εκτίμηση ανά κιλά πτητικών στερεών).
- Ακολουθεί η παραγωγή βιοαερίου ανά κιλό συνολικών στερεών για διάφορα είδη ζώων.
- Έπειτα η απόδοση του βιοαερίου σε λίτρα ανά κιλό πτητικών στερεών.
- Διαιρώντας την απόδοση του βιοαερίου σε λίτρα ανά κιλό πτητικών στερεών με τα λίτρα κάθε ζώου παίρνουμε κιλά πτητικών στερεών ανά ζώο τα οποία διαιρώντας τα με το βάρος κάθε ζώου αντιστοιχούν σε κιλά πτητικών στερεών ανά κιλό.

ATV / VKS Expert Committee 3.8.														
kg / ZB	1 Μονάδα = Βάρος Z 600 kg	kg / day Z	% D S			kg Ξ ΣΤ	Οργανικά kg Ξ ΣΤ	m ³ /μονάδα 600	m ³ /1000 kg ZB	m ³ /m ³ Ιλύος		m ³ /m ³ Ιλύος	r /	1
				από	έως						από	έως	Μέσ. Ορι	
Βοοειδή	1	50	10%	8%	12%	5,0	4,00	1,5	2,5	20	30	25	2	
χοίροι	9	50	7,50%	3%	8%	4,0	3,50	1,8	3,0	25	35	30	4	
χοιρομητέρες	2													
+ χοίροι	μικρά	50	7,50%	4%	8%	4,0	3,50	1,8	3,0	25	30	27,5	3	
Αμνοί														
Ορνιθες υοπαραγωγής	150	50	20%	15%	25%	5,0	3,50	2,0	3,3	30	40	35	1	

- Στον παραπάνω πίνακα υπολογίζονται τα συνολικά στερεά, τα πτητικά στερεά, η παραγωγή βιοαερίου ανά 600kg ζώου ζώντος βάρους και παράγωγή 50kg/day απόβλητα.
- Εξετάζεται επίσης η παραγωγή βιοαερίου ανά κυβικό μέτρο ιλύος.
- Ο λόγος της παραγωγής βιοαερίου ανά κυβικό μέτρο ιλύος με το ποσοστό περιεκτικότητας συνολικών στερεών ισούται με την παραγωγή βιοαερίου για το σύνολο των στερεών.

5.4. Διαστασιολόγηση αντιδραστήρα αναερόβιας χώνευσης για την παραγωγή 100 KW ηλεκτρικής ενέργειας

ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ		
Ανά ζώο		Χοίροι
Ζων Βάρος	kg/ζώο	75
Απόβλητα	t/Z year	4
	kg/ Z day	13.3
Απόβλητα	kg/t ZB.day	177.8
	% DM	8%
Ξηρό υλικό	kgDM/tZB.day	14.2
TS (Total Solids)	kg/Z day	1.1
Νερό αποβλήτων	kg/Z day	12.3
	kg/t ZB.day	163.6
Διάλυση μέχρι 9 %	lit/ Z day	
Νερό Διάλυσης	lit / Z day	0
Check στερεά		
Ολικό νερό	kg/Z day	12.3
Απόβλητα για επεξεργασία	kg/Z day	13.3
Βιοαέριο (Απόδοση)	m ³ /tDM	250
	m ³ / Z day	0.3
	m ³ /t ZB day	3.56

- Τα συνολικά στερεά (TS) ισούνται με το 8% (Dry matter) των συνολικών αποβλήτων.
- Στην συνέχεια το νερό των αποβλήτων είναι η διαφορά των συνολικών στερεών από το σύνολο των αποβλήτων.
- Η απόδοση του βιοαερίου χρησιμοποιήθηκε από την βιβλιογραφία.

Καθώς η παρούσα πτυχιακή εργασία εστιάζει στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας 100 KW, έχοντας επιλέξει μηχανή συμπαραγωγής ενέργειας (Kummins biogas 100KW generator set), η παραγωγή βιοαερίου θα υπολογιστεί με βάση τις ενεργειακές απαιτήσεις της μονάδος:

Ενέργεια Βιοαερίου	KWh/Nm ³	6.3
	MWh	0.288
	MWh/day	6.9
	MWh/year	2,074
Χρήσιμη Ηλεκτρική Ενέργεια	35%	722
	KWh	100
	MWh/day	2.4
Θερμική Ενέργεια	84%	1,742

- Ανατρέχοντας στις επιμέρους λεπτομέρειες της μηχανής παρατηρούμε η συνολική ποσότητα βιοαερίου που μπορεί να δεχθεί ως είσοδο υπό πλήρες φορτίο (Total energy input) ισούται με **288KWh= 0.288 MWh**
- Πολλαπλασιάζοντας την τιμή αυτή με 24hr και έπειτα με 300days (πλήθος ημερών λειτουργίας της μηχανής / έτος) υπολογίζουμε **6,9 MWh/day** και **2074 MWh/year** ενέργεια βιοαερίου αντίστοιχα.
- Έπειτα ανατρέχοντας στην ηλεκτρική και θερμική απόδοση της μηχανής υπολογίζουμε την ηλεκτρική και θερμική ενέργεια που θα παράξει η μηχανή στην έξοδο της.
- Η ενέργεια παραγωγής βιοαερίου από αναερόβιο χωνευτή είναι: **6 εως 7 KWh / m³** (ATV / VKS Expert Committee 3.8).

Βιοαέριο	m ³ / day	1,104
	m ³ / hr	46
	m ³ / year	331,200

- Η ποσότητα παραγωγής αερίου σε κυβικά μέτρα υπολογίζεται διαιρώντας την συνολική ενέργεια εισόδου με την τυπική παραγωγή ενέργειας ενός χωνευτή ανά κυβικό μέτρο βιοαερίου : **1000 * 0.288 / 6.3 = 45.71 m³/hr**

5.4.α) Ποσότητα των απαιτούμενων χοίρων - αποβλήτων

- Η ποσότητα των χοίρων υπολογίζεται ως ο λόγος της καθημερινής παραγωγής βιοαερίου προς το γινόμενο της τυπικής απόδοσης βιοαερίου των χοίρων και του βάρους τους:

$$\text{Ποσότητα χοίρων} = 1000 * 1104\text{m}^3/\text{day} / 3.56\text{m}^3/\text{tZBday} * 75 \text{ ZB} = 4135 \text{ χοίροι}$$

- Η συνολική ετήσια ποσότητα των αποβλήτων υπολογίζεται ως το γινόμενο του συνόλου των χοίρων με την ετήσια ποσότητα παραγωγής αποβλήτων του κάθε ζώου.
- Από αυτά το 8% αποτελούν το ξηρό υλικό (TS) και το υπόλοιπο 92% είναι σε υγρή μορφή.
- Παρατίθεται επίσης βιβλιογραφικά το μέτρο του οργανικού φορτίου στα λύματα των χοίρων (BOD).

Ποσότητα Ζώων		4,135
Ποσότητα Αποβλήτων	t/year	16,540
	kg/day	55,133
Απόβλητα για επεξεργασία	kg/day	55,133
Νερό στην επεξεργασία	kg/day	50,723
Ξηρό υλικό	kgDM/day	4,411
Check στερεά		4,411
		8%
BOD	kg/Z day	0.191
	kg day	792
	PPM	14,357
Ξηρό υλικό	tonDM/year	1,323
Βιοαέριο	m ³ / day	1,104
	m ³ / hr	46
	m ³ / year	331,200

5.4.β) Όγκος Χώνευσης

- Η ποσότητα αποβλήτων σε μονάδες όγκου υπολογίζεται διαιρώντας την ποσότητα αποβλήτων με το 1000 καθώς 1 τόνος = 1000 kg = 1m³.

- Βιβλιογραφικά προκύπτει ότι τα πτητικά στερεά (VS) αποτελούν το 75 % των ολικών στερεών στα χοιροτροφικά απόβλητα.
Δηλαδή η καθημερινή παραγωγή αυτών θα είναι : **4411kgDM/day * 75 % = 3308 kgODM/day**
- Για την διαστασιολόγηση του αντιδραστήρα υπάρχουν αρκετοί μέθοδοι. Παρακάτω ενδεικτικά παραθέτονται δύο από αυτούς : Με εκτίμηση του **ρυθμού φόρτισης του χωνευτή** και με εκτίμηση του **χρόνου παραμονής** των αποβλήτων:
 1. Βιβλιογραφικά ο οργανικός ρυθμός φόρτισης του χωνευτή (Organic loading rate) ισούται περίπου με : **OLR = 4.5kg ODM/ m³* day**. Ο όγκος του αντιδραστήρα θα ισούται με τον λόγο του συνόλου των πτητικών στερεών προς τον ρυθμό φόρτισης: **V = 3308 kgODM/day / 4.5kgODM/m³*day = 735.16m³**
 2. Για έναν αντιδραστήρα CSTR, σε μεσόφιλη θερμοκρασία και με πρώτη ύλη απόβλητα χοίρων, ο μέσος χρόνος παραμονής προσεγγίζεται περίπου στις 13 ημέρες. Το γινόμενο του συνολικού όγκου των αποβλήτων που εισέρχονται στην μονάδα καθημερινά και του χρόνου παραμονής αυτών, αποτελεί τον όγκο του αντιδραστήρα: **V= 55m³/day * 13days = 715m³**

Ο ωφέλιμος όγκος του χωνευτή πρέπει να υπολογιστεί προσεγγιστικά μεγαλύτερος καθώς έχουν παρατηρηθεί διακυμάνσεις στην συνολική καθημερινή παραγωγή αποβλήτων.

Άρα ο τελικός όγκος του αντιδραστήρα θα είναι **V= 60m³/day * 13days= 780m³**.

Στη συνέχεια υπολογίζουμε το ακριβές πλήθος των μερών παραμονής (ή παραμονής) και με τους δύο τρόπους:

1. **HRT = SRT = 780m³ / 55m³/day =14.18days.**

2. **HRT = SRT = 735.16m³ / 55m³/day = 13.36days**

Τέλος, το φορτίο BOD του χωνευτή υπολογίζεται ως ο λόγος της καθημερινής παραγωγής BOD προς τον συνολικό όγκο του αντιδραστήρα αναερόβιας χώνευσης.

Όγκος Χώνευσης		
Ποσότητα Αποβλήτων	m ³ / day	55
Στερεά	kgDM/day	4,411
Ωφέλιμος Όγκος Χωνευτών	13 x 60 m ³	780
Ημέρες παραμονής	day	14.18
Φορτίο BOD (OLR)	kgBOD/day m ³	1.0148

5.5. Παράμετροι που καθορίζουν την βιωσιμότητα του αντιδραστήρα.

5.5.α) Υπολογισμός ογκομετρικής παραγωγικότητας

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, η ογκομετρική παραγωγικότητα υπολογίζεται ως ο λόγος των καθημερινής παραγωγής βιοαερίου προς τον όγκο του αντιδραστήρα:

$$G_p = G / V = 1104 \text{ m}^3/\text{day} / 780\text{m}^3 = 1.415 \text{ (m}^3/\text{day)} / \text{m}^3.$$

5.5.β) Υπολογισμός συγκεκριμένης παραγωγής μεθανίου (Specific Methane Production)

Η συγκεκριμένη παραγωγή μεθανίου υπολογίζεται ως ο λόγος του καθημερινού όγκου παραγωγής μεθανίου προς την καθημερινή παραγωγή πτητικών στερεών :

$$SMP \text{ (m}^3\text{CH}_4 / \text{kg ODM)} = 1104 \text{ m}^3/\text{day} * 60\% \text{ CH}_4 / 3308 \text{ kgODM/day} = 0.2 \text{ m}^3\text{CH}_4 / \text{kg ODM}$$

5.6. Τμηματική διαστασιολόγηση αντιδραστήρα AX

5.6.α) Παραδοχές τμημάτων

Όγκος τμήματος συλλογής αερίου : $V_c = 5\% * V$

Όγκος υδραυλικού τμήματος - διατήρηση βιοαερίου: $V_h = 80\% * V - V_f$

Όγκος τμήματος χώνευσης: $V_f = 80\% * V - V_h$

Όγκος υποστρώματος: $V_s = 15\% * V$

5.6.β) Ογκομετρική διαστασιολόγηση

Υπολογίσαμε ότι $V = 780 \text{ m}^3$.

$V_c = 5\% * 780 = 39 \text{ m}^3$

$V_h + V_f = 80\% * V \Rightarrow V_h + V_f = 80\% * 780 = 624 \text{ m}^3$

$V_s = 15\% * V = 15\% * 780 = 117 \text{ m}^3$

$V_h = 0.5 (V_h + V_f + V_s)$ $G_p = 0.5 (624 + 117) * 1.415 = 524.25 \text{ m}^3$ (όπου G_p είναι η ογκομετρική παραγωγικότητα του αντιδραστήρα)

5.6.γ) Γεωμετρική διαστασιολόγηση

Παραδοχές: $D = 1.3078 * V^{1/3}$

$V_1 = 0.0827 D^3$

$V_2 = 0.05011 D^3$

$V_3 = 0.3142 D^3$

$R_1 = 0.725 D$; $R_2 = 1.0625 D$

$f_1 = D/5$; $f_2 = D/8$

$S_1 = 0.911 D^2$; $S_2 = 0.8345 D^2$

Γεωμετρικοί υπολογισμοί

Διάμετρος κατασκευής:

$D = 1.3078 * V^{1/3} = 1.3078 * 780^{1/3} = 11.774 \text{ m}$

$V_3 = 0.3142 * 11.774^3 = 512.5 \text{ m}^3$

Ύψος κατασκευής:

Ισχύει ότι : $V_3 = (3.14 * D^2 * H) / 4 \Rightarrow H = 4 * V_3 / 3.14 * D^2 = 4.71 \text{ m}$

Όγκος τμήματος βιοαερίου :

$V_1 = 0,0827 * D^3 = 0.0827 * 11.774^3 = 133.95 \text{ m}^3$

Όγκος υποστρώματος :

$$V2 = 0.05011 * D ^ 3 = 0.05011 * 11.774 ^ 3 = 81.79m^3$$

Ύψος τμήματος βιοαερίου :

$$f1 = D / 5 = 2.35m$$

Ύψος υποστρώματος :

$$f2 = D / 8 = 1.47m$$

Ακτίνες καμπυλότητας :

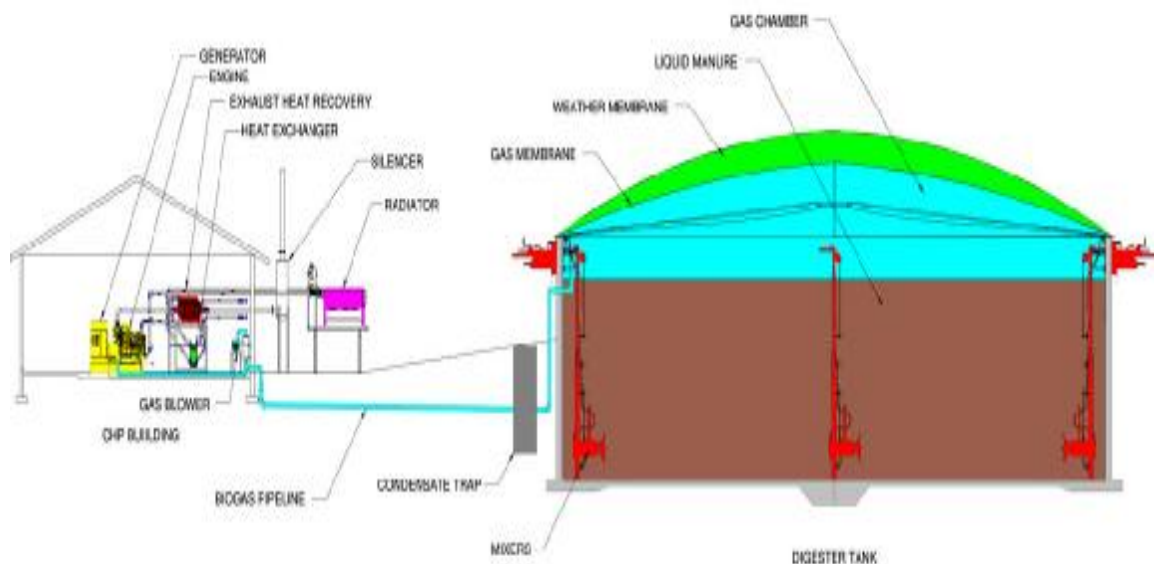
$$R1 = 0.725 * D = 0.725 * 11.774 = 8.51m$$

$$R2 = 1.0625 * 11.774 = 12.51m$$

Διατομές :

$$S1 = 0.911 * D ^ 2 = 0.911 * 11.774 ^ 2 = 126.29m^2$$

$$S2 = 0.8345 * D ^ 2 = 0.8345 * 11.774 ^ 2 = 115.68m^2$$



VI. Χρήση ανεπεξέργαστης ύλης ως εδαφοβελτιωτικό

Τα κτηνοτροφικά απόβλητα χαρακτηρίζονται από υψηλό οργανικό φορτίο, ψηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων όπως άζωτο, φωσφόρο, κάλιο, υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα και αυξημένη συγκέντρωση βορίου. Τα απόβλητα μπορούν να αξιοποιηθούν στη γεωργία είτε ως λιπαντικά για τις καλλιέργειες, είτε ως εδαφοβελτιωτικά.

Πλεονεκτεί επίσης στο γεγονός ότι αποφεύγεται η χρήση χημικών φυτοφαρμάκων για λίπασμα σε καλλιέργειες καλαμποκιού και σιτηρών. Ακόμα βελτιώνει την υγεία του γεωργικού χώματος και του φυτού, αποτρέπει τη διάβρωση και διατηρεί την υγρασία και τα θρεπτικά συστατικά στο χώμα.

Μπορεί να περιορίσει τις ανάγκες σε λίπασμα, να βελτιώσει την αποστράγγιση του χώματος και να παρέχει μικροθρεπτικά συστατικά. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο φάσμα εφαρμογών, από την αγροτική γη που απαιτεί υψηλής ποιότητας προϊόντα, μέχρι εμπορική και βιομηχανική γη και εργασίες εγγιωβελτιωτικής επανόρθωσης.

Αφυδάτωση σε 20 %		
Στερεά σε χωνευμένη λάσπη	kg DM /day	2,646
επί αρχικών	60%	
Χωνευμένη λάσπη	kg/day	22,053
στερεά	12%	
Υπολογισμός Φυγοκέντρων	9 m ³ / hr	
επί 6 ημερης 16ώρου βάσης		0.2
Λάσπη μετά αφυδάτωση	kg/day	13,232
στερεά	20%	
Check		2,646
Υγρασία 80%	kg/day	10,586
Στραγγίδια Αφυδάτωσης	kg/day	8,821
check		8,821
Παραγωγή Λιπάσματος		
	kg/day	4,411
Υπόλοιπα Οργανικά	kg/day	1,764
Ξηρά στερεά επί αρχικών	40%	
Υγρασία Λιπάσματος	kg/day	1,176
40%		
Ολικό Λίπασμα	kg/day	2,940
check		1,176
		2,940
Παραγωγή Λιπάσματος	t/year	882
Οργανικά Λιπάσματος	t/year	529
Υγρασία Λιπάσματος	t/year	353
	t/year	882
Ογκος Λιπάσματος	m ³ / year	1,764
	ton/m ³	0.5

- Το 60% των ολικών στερεών (TS) αποτελούν τα στερεά σε χωνευμένη λάσπη
- Στη συνέχεια για να βρω την συνολική χωνευμένη λάσπη διαιρώ τα στερεά αυτής με το ποσοστό που καταλαμβάνουν (12%): **2646 kgDM/day / 12 % = 22053kg/day**
- Με τον ίδιο τρόπο βρίσκω τα κιλά λάσπης μετά την αφυδάτωση. (20% στερεά).

- Τα υγρά θα αποτελούν το 80% της αφυδατωμένης λάσπης.
- Από το σύνολο το στερεών το 40% είναι οργανικά
- Η υγρασία του λιπάσματος την διαφορά των οργανικών στερεών από το σύνολο του λιπάσματος.
- Έπειτα υπολογίζονται αυτοί οι τρεις παράμετροι (συνολικό λίπασμα, οργανικό, υγρασία) ως προς την ετήσια παραγωγή του συστήματος.
- Τέλος ο ετήσιος όγκος λιπάσματος υπολογίζεται ως ο λόγος της συνολικής ετήσιας παραγωγής προς την ποσότητα παραγωγής ανά κυβικό μέτρο:
 $882\text{ton/year} / 0.5 \text{ ton/m}^3 = 1764\text{m}^3 / \text{year}$

Βιβλιογραφία

- *Τεχνολογία Αντιμετώπισης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Τόμος Α*
Επεξεργασία και Διάθεση Αποβλήτων
Α. Ανδρεαδάκης Α. Κατσίρη Δ. Μαμάης
Ανοικτό Ελληνικό Πανεπιστήμιο
- *Waste water treatment plant design Student workbook*
Water Environment Federation
- *Biogas Plants in Europe* [Myriam Demuynck](#), [M. Demuynck](#), [Edmond-Jacques Nyns](#), [Wolfgang Palz](#), [Commission of the European Communities](#)

Ηλεκτρονικές Πηγές

- Website: <http://alpha.practicalaction.org/media/view/7162> (Renewable energy practices in Bangladesh biogas technology) (25/5/13)
- Anaerobic Digestion of Livestock Manure for Pollution Control and Energy Production: A Feasibility Assessment By Peter Ciborowski
<http://www.pca.state.mn.us/index.php/view-document.html?gid=9244> (5/6/13)
- Μελέτη εκτίμησης επιπτώσεων στο περιβάλλον από την κατασκευή και λειτουργία σταθμού επεξεργασίας των λυμάτων του χοιροστασίου της εταιρίας Κυριάκος Τσίγκης χοιροτροφική ΛΤΔ από την NPRO Engineering Ltd
[http://www.moa.gov.cy/moa/environment/environment.nsf/0/59BEEA0E692730CBC225790A0023E692/\\$file/120-2010.pdf](http://www.moa.gov.cy/moa/environment/environment.nsf/0/59BEEA0E692730CBC225790A0023E692/$file/120-2010.pdf) (30/4/2013)
- [http://www.moa.gov.cy/moa/environment/environment.nsf/0/F02FFEC6850413B5C225790900269845/\\$file/60-2009.pdf](http://www.moa.gov.cy/moa/environment/environment.nsf/0/F02FFEC6850413B5C225790900269845/$file/60-2009.pdf) (14/6/13)
Μελέτη και εκτίμηση των επιπτώσεων στο περιβάλλον από την κατασκευή και λειτουργία χοιροτροφικής μονάδας και μονάδας επεξεργασίας αποβλήτων από την εταιρία MIDORIACO LTD
- Εγχειρίδιο βιοαερίου : Σιούλας Κωνσταντίνος, Teodorita Al Seadi, Dominik Rutz, Heinz Prassl, Michael Köttner, Tobias Finsterwalder, Silke Volk, Rainer Janssen
<http://www.lemvigbiogas.com/BiogasHandbookGR.pdf> (31/5/13)
- Biogas Digest Volume II Biogas - Application and Product Development
<http://www.biores.eu/docs/BIOGASFUNDAMENTALS/biogasdigestvol2.pdf>

(10/5/13)

Information and Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT)
GATE in Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), GmbH
(German Agency for Technical Cooperation)

- ATV / VIS Expert Committee 3.8.
- <http://www.engr.usask.ca/classes/BLE/482/notes/ABE%20482%20Lecture%208.pdf>

<http://www.engr.usask.ca/classes/BLE/482/notes/ABE%20482%20Lecture%209.pdf>

(12/6/13)