

MHX  
667

Α.Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΕΡΓ. Η.Μ.Ε. & ΠΡΟ.ΠΕ.  
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ:  
«ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ  
ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ»

# ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΜΗΧ/ΓΙΑΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΛΙΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΚΑΛΔΕΛΛΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΠΕΙΡΑΙΑΣ 2012

# Πίνακας περιεχομένων

|   |    |
|---|----|
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....  | 4  |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Βιοαέριο .....                                      | 6  |
| 1.1 Εισαγωγή .....  | 6  |
| 1.2 Σύσταση και ιδιότητες .....                                 | 6  |
| 1.3 Αναερόβια χώνευση .....                                     | 7  |
| 1.3.1 Παράμετροι της Αναερόβιας Χώνευσης .....                  | 8  |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Στοιχεία Εγκατάστασης Βιοαερίου .....               | 15 |
| 2.1 Εισαγωγή .....  | 15 |
| 2.2 Μονάδα Παραλαβής .....                                      | 16 |
| 2.3 Αποθήκευση της πρώτης ύλης .....                            | 16 |
| 2.4 Τροφοδοσία του χωνευτήρα .....                              | 17 |
| 2.5 Σύστημα θέρμανσης .....                                     | 18 |
| 2.6 Τεχνολογίες ανάδευσης .....                                 | 18 |
| 2.6.1 Μηχανική ανάδευση .....                                   | 19 |
| 2.6.2 Πνευματική ανάδευση .....                                 | 20 |
| 2.6.3 Υδραυλική ανάδευση .....                                  | 21 |
| 2.7 Αποθήκευση του βιοαερίου .....                              | 21 |
| 2.7.1 Δεξαμενές χαμηλής πίεσης .....                            | 22 |
| 2.7.2 Αποθήκευση βιοαερίου μέσης και υψηλής πίεσης .....        | 23 |
| 2.7.3 Πυρσοί βιοαερίου .....                                    | 23 |
| 2.8 Καθαρισμός του βιοαερίου .....                              | 24 |
| 2.8.1 Βελτίωση του αερίου .....                                 | 24 |
| 2.8.2 Αποθείωση .....   | 25 |
| 2.8.3 Ξήρανση .....   | 29 |
| 2.9 Μονάδα ελέγχου .....  | 30 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Τεχνολογίες συστημάτων αναερόβιας χώνευσης .....    | 33 |
| 3.1 Εισαγωγή .....  | 33 |
| 3.2 Συστήματα αναερόβιας χώνευσης .....                         | 33 |
| 3.2.1 Συστήματα Επεξεργασίας Στερεών Αποβλήτων .....            | 34 |
| 3.2.2 Συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων .....              | 42 |
| 3.3 Εγκαταστάσεις βιοαερίου παγκοσμίως .....                    | 42 |
| 3.3.1 Εγκαταστάσεις βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος .....       | 42 |
| 3.3.2 Κεντρικές (κοινές) εγκαταστάσεις συγχώνευσης .....        | 46 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Ενεργειακή εκμετάλλευση βιοαερίου .....             | 50 |
| 4.1 Άμεση καύση και χρήση της θερμότητας .....                  | 50 |
| 4.2 Συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ) ..... | 50 |
| 4.2.1 Μηχανές αερίου Otto .....                                 | 52 |
| 4.2.2 Μηχανή προέγχυσης καυσίμου .....                          | 52 |
| 4.2.3 Μηχανές Stirling .....                                    | 53 |
| 4.2.4 Μικροστρόβιλοι βιοαερίου .....                            | 53 |
| 4.2.5 Κυψέλες καυσίμου .....                                    | 54 |
| 4.3 Παραγωγή κομπόστ .....                                      | 56 |
| 4.3.1 Βιοδιάσπαση της οργανικής ουσίας .....                    | 56 |
| 4.3.2 Βελτίωση του λιπάσματος .....                             | 56 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.4 Εφαρμογή του κομπόστ ως λίπασμα.....  | 57  |
| 4.5 Βελτίωση του κομπόστ.....   | 58  |
| 4.5.1 Στρατηγικές βελτίωσης του κομπόστ.....  | 58  |
| 4.5.2 Απαραίτητες εκτιμήσεις .....  | 61  |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Δυναμικό βιοαερίου στην Ελλάδα.....   | 62  |
| 5.1 Παρούσα κατάσταση.....  | 62  |
| 5.2 Διαθεσιμότητα πρώτης ύλης και διάρθρωση του αγροτικού τομέα.....  | 62  |
| 5.2.2 Δυναμικό βιοαερίου από κτηνοτροφικά απόβλητα στο Νομό Καρδίτσας (Παράδειγμα Εφαρμογής)<br>.....   | 63  |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Βήματα αδειοδότησης ΑΠΕ από βιομάζα.....  | 71  |
| 6.1 Αδειοδοτική διαδικασία - βήματα:.....   | 71  |
| 6.1.1 Σταθμοί βιομάζας, βιοαερίου και βιοκαυσίμων με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μικρότερη ή ίση του 0,5MW :.....  | 71  |
| 6.1.2 Σταθμοί βιομάζας, βιοαερίου και βιοκαυσίμων με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μικρότερη ή ίση του 1,0 MW :.....                                       | 71  |
| 6.1.3 Σταθμοί βιομάζας, βιοαερίου και βιοκαυσίμων με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μεγαλύτερη του 1,0 MW :.....  | 72  |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Κατασκευή υπολογιστικού εργαλείου και μελέτες περιπτώσεων.....  | 73  |
| 7.1 Εισαγωγή.....   | 73  |
| 7.2 Ανάπτυξη υπολογιστικού μοντέλου.....  | 73  |
| 7.2.1 Χαρακτηριστικά βιομάζας προς χώνευση.....   | 73  |
| 7.2.2 Χαρακτηριστικά εγκατάστασης.....  | 74  |
| 7.2.3 Οικονομική αξιολόγηση της εγκατάστασης.....   | 79  |
| 7.3. Μελέτες περιπτώσεων.....   | 84  |
| 7.3.1 Μελέτη περίπτωσης 1: «Εγκατάσταση βιοαερίου με μονάδα CHP 500 kW».....  | 84  |
| 7.3.2 Μελέτη περίπτωσης 2: «Εγκατάσταση βιοαερίου με μονάδα CHP 1,3 MW».....  | 89  |
| 7.3.3 Μελέτη περίπτωσης 3: «Εγκατάσταση βιοαερίου με μονάδα CHP 2,0 MW».....  | 94  |
| Συγκριτικός Πίνακας Περιπτώσεων.....  | 99  |
| Μελέτη περίπτωσης 1.....  | 99  |
| Μελέτη περίπτωσης 2.....  | 99  |
| Μελέτη περίπτωσης 3.....  | 99  |
| Επιτόκιο αναγωγής.....  | 99  |
| 6%.....   | 99  |
| NPV (15 έτη).....   | 99  |
| 6.500.000 €.....  | 99  |
| IRR (15 έτη).....   | 99  |
| 17%.....  | 99  |
| Χρόνος αποπληρωμής (payback period).....  | 99  |
| 15 χρόνια.....  | 99  |
| Στον παραπάνω πίνακα φαίνεται ξεκάθαρα ότι από οικονομικής απόψης η «Μελέτη περίπτωσης 1» είναι η πιο συμφέρουσα.Κεφάλαιο 8: Επίλογος – Συμπεράσματα..... | 99  |
| Κεφάλαιο 8: Επίλογος – Συμπεράσματα.....  | 100 |

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συνεχιζόμενη αύξηση των ενεργειακών αναγκών, των σύγχρονων οργανωμένων κοινωνιών έχει επιφέρει σημαντικά προβλήματα στο περιβάλλον (εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, αλλαγή του κλίματος παγκοσμίως). Η ανάγκη για εύρεση νέων εναλλακτικών ενεργειών κυρίως ανανεώσιμων είναι επιτακτική. Η παραγωγή ενέργειας με χρήση βιοαερίου είναι ανανεώσιμη και παρέχεται συνεχώς καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Τα κτηνοτροφικά απόβλητα από τις διάφορες φάρμες εκτροφής ζώων, από εγκαταστάσεις επεξεργασίας κρέατος και από γαλακτοβιομηχανίες αποτελούν μια εξαιρετική πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαερίου. Μέχρι τώρα στην Ελλάδα τα απόβλητα αυτά αποτελούν επιβάρυνση για το περιβάλλον καθώς δεν επεξεργάζονται και δεν αξιοποιούνται κατάλληλα. Η Ελλάδα στην οποία η γεωργία αποτελεί ένα σημαντικό μέρος της οικονομίας της, η παραγωγή ενέργειας από τα κτηνοτροφικά απόβλητα είναι μια πολύ καλή λύση για την παραγωγή ενέργειας αρκεί οι τρόποι που θα χρησιμοποιηθούν να είναι οικονομικώς και κυρίως κοινωνικώς αποδεκτές.

Η εκμετάλλευση των αποβλήτων πραγματοποιείται μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται *αναερόβια χώνευση*(ΑΧ) και θα αναλυθεί και παρακάτω. Η διεργασία αυτή οδηγεί στην έκλυση βιοαερίου, το οποίο εισάγεται σε μηχανές εσωτερικής καύσης, με αποτέλεσμα τη παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Το υπόλειμμα από τη επεξεργασία των αποβλήτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα.

Η παραγωγή και η συλλογή του βιοαερίου από μια βιολογική διεργασία τεκμηριώθηκε για πρώτη φορά στο Ηνωμένο Βασίλειο το 1895 (METCALF και EDDY, 1979). Από τότε, η διεργασία αναπτύχθηκε περαιτέρω και εφαρμόστηκε ευρέως για την επεξεργασία απόβλητων υδάτων και τη σταθεροποίηση της λάσπης. Η ενεργειακή κρίση στις αρχές της δεκαετίας του '70 αναθέρμανε το ενδιαφέρον για τη χρήση των ανανεώσιμων καυσίμων, συμπεριλαμβανομένου του βιοαερίου από την ΑΧ. Το ενδιαφέρον για το βιοαέριο έχει αυξηθεί περισσότερο σήμερα λόγω των προσπαθειών σε παγκόσμια κλίμακα για την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων στην παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, καθώς και της ανάγκης για εξεύρεση περιβαλλοντικά αειφόρων λύσεων επεξεργασίας και ανακύκλωσης των ζωικών περιττωμάτων και των οργανικών αποβλήτων.

Οι εγκαταστάσεις βιοαερίου από ΑΧ, που επεξεργάζονται τα γεωργικά υποστρώματα (όπως τα ζωικά περιττώματα και οι πολτοί, τα φυτικά υπολείμματα, οι ενεργειακές καλλιέργειες, τα οργανικά απόβλητα από τις αγροτοβιομηχανικές μονάδες και την βιομηχανία παραγωγής τροφίμων) είναι μερικές από τις πιο σημαντικές εφαρμογές της ΑΧ σήμερα. Αρκετές χιλιάδες γεωργικές εγκαταστάσεις ΑΧ είναι σε λειτουργία στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική καθώς και στην Ασία. Πολλές από αυτές είναι μεγάλης κλίμακας και με εφαρμογή υψηλής τεχνολογίας και ο αριθμός τους έχει αυξηθεί αρκετά τα τελευταία έτη. Μόνο στη Γερμανία το 2007 λειτουργούσαν περισσότερες από 3700 εγκαταστάσεις βιοαερίου.

Το βιοαέριο από την ΑΧ είναι μια φτηνή και ουδέτερη σε CO<sub>2</sub> πηγή ανανεώσιμης ενέργειας, που προσφέρει τη δυνατότητα αξιοποίησης και ανακύκλωσης ενός ευρέως φάσματος γεωργικών υπολειμμάτων και υποπροϊόντων, διάφορων βιολογικών αποβλήτων, υγρών οργανικών αποβλήτων από τη βιομηχανία, και της ιλύος καθαρισμού των λυμάτων με έναν αειφόρο και φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο. Συγχρόνως, παρέχει διάφορα οφέλη (κοινωνικά – οικονομικά) συνολικά για ολόκληρη την κοινωνία καθώς επίσης και για τους εμπλεκόμενους χειριστές των εγκαταστάσεων βιοαερίου.

Υπολογίζεται ότι υπάρχει σημαντικό δυναμικό για την αύξηση της πραγματικής παραγωγής βιοαερίου στην Ευρώπη, βάσει των διάφορων γεωργικών πρώτων υλών. Οι νέες χώρες μέλη από την Ανατολική Ευρώπη πρέπει και αυτές να χρησιμοποιήσουν και να ωφεληθούν από το δυναμικό τους σε βιοαέριο.

Η ανάπτυξη των τεχνολογιών ΑΧ στην Ελλάδα θα συμβάλει στην επίλυση σημαντικών προβλημάτων περιβαλλοντικής ρύπανσης, ενώ θα ενισχύσει την βιώσιμη ανάπτυξη των αγροτικών κοινοτήτων και του γεωργικού τομέα και την ανάκαμψη της οικονομίας γενικότερα.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Βιοαέριο

## 1.1 Εισαγωγή

Το βιοαέριο μπορεί να θεωρηθεί μια ανανεώσιμη μορφή ενέργειας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμότητας, ηλεκτρισμού, λιπασμάτων. Επίσης, αν επεξεργαστεί και αναβαθμιστεί σε βιομεθάνιο, μπορεί να διοχετευθεί στο δίκτυο του φυσικού αερίου, και να χρησιμοποιηθεί και ως καύσιμο αέριο στα κινούμενα με φυσικό αέριο αυτοκίνητα.

## 1.2 Σύσταση και ιδιότητες

Το βιοαέριο παράγεται από τις διεργασίες της αναερόβιας χώνευσης των αγροτοβιομηχανικών απορριμμάτων, από τη χώνευση των λυμάτων και αποβλήτων στις χωματερές και τους βιολογικούς καθαρισμούς. Η πτυχιακή θα ασχοληθεί αποκλειστικά με τη παραγωγή βιοαερίου από **κτηνοτροφικά απόβλητα**.

Οι ιδιότητες και η σύσταση του βιοαερίου ποικίλλει ανάλογα με τη προέλευση της πρώτης ύλης, το σύστημα της εγκατάστασης τη θερμοκρασία παραμονής και άλλους παράγοντες. Στον Πίνακα 1.1 παρουσιάζονται κάποιες από τις μέσες τιμές σύνθεσης του βιοαερίου.

| <u>Συστατικό</u>      | <u>Χημικός τύπος</u> | <u>Περιεκτικότητα (Vol. %)</u> |
|-----------------------|----------------------|--------------------------------|
| Μεθάνιο               | $CH_4$               | 50-75                          |
| Διοξείδιο του άνθρακα | $CO_2$               | 25-45                          |
| Υδρατμοί              | $H_2O$               | 2(20°C)-7(40°C)                |
| Οξυγόνο               | $O_2$                | <2                             |
| Άζωτο                 | $N_2$                | <2                             |
| Αμμωνία               | $NH_3$               | <1                             |
| Υδρογόνο              | $H_2$                | <1                             |
| Υδρόθειο              | $H_2S$               | <1                             |

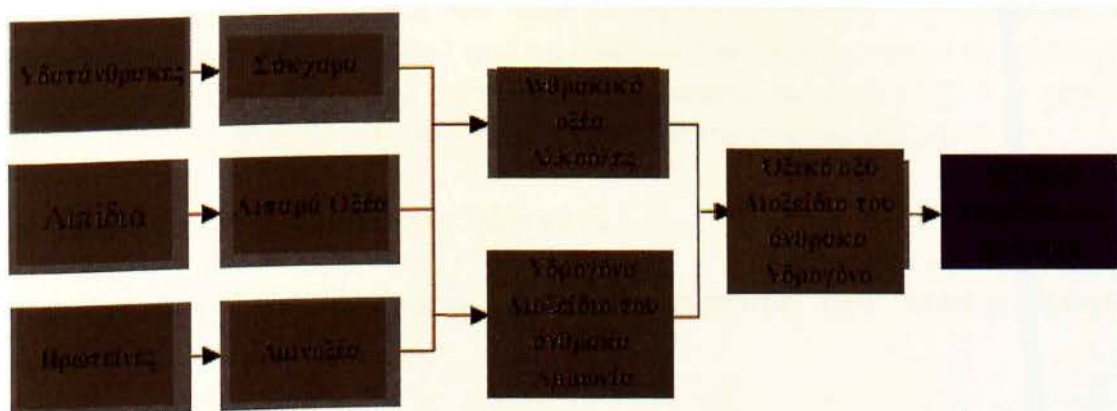
Πίνακας 1.1 Σύσταση βιοαερίου [1]

Η μέση θερμαντική ικανότητα του είναι περίπου  $21,6 \text{ MJ/Nm}^3$ , η μέση πυκνότητα  $1,22 \text{ kg/Nm}^3$  και η μάζα του είναι παρόμοια με αυτή του αέρα ( $1,29 \text{ kg/Nm}^3$ ). Όπως προκύπτει από τον παραπάνω πίνακα, η σημαντική περιεκτικότητα μεθανίου (50-75%) είναι αυτή που το καθιστά κατάλληλο να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για την παραγωγή ενέργειας.

### 1.3 Αναερόβια χώνευση

Ο τρόπος παραγωγής του βιοαερίου είναι «φυσικός» και όχι «τεχνητός», δεν παράγεται δηλαδή από κάποιο εργοστάσιο. Είναι προϊόν της διάσπασης οργανικών υλών από ένα μικροβιακό πληθυσμό που ζει σε ένα αναερόβιο περιβάλλον. Όταν οργανικό υλικό αποσυντίθεται σε ένα αναερόβιο περιβάλλον τα βακτήρια παράγουν μια μίξη από μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται *αναερόβια χώνευση*. Η μετατροπή των στερεών σε βιοαέριο έχει ως αποτέλεσμα ένα πολύ μικρό μέρος των στερεών να πρέπει να απομακρυνθεί μετά τη διαδικασία. Κατά τη διάρκεια της αναερόβιας χώνευσης οργανικά αζωτούχα συστατικά μετατρέπονται σε αμμωνία, θειούχα συστατικά μετατρέπονται σε υδρόθειο και το ασβέστιο σε διάφορα άλατα. Τα τελικά αποτελέσματα της αναερόβιας χώνευσης είναι βιοαέριο για παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, ένα πλούσιο οργανικά υπόλειμμα και άλλα ανόργανα υποπροϊόντα που μπορούν να πωληθούν στην αγορά.

Η αναερόβια χώνευση πραγματοποιείται από μια ομάδα βακτηρίων που μετατρέπουν το οργανικό μέρος σε βιοαέριο και σε ανόργανα προϊόντα. Η μετατροπή αυτή γίνεται σταδιακά σε 4 βήματα: την υδρόλυση, την οξειογένεση, την οξικογένεση και τη μεθανογένεση. Ένα διάγραμμα των διεργασιών αυτών παρουσιάζεται στο σχήμα 1.1.



#### ΥΔΡΟΛΥΣΗ ΟΞΕΟΓΕΝΕΣΗ ΟΞΙΚΟΓΕΝΕΣΗ ΜΕΘΑΝΟΓΕΝΕΣΗ

Σχήμα 1.1 Τα κύρια βήματα της αναερόβιας χώνευσης [5]

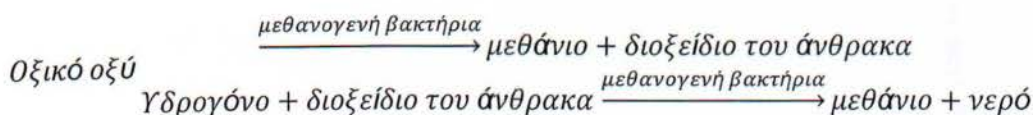
Να σημειωθεί ότι όλες οι ενδιάμεσες διεργασίες λαμβάνουν μέρος παράλληλα στο χρόνο και στο ίδιο μέρος.

Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει την υδρόλυση, κατά την οποία η σύνθετη οργανική ουσία αποσυντίθεται σε μικρότερα στοιχεία. Τα υδρολυτικά βακτηρίδια εκκρίνουν υδρολυτικά ένζυμα, μετατρέποντας τα βιοπολυμερή σε απλούστερες και διαλυτές ενώσεις. Τα προϊόντα που προκύπτουν αποσυντίθενται περαιτέρω από τους εμπλεκόμενους μικροοργανισμούς και χρησιμοποιούνται για τις δικές τους διεργασίες μεταβολισμού.

Στο δεύτερο στάδιο, την οξεογένεση, 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%) και σε πτητικά λιπαρά οξέα και αλκοόλες (30%).

Στο τρίτο στάδιο, 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.

Στο τέταρτο και τελευταίο στάδιο την μεθανογένεση, η παραγωγή του μεθανίου και του διοξειδίου του άνθρακα από ενδιάμεσα προϊόντα πραγματοποιείται από τα μεθανογενή βακτήρια. Το 70% του διαμορφωμένου μεθανίου προέρχεται από οξικό άλας, ενώ το υπόλοιπο 30% παράγεται από την μετατροπή του υδρογόνου και του διοξειδίου του άνθρακα σύμφωνα με την ακόλουθη αντίδραση:



Πρέπει να σημειωθεί ότι η μεθανογένεση είναι ένα κρίσιμο βήμα στην παραγωγή μεθανίου, δεδομένου ότι είναι η πιο αργή βιοχημική αντίδραση της διεργασίας. Η μεθανογένεση επηρεάζεται σοβαρά από τις συνθήκες λειτουργίας, όπως θα φανεί στη συνέχεια. Η υπερφόρτωση του χωνευτήρα, οι αλλαγές θερμοκρασίας ή η μεγάλη είσοδος οξυγόνου οδηγούν συνήθως στον τερματισμό της παραγωγής μεθανίου.

### 1.3.1 Παράμετροι της Αναερόβιας Χώνευσης

Η αποδοτικότητα της αναερόβιας χώνευσης εξαρτάται από μερικές κρίσιμες παραμέτρους:

- Τον τύπο του αποβλήτου που θα χωνευθεί
- Την συγκέντρωση
- Την θερμοκρασία
- Την παρουσία τοξικών υλικών
- Το pH και την αλκαλικότητα του
- Τον υδραυλικό χώρο παραμονής
- Τον χρόνο παραμονής των στερεών
- Ο ρυθμός ανάπτυξης των μικροοργανισμών
- Τον ρυθμό φορτώματος του χωνευτήρα
- Και τον ρυθμό που αποσπώνται από τον χωνευτήρα τα τοξικά απόβλητα της χώνευσης

Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά κάθε μια από τις παραμέτρους αυτές:



## Χαρακτηριστικά αποβλήτου

Όλα τα συστατικά του αποβλήτου δεν βιοδιασπώνται το ίδιο ή μετατρέπονται σε βιοαέριο μέσω της αναερόβιας χώνευσης. Τα αναερόβια βακτήρια δεν διασπούν την λιγνίνη και μερικούς άλλους υδρογονάνθρακες. Η χώνευση αποβλήτων που περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις αζώτου και θείου μπορεί να προκαλέσει υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνίας και υδρόθειου. Απόβλητα που δεν είναι υδατοδιαλυτά θα διασπώνται πολύ αργά. Στο πίνακα 1.2 παρουσιάζεται η παραγωγή μεθανίου από κτηνοτροφικά απόβλητα που ενδιαφέρουν την εργασία.

| <u>Πρώτη ύλη</u>                     | <u>Παραγωγή μεθανίου (%)</u> | <u>Παραγωγή βιοαερίου (m<sup>3</sup>/tΦΠΥ*)</u> |
|--------------------------------------|------------------------------|---|
| Υγρή κοπριά βοοειδών                 | 60                           | 25  |
| Υγρή κοπριά χοίρων                   | 65                           | 28  |
| Υπολείμματα αποστακτηρίων με διαλυτά | 61                           | 40  |
| Κοπριά βοοειδών                      | 60                           | 45  |
| Κοπριά χοίρων                        | 60                           | 60  |
| Κοπριά πουλερικών                    | 60                           | 80  |
| Τεύτλα                               | 53                           | 88  |
| Οργανικά απόβλητα                    | 61                           | 100   |
| Γλυκό σόργο                          | 54                           | 108   |
| Τεύτλα                               | 51                           | 111   |
| Σωρός χλόης                          | 54                           | 172   |
| Σωρός καλαμποκιού                    | 52                           | 202   |

Πίνακας 1.2 Παραγωγές μεθανίου των διαφορετικών πρώτων υλικών πρώτης ύλης [1]

## Συγκέντρωση του αποβλήτου

Τα χαρακτηριστικά του αποβλήτου μπορεί να αλλάξουν με μια διάλυση του με νερό. Η προσθήκη νερού θα μειώσει τη συγκέντρωση διάφορων συστατικών όπως άζωτο και θείο που όπως αναφέρθηκε παράγουν προϊόντα που εμποδίζουν την διαδικασία της χώνευσης. Χώνευση με υψηλή περιεκτικότητα σε στερεά δημιουργεί υψηλές συγκεντρώσεις τελικών προϊόντων που εμποδίζουν την αναερόβια αποσύνθεση. Έτσι κάποια προσθήκη νερού έχει θετικά αποτελέσματα. Η βιβλιογραφία προτείνει μια περιεκτικότητα 6-7% σε ολικά στερεά για να επιτυγχάνονται μεγαλύτερες αποδόσεις στην χώνευση.

## «Ξένα» υλικά

Η προσθήκη ξένων υλικών, όπως άμμου και λάσπης μπορεί να έχει αρνητικά σημαντική επίπτωση στην αναερόβια χώνευση, για αυτό το λόγο πρέπει να απομακρύνεται πριν τη χώνευση.

## Τοξικά υλικά

Τοξικά υλικά όπως μυκητοκτόνα και αντιβακτηριδιακοί παράγοντες μπορεί να έχουν το αντίθετο αποτέλεσμα στην διαδικασία. Η χώνευση μπορεί να διαχειριστεί μικρά ποσοστά τοξικών υλικών χωρίς δυσκολία.

## Θρεπτικά συστατικά

Τα βακτήρια απαιτούν μια σημαντική συγκέντρωση θρεπτικών συστατικών για να πετύχουν τη βέλτιστη ανάπτυξη τους. Η αναλογία άνθρακα/άζωτο (C/N) στο απόβλητο πρέπει να είναι λιγότερη από 43. Οι Hills and Roberts έδειξαν ότι ένας μη-λιγνινικός λόγος C/N της τάξεως του 20 με 25 είναι βέλτιστος για την καλύτερη λειτουργία του χωνευτήρα.

| Τύπος πρώτης ύλης              | Οργανικό περιεχόμενο             | Αναλο γία C:N | ΞΟ %  | VS % της ΞΟ | Παραγωγή βιοαερί ου $m^3/kg^*$ VS | Ανεπιθύμητες φυσικές ακαθαρσίες                            | Άλλα ανεπιθύμητα υλικά              |
|--------------------------------|----------------------------------|---------------|-------|-------------|-----------------------------------|--|-------------------------------------|
| Πολτός χοίρων                  | Υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λιπίδια | 3-10          | 3-8   | 70-80       | 0,25-0,50                         | Ξέσματα ξύλου, σκληρές τρίχες, ύδωρ, άμμος, σκοινιά, άχυρο | Αντιβιοτικά, απολυμαντικά           |
| Πολτός βοοειδών                | Υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λιπίδια | 6-20          | 5-12  | 80          | 0,20-0,30                         | Σκληρές τρίχες, χώμα, ύδωρ, άχυρα, ξύλα                    | Αντιβιοτικά, απολυμαντικά, $NH_4^+$ |
| Πολτός πουλερικών              | Υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λιπίδια | 3-10          | 10-30 | 80          | 0,35-0,60                         | Αμμοχάλικο, άμμος, φτερά                                   | Αντιβιοτικά, απολυμαντικά, $NH_4^+$ |
| Περιεχόμενα στομαχιών, εντέρων | Υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λιπίδια | 3-5           | 15    | 80          | 0,40-0,68                         | Ζωικοί ιστοί   | Αντιβιοτικά, απολυμαντικά           |
| Τυρόγαλο                       | 75-80% λακτόζη, 20-25% πρωτεΐνες | n.a           | 8-12  | 90          | 0,35-0,80                         | Ακαθαρσίες μεταφοράς                                       |                                     |
| Συμπυκνωμέν                    | 75-80%                           | n.a           | 20-25 | 90          | 0,80-                             | Ακαθαρσίες   |                                     |

|                        |                                 |         |       |       |           |                                      |  |
|------------------------|---------------------------------|---------|-------|-------|-----------|--------------------------------------|--|
| ος ορός γάλακτος       | λακτόζη, 20-25% πρωτεΐνες       |         |       |       | 0,95      | μεταφοράς                            |  |
| Λάσπη επίπλευσης       | 65-70% πρωτεΐνες 30-35% λιπίδια |         |       |       |           | Ζωικοί ιστοί                         | Βαριά μέταλλα, απολυμαντικά, οργανικοί ρύποι |
| Αποπλύματα της ζύμωσης | Υδατάνθρακες                    | 4-10    | 1-5   | 80-95 | 0,35-0,78 | Τα μη διασπώμενα υπολείμματα φρούτων |  |
| Άχυρο                  | Υδατάνθρακες, λιπίδια           | 80-100  | 70-90 | 80-90 | 0,15-0,35 | Άμμος, αμμοχάλικο                    |  |
| Απόβλητα κήπων         |                                 | 100-150 | 60-70 | 90    | 0,20-0,50 | Χώμα, Κουπταρινικά συστατικά         | Φυτοφάρμακα                                  |
| Χλόη                   |                                 | 12-25   | 20-25 | 90    | 0,55      | Αμμοχάλικο                           | Φυτοφάρμακα                                  |
| Σωρός χλόης            |                                 | 10-25   | 15-25 | 90    | 0,56      | Αμμοχάλικο                           |  |

Πίνακας 1.3 Χαρακτηριστικά κτηνοτροφικών αποβλήτων

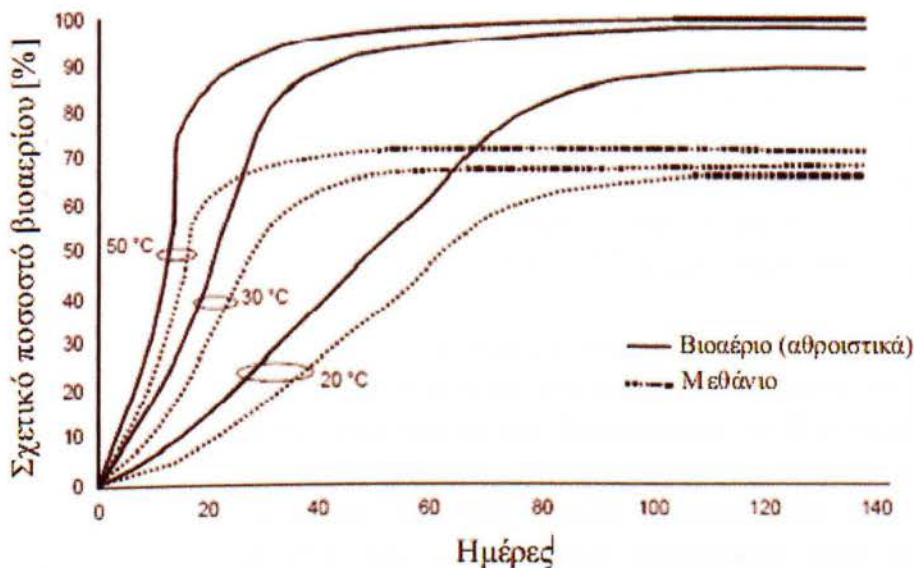
## Θερμοκρασία

Η διεργασία της αναερόβιας χώνευσης μπορεί να πραγματοποιηθεί σε διαφορετικές θερμοκρασίες που χωρίζονται σε τρία θερμοκρασιακά εύρη: ψυχρόφιλη (κάτω από 20° C), μεσόφιλη (30-42° C) και θερμόφιλη (43-55° C). Υπάρχει μια συσχέτιση μεταξύ της θερμοκρασίας διεργασίας και του υδραυλικού χρόνου παραμονής (πίνακας 1.4)

| <u>Θερμικό στάδιο</u> | <u>Θερμοκρασίες διεργασίας</u> | <u>Ελάχιστος χρόνος παραμονής</u> |
|-----------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Ψυχρόφιλη</b>      | <20°C                          | 70 έως 80 ημέρες                  |
| <b>Μεσόφιλη</b>       | 30 έως 42°C                    | 30 έως 40 ημέρες                  |
| <b>Θερμόφιλη</b>      | 43 έως 55°C                    | 15 έως 20 ημέρες                  |

Πίνακας 1.4: Θερμικά στάδια και χαρακτηριστικοί χρόνοι παραμονής [25]

Η σταθερότητα της θερμοκρασίας έχει καθοριστική σημασία για την διαδικασία. Στην πράξη η θερμοκρασία λειτουργίας επιλέγεται σε συνάρτηση με την χρησιμοποιούμενη πρώτη ύλη και η θερμοκρασία διεργασίας συνήθως παρέχεται από ενδοδαπέδια ή επιτοίχια συστήματα θέρμανσης μέσα στον χωνευτήρα. Το σχήμα 1.2 δείχνει τους σχετικούς ρυθμούς παραγωγής βιοαερίου ανάλογα με την θερμοκρασία και τον χρόνο παραμονής.



Σχήμα 1.2: Σχετικοί ρυθμοί παραγωγής βιοαερίου ανάλογα με την θερμοκρασία και τον χρόνο παραμονής [5]

Πολλές σύγχρονες εγκαταστάσεις βιοαερίου λειτουργούν σε θερμοφίλες θερμοκρασίες διεργασίας, καθώς η θερμοφιλή διεργασία παρέχει αρκετά **πλεονεκτήματα**, έναντι της ψυχρόφιλης και μεσόφιλης διεργασίας όπως:

- Αποτελεσματική καταστροφή των παθογόνων οργανισμών
- Υψηλότερο ποσοστό αύξησης μεθανογενών βακτηριδίων σε υψηλότερες θερμοκρασίες
- Μειωμένος χρόνος παραμονής, που καθιστά τη διεργασία αποδοτικότερη και γρηγορότερη
- Βελτιωμένη ικανότητα χώνευσης και διαθεσιμότητα των υποστρωμάτων
- Καλύτερη υποβάθμιση των στερεών υποστρωμάτων και καλύτερη χρήση των υποστρωμάτων
- Καλύτερη δυνατότητα διαχωρισμού των υγρών και στερεών μερών

Τα κύρια μειονεκτήματα της θερμοφιλής διεργασίας είναι:

- Ο μεγάλος ρυθμός ανισορροπίας
- Η μεγαλύτερη ζήτηση ενέργειας λόγω της υψηλής θερμοκρασίας
- Ο υψηλότερος κίνδυνος παρεμπόδισης της αμμωνίας

Η εμπειρία δείχνει ότι σε υψηλή φόρτωση του χωνευτήρα ή σε χαμηλό υδραυλικό χρόνο παραμονής, ένας χωνευτήρας που λειτουργεί θερμοφιλά έχει υψηλότερη παραγωγή αερίου και μεγαλύτερο ρυθμό μετατροπής σε σχέση με ένα μεσόφιλο χωνευτήρα.

Η υψηλότερη ζήτηση ενέργειας στη θερμοφιλή διεργασία δικαιολογείται λόγω της υψηλότερης παραγωγής βιοαερίου. Είναι σημαντικό να κρατηθεί μια σταθερή

θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της διεργασίας της χώνευσης, δεδομένου ότι οι αλλαγές ή οι διακυμάνσεις στη θερμοκρασία έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στην παραγωγή του βιοαερίου. Τα θερμοφιλα βακτήρια είναι πιο ευαίσθητα σε διακυμάνσεις της θερμοκρασίας κατά  $\pm 1^\circ \text{C}$  και απαιτούν περισσότερο χρόνο στο να προσαρμοστούν σε μια νέα θερμοκρασία, προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη παραγωγή μεθανίου. Τα μεσόφιλα βακτηρίδια είναι λιγότερο ευαίσθητα. Είναι δυνατόν να εμφανισθούν διακυμάνσεις της θερμοκρασίας της τάξης των  $\pm 3^\circ \text{C}$  χωρίς σημαντικές μειώσεις στην παραγωγή μεθανίου.

Η θερμοκρασία είναι μια μεταβλητή που επηρεάζει πολλούς παράγοντες. Επηρεάζει τον ρυθμό δράσης των βακτηρίων όπως επίσης και την ποσότητα υγρασίας στο βιοαέριο. Η υγρασία του βιοαερίου αυξάνει εκθετικά με την θερμοκρασία. Η θερμοκρασία επίσης επηρεάζει την ποσότητα του αερίου και των πτητικών οργανικών συστατικών όπως και την συγκέντρωση της αμμωνίας και των άλλων ανασταλτικών στη διαδικασία συστατικών. Τέλος, το ιξώδες των χωνευόμενων συστατικών είναι αντιστρόφως ανάλογο της θερμοκρασίας. Θερμόφιλη διεργασία οδηγεί σε χαμηλότερο ιξώδες.

## Τιμές pH

Τα μεθανογενή βακτήρια απαιτούν ένα ουδέτερο έως ελάχιστα αλκαλικό περιβάλλον (6.8 μέχρι 8.5) για να παράγουν μεθάνιο. Το βέλτιστο εύρος pH για τη μεσόφιλη χώνευση είναι μεταξύ 6.5 και 8, και η διεργασία παρεμποδίζεται σοβαρά εάν η τιμή του pH μειωθεί κάτω από 6 ή ανέλθει πάνω από το 8,3. Η διαλυτότητα του διοξειδίου του άνθρακα στο ύδωρ μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Η τιμή του pH στους θερμοφίλους χωνευτήρες είναι επομένως υψηλότερη απ' ό,τι στους μεσόφιλους, καθώς το διαλυμένο διοξείδιο του άνθρακα διαμορφώνει ανθρακικό οξύ από την αντίδραση του με το νερό. Η τιμή του pH μπορεί να αυξηθεί από την αμμωνία που παράγεται κατά την υποβάθμιση των πρωτεϊνών, ή από την παρουσία αμμωνίας στο ρεύμα τροφοδοσίας, ενώ η συσσώρευση πτητικών λιπαρών οξέων (VFA) μειώνει την τιμή του pH.

Η τιμή του pH στους αναερόβιους αντιδραστήρες ελέγχεται κυρίως από το σύστημα ανάσχεσης των διττανθρακικών αλάτων. Επομένως, η τιμή του pH των χωνευτήρων βιοαερίου εξαρτάται από τη μερική πίεση του  $\text{CO}_2$  και τη συγκέντρωση αλκαλικών και όξινων συστατικών στην υγρή φάση. Εάν συμβαίνει συσσώρευση βάσεων ή οξέων, η ικανότητα ανάσχεσης ισοσταθμίζει τις αλλαγές στο pH μέχρι ένα ορισμένο επίπεδο. Όταν ξεπερνιέται η ικανότητα ανάσχεσης του συστήματος, εμφανίζονται δραστικές αλλαγές στις τιμές του pH, εμποδίζοντας εξολοκλήρου τη διεργασία. Για τον λόγο αυτό δεν μπορεί να συστηθεί μια τιμή του pH ως αυτόνομη παράμετρος ελέγχου της διεργασίας.

## Οργανικό φορτίο

Η κατασκευή των εγκαταστάσεων βιοαερίου απαιτεί ένα συνδυασμό οικονομικών και τεχνικών εκτιμήσεων. Η μέγιστη παραγωγή βιοαερίου που λαμβάνεται από την πλήρη χώνευση του υποστρώματος θα απαιτούσε ένα μεγάλο υδραυλικό χρόνο παραμονής και ένα αντίστοιχο μεγέθους χωνευτήρα. Στην πράξη, η επιλογή του συστήματος (π.χ.

το μέγεθος και ο τύπος χωνευτήρα) βασίζεται σε έναν συμβιβασμό μεταξύ της μέγιστης παραγωγής βιοαερίου και της δικαιολογήσιμης οικονομίας. Από αυτή την άποψη, το οργανικό φορτίο είναι μια σημαντική παράμετρος λειτουργίας, η οποία δείχνει πόσο πολύ οργανική ξηρή ουσία μπορεί να τροφοδοτηθεί στον χωνευτήρα, ανά  $m^3$  όγκου και μονάδα χρόνου, σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

$$B_R = \frac{m * c}{V_R} \quad (1.1)$$

Όπου:

$B_R$ = οργανικό φορτίο [ $\frac{kg}{d} * m^3$ ]

$M$ = μάζα τροφοδοτούμενου υποστρώματος ανά μονάδα χρόνου [kg/d]

$c$ = συγκέντρωση οργανικής ουσίας [%]

$V_R$ = όγκος του χωνευτήρα [ $m^3$ ]

### Υδραυλικός χρόνος παραμονής

Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής είναι το μέσο χρονικό διάστημα κατά το οποίο διατηρείται το υπόστρωμα μέσα στη δεξαμενή του χωνευτήρα. Ο υδραυλικός χρόνος σχετίζεται με τον όγκο του χωνευτήρα ( $V_R$ ) και τον όγκο του υποστρώματος που τροφοδοτείται στη μονάδα του χρόνου, σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$(\text{υδραυλικός χρόνος παραγωγής}) = \frac{V_R}{V} \quad (1.2)$$

Όπου:

$V_R$ : όγκος του χωνευτήρα [ $m^3$ ]

$V$ : όγκος του υποστρώματος που τροφοδοτείται στη μονάδα του χρόνου [ $m^3/d$ ]

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

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Στοιχεία Εγκατάστασης Βιοαερίου

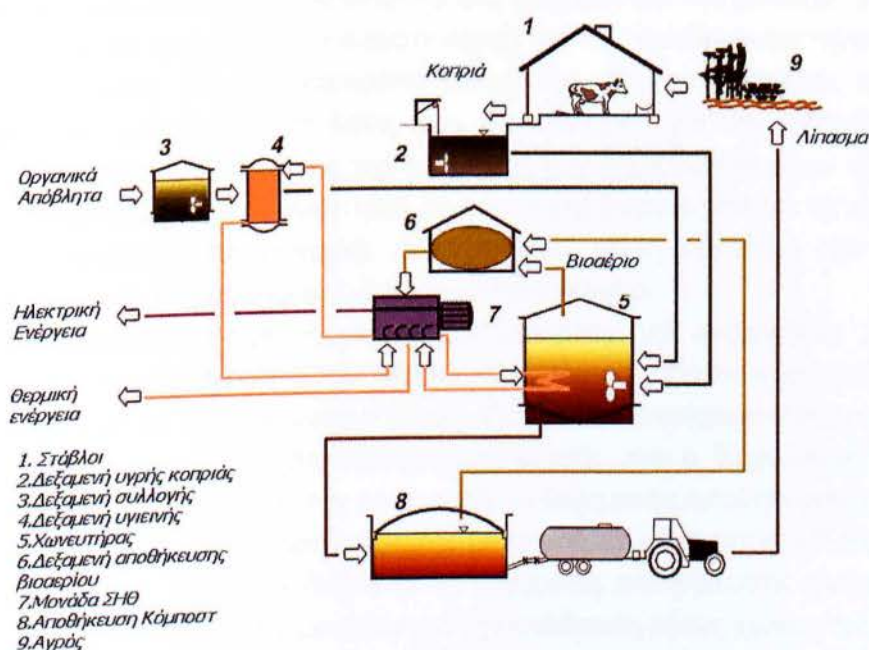
### 2.1 Εισαγωγή

Μια μονάδα βιοαερίου είναι μια σύνθετη εγκατάσταση, αποτελούμενη από μία ποικιλία κύριων στοιχείων. Η διάταξη μιας τέτοιας εγκατάστασης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τους τύπους και τις ποσότητες της παρεχόμενης πρώτης ύλης. Δεδομένου ότι υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι πρώτης ύλης, διαφορετικής προέλευσης, που είναι κατάλληλοι για χώνευση σε εγκαταστάσεις βιοαερίου, υπάρχουν, αντίστοιχα, διάφορες τεχνικές για τον χειρισμό αυτών των τύπων πρώτης ύλης, αλλά και διαφορετικές κατασκευές χωνευτήρων και συστημάτων λειτουργίας. Επιπλέον, ανάλογα με τον τύπο, το μέγεθος και τις συνθήκες λειτουργίας της κάθε εγκατάστασης βιοαερίου, είναι δυνατόν να εφαρμοστούν διάφορες τεχνολογίες για τη βελτίωση, την αποθήκευση και την χρήση του βιοαερίου.

Οι αγροτικές εγκαταστάσεις βιοαερίου λειτουργούν συνήθως με τέσσερα διαφορετικά στάδια διεργασίας:

1. Μεταφορά, παράδοση, αποθήκευση και προεπεξεργασία της πρώτης ύλης
2. Παραγωγή βιοαερίου
3. Αποθήκευση του κομπόστ, ενδεχόμενη βελτίωση και χρησιμοποίηση του
4. Αποθήκευση βιοαερίου, βελτίωση και χρήση

Τα στάδια της διεργασίας παρουσιάζονται στο σχήμα 2.1.



### Σχήμα 2.1: Αγροτικές εγκαταστάσεις βιοαερίου

Παρακάτω παρουσιάζονται οι διαφορετικές μονάδες της εγκατάστασης βιοαερίου και οι τεχνολογίες τους. [2]

## 2.2 Μονάδα Παραλαβής

Κύριο μέλημα σε μια εγκατάσταση βιοαερίου είναι να εξασφαλιστεί η πρώτη ύλη. Ο σταθερός ανεφοδιασμός της με πρώτη ύλη στη κατάλληλη ποσότητα και ποιότητα είναι κρίσιμο στοιχείο για την ομαλή λειτουργία της εγκατάστασης. Ακόμα και αν ο παραγωγός είναι και συγχρόνως και χειριστής της εγκατάστασης, ίσως στην χώνευση χρειαστούν και πρόσθετα υλικά από γειτονικά αγροκτήματα. Στην μονάδα αυτή πρέπει να καταγράφονται:

1. Στοιχεία πρώτης ύλης (προμηθευτής, ποσότητα, βάρος, τύπος)
2. Τήρηση ρυθμιστικών υποχρεώσεων, νομικοί και διοικητικοί περιορισμοί (ανάλογα με την κατηγορία των αποβλήτων)

## 2.3 Αποθήκευση της πρώτης ύλης

Ο τύπος των εγκαταστάσεων αποθήκευσης εξαρτάται από την πρώτη ύλη. Για την κοπριά κατάλληλος χώρος αποθήκευσης είναι οι δεξαμενές, όπου μπορεί η κοπριά να παραμείνει για αρκετές μέρες. Σε μερικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται και κάθετα κυλινδρικά σιλό.

Η αντλήσιμη πρώτη ύλη γενικά αποθηκεύεται σε σφραγισμένες, υδατοστεγείς και από ενισχυμένο σκυρόδεμα δεξαμενές μέσα στο έδαφος. Αυτές οι δεξαμενές, που είναι παρόμοιες με αυτές που χρησιμοποιούνται στη γεωργία, για την αποθήκευση της υγρής κοπριάς, έχουν μια χωρητικότητα ικανοποιητική για την αποθήκευση πρώτης ύλης για μια έως δύο ημέρες. Για την αποτροπή εκπομπών, όλες οι δεξαμενές αποθήκευσης πρέπει να είναι καλυμμένες. Η λύση που θα επιλεγεί για την κάλυψη πρέπει να εξασφαλίζει το εύκολο άνοιγμα και την αφαίρεση των δημιουργούμενων ιζημάτων. Εάν η δεξαμενή αποθήκευσης τοποθετηθεί σε ένα υψηλότερο επίπεδο σε σχέση με τον χωνευτήρα (επικλινής τοπογραφία), η υδραυλική κλίση εξαλείφει την ανάγκη για εξοπλισμό μεταφοράς (αντλίες) και εξοικονομείται ενέργεια.

Τα ομο-υποστρώματα (υγρά ή στιβάσιμα) μπορούν να αναμιχθούν με τα κύρια υποστρώματα στην δεξαμενή αποθήκευσης, να θρυμματισθούν, ομογενοποιηθούν και μετασχηματιστούν σε ένα αντλήσιμο μίγμα. Πρέπει να αποφεύγονται η απόφραξη, η ιζηματογένεση, η δημιουργία στρωμάτων επίπλευσης, και ο διαχωρισμός φάσης του μίγματος της πρώτης ύλης. Για τον λόγο αυτό, οι δεξαμενές αποθήκευσης εξοπλίζονται με αναδευτήρες που συχνά συνδυάζονται με εργαλεία σκισίματος και κοπής για την θραύση της πρώτης ύλης. Η ανάδευση στις δεξαμενές αποθήκευσης γίνεται με την ίδια τεχνική ανάδευσης που χρησιμοποιείται για την ανάδευση στους χωνευτήρες.

Οι δεξαμενές αποθήκευσης απαιτούν περιορισμένη συντήρηση, περιλαμβανομένης της αφαίρεσης των ιζηματικών στρωμάτων από άμμο και πέτρες, που μειώνει την ικανότητα



αποθήκευσης των δεξαμενών. Τα ιζήματα αφαιρούνται χρησιμοποιώντας δάπεδα καθαρισμού, μεταφορικούς κοχλίες, αντλίες φρεατίων, δεξαμενές συλλογής ή συστήματα φρεζαρίσματος.

Επίσης σε αυτή τη φάση μπορεί να βελτιωθεί η πρώτη ύλη για να τηρεί τους κανόνες υγιεινής. Ενδεικτικά, για να αποφευχθεί μόλυνση του φορτίου της πρώτης ύλης πρέπει να γίνει αποστείρωση υπό πίεση και παστερίωση πριν αντληθεί η πρώτη ύλη στον χωνευτήρα. Η ευρωπαϊκή νομοθεσία ρυθμίζει τις πρακτικές επεξεργασίας των αποβλήτων.

Τέλος, μπορεί να είναι απαραίτητη η πολτοποίηση της πρώτης ύλης προκειμένου να ληφθεί πρώτη ύλη με σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε ύδωρ, η οποία μπορεί έπειτα να τροφοδοτηθεί στο χωνευτήρα μέσω αντλιών. Η πολτοποίηση πραγματοποιείται στις δεξαμενές αποθήκευσης ή τους προ-χωνευτήρες, πριν αντληθεί το υλικό στον κύριο χωνευτήρα. Τα υγρά που χρησιμοποιούνται για τη διεργασία πολτοποίησης εξαρτώνται από τη διαθεσιμότητα και είναι συνήθως ακατέργαστη υγρή κοπριά, κομπόστ, νερό διεργασιών ή ακόμα και γλυκό νερό.

## 2.4 Τροφοδοσία του χωνευτήρα

Η αντλήσιμη πρώτη ύλη μεταφέρεται από τις δεξαμενές αποθήκευσης στο χωνευτήρα με αντλίες. Αυτή η κατηγορία συμπεριλαμβάνει τους ζωικούς πολτούς και ένα μεγάλο αριθμό υγρών οργανικών αποβλήτων (απόβλητα γαλακτοκομίας κτλ). Δύο είναι οι τύποι αντλιών: Οι φυγοκεντρικές και οι αντλίες μετατόπισης. Στη παρούσα διπλωματική εργασία δεν θα αναλυθεί η τεχνολογία των αντλιών αυτών. Ενδεικτικά στο σχήμα 2.2 φαίνεται ένα σύστημα άντλησης.



Σχήμα 2.2 Σύστημα άντλησης [25]

Οι τύποι της πρώτης ύλης που είναι μη αντλήσιμοι (χλόη, χορτονομή, κοπριά με υψηλή περιεκτικότητα σε άχυρο κλπ.) μπορούν να μεταφερθούν από έναν φορτωτή στο σύστημα τροφοδοσίας και έπειτα να διοχετευθούν στο χωνευτήρα. Και οι δύο τύποι

πρώτης ύλης (αντλήσιμη και μη-αντλήσιμη) μπορούν να τροφοδοτούνται ταυτόχρονα στον χωνευτήρα.

Προσοχή πρέπει να δίνεται στη θερμοκρασία της πρώτης ύλης που τροφοδοτείται στον χωνευτήρα. Μπορούν να εμφανιστούν μεγάλες διαφορές μεταξύ της θερμοκρασίας της νέας πρώτης ύλης και της θερμοκρασίας λειτουργίας του χωνευτήρα εάν η πρώτη ύλη έχει υποστεί υγειονομική επεξεργασία (μέχρι 130°C) ή κατά τη διάρκεια του χειμώνα (κάτω από 0°C). Οι διαφορές θερμοκρασίας διαταράσσουν τη βιολογία της διεργασίας, προκαλώντας απώλεια στην παραγωγή αερίου και πρέπει επομένως να αποφεύγονται.

## 2.5 Σύστημα θέρμανσης

Όπως ειπώθηκε, η θερμοκρασία είναι ένας από τους πιο κρίσιμους παράγοντες για τη σωστή χώνευση του υποστρώματος και μια υψηλή παραγωγή βιοαερίου. Αυτή πρέπει να διατηρείται όσο το δυνατόν πιο σταθερή γίνεται. Όμως συχνά στη διαδικασία παρουσιάζονται αυξομειώσεις στη θερμοκρασία. Οι αιτίες των διακυμάνσεων είναι διάφορες. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικές από αυτές:

- Ακραίες θερμοκρασίες περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και του χειμώνα
- Προσθήκη νέας ύλης με διαφορετική θερμοκρασία από αυτή της διεργασίας
- Ανεπαρκής μόνωση ή λάθος διαστασιολόγηση του συστήματος θέρμανσης
- Ανεπαρκής τοποθέτηση των θερμαντικών στοιχείων

Μια λύση για να αντισταθμιστούν οι απώλειες θερμότητας είναι οι χωνευτήρες να μονώνονται και να θερμαίνονται από εξωτερικές πηγές θέρμανσης. Η θερμική ενέργεια συνήθως προέρχεται από την μονάδα ΣΗΘ της εγκατάστασης του βιοαερίου.

Η θέρμανση της πρώτης ύλης μπορεί να γίνεται είτε κατά τη διάρκεια της διεργασίας τροφοδοσίας (προθέρμανση), μέσω εναλλακτικών θερμότητας ή μέσα στο χωνευτήρα, με τη βοήθεια θερμαντικών στοιχείων, καυτού ατμού κλπ. Η προθέρμανση των υποστρωμάτων πρώτης ύλης κατά τη διάρκεια της τροφοδοσίας έχει το πλεονέκτημα της αποφυγής διακυμάνσεων της θερμοκρασίας μέσα στο χωνευτήρα. Πολλές εγκαταστάσεις βιοαερίου χρησιμοποιούν έναν συνδυασμό και των δύο τύπων θέρμανσης της πρώτης ύλης.

## 2.6 Τεχνολογίες ανάδευσης

Η ελάχιστη ανάδευση της βιομάζας μέσα στο χωνευτήρα πραγματοποιείται με παθητική ανάδευση. Αυτή επιτυγχάνεται από την εισαγωγή της νέας πρώτης ύλης και τα επακόλουθα ρεύματα θερμικής μεταφοράς καθώς επίσης και από την ροή προς τα επάνω των φυσαλίδων αερίου. Καθώς η παθητική ανάδευση δεν επαρκεί για τη βέλτιστη λειτουργία του χωνευτήρα, πρέπει να εφαρμοσθεί ενεργητική ανάδευση με τη χρήση μηχανικού, υδραυλικού ή πνευματικού εξοπλισμού. Στο 90% περίπου των εγκαταστάσεων βιοαερίου χρησιμοποιείται μηχανικός εξοπλισμός.

Το περιεχόμενο του χωνευτήρα πρέπει να αναδεύεται αρκετές φορές ημερησίως προκειμένου να αναμιχθεί η νέα πρώτη ύλη με το υπάρχον υπόστρωμα μέσα στο χωνευτήρα. Η ανάδευση αποτρέπει το σχηματισμό κρούστας και στρωμάτων βύθισης (ιζήματα), τη μεταφορά των βακτηριδίων (μικροοργανισμών) στα σωματίδια της νέας πρώτης ύλης, τη διευκόλυνση της προς τα επάνω ροής των φυσαλίδων αερίου, και για την ομογενοποίηση της κατανομής της θερμότητας και των θρεπτικών ουσιών.

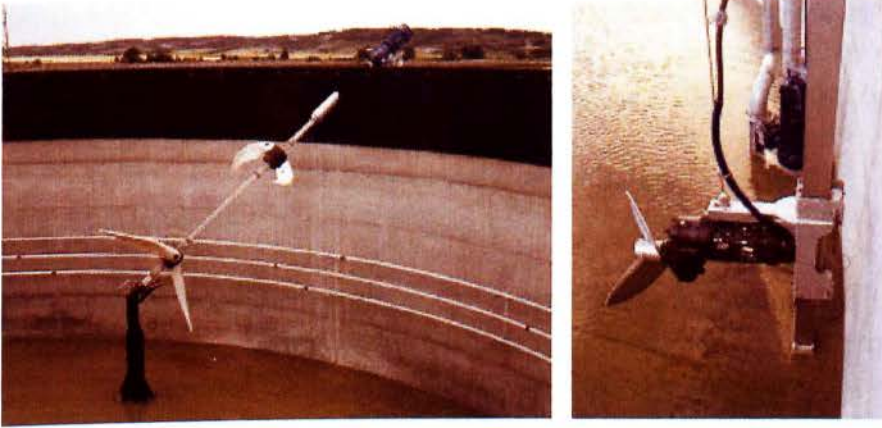
Γενικά, οι αναδευτήρες μπορούν να λειτουργούν συνεχώς ή κατά διαστήματα. Η εμπειρία δείχνει ότι τα διαστήματα ανάδευσης μπορούν να βελτιστοποιηθούν εμπειρικά και να προσαρμοστούν στις ιδιαιτερότητες της εκάστοτε εγκατάστασης βιοαερίου (μέγεθος δεξαμενής, ποιότητα πρώτης ύλης, τάση δημιουργίας επιπλεόντων στρωμάτων κλπ.). Μετά από την αρχική φόρτωση και την εκκίνηση της εγκατάστασης, η εμπειρία και ο έλεγχος θα καθορίσουν τη βέλτιστη διάρκεια και τη συχνότητα των διαστημάτων ανάδευσης, καθώς επίσης και τις ρυθμίσεις στους αναδευτήρες.

Η εμπειρία από τη Δανία δείχνει ότι οι βυθιζόμενοι, ηλεκτρικά οδηγούμενοι αναδευτήρες μέσης ταχύτητας, που χρησιμοποιούνταν ευρέως στο παρελθόν, απεδείχθησαν ακριβοί στη λειτουργία τους και δύσκολα προσβάσιμοι για συντήρηση και επιθεώρηση. Στη συνέχεια, οι αργά περιστρεφόμενοι αναδευτήρες, που εγκαθίστανται κεντρικά, στο επάνω μέρος των χωνευτήρων, αποδείχθηκαν μια καλή εναλλακτική λύση, αν και η χρήση τους απαιτεί ένα σωστά ρυθμισμένο επίπεδο βιομάζας στο χωνευτήρα, προκειμένου να αποφευχθούν τα επιπλέοντα στρώματα.

### 2.6.1 Μηχανική ανάδευση

Η μηχανική ανάδευση των χωνευτήρων πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας αναδευτήρες, οι οποίοι μπορούν να ταξινομηθούν ως πολύ γρήγορα περιστρεφόμενοι αναδευτήρες, μέτρια περιστρεφόμενοι αναδευτήρες, και αργά περιστρεφόμενοι αναδευτήρες.

Στους κατακόρυφους χωνευτήρες χρησιμοποιούνται συχνά οι αναδευτήρες έλικα με καταδύσιμο κινητήρα (Σχήμα 2.3). Οδηγούνται από ηλεκτρικούς κινητήρες χωρίς γρανάζια, με υδατοστεγή κουβούκλια και αντιδιαβρωτικά επιχρίσματα, οι οποίοι ψύχονται από το περιβάλλον ρευστό. Βυθίζονται εντελώς στην πρώτη ύλη και συνήθως έχουν δύο ή τρεις πτερωτές, γεωμετρικά βελτιστοποιημένες έλικες. Λόγω του συστήματος καθοδήγησής τους με σωλήνες, που αποτελείται από ένα ικρίωμα, ένα βαρούλκο καλωδίων και την οδηγό κατατομή, οι αναδευτήρες μπορούν συνήθως να προσαρμοστούν ως προς το ύψος, την κλίση και ως προς την πλευρά.



*Σχήμα 2.3: Αναδευτήρες πτερυγίων (αριστερά) και αναδευτήρας έλικας με καταδυσόμενο κινητήρα (δεξιά) [25]*

Οι αναδευτήρες πτερυγίων έχουν έναν οριζόντιο, κατακόρυφο ή διαγώνιο άξονα Ο κινητήρας τοποθετείται στην εξωτερική μεριά του χωνευτήρα. Οι συνδέσεις, όπου ο άξονας διέρχεται από την οροφή του χωνευτήρα, η στέγη από μεμβράνη ή τα τοιχώματα του χωνευτήρα πρέπει να είναι στεγανά.

Μια άλλη δυνατότητα για μηχανική μίξη είναι οι αξονικοί αναδευτήρες. Αυτοί συνήθως λειτουργούν συνεχώς. Οι αξονικοί αναδευτήρες τοποθετούνται συνήθως σε άξονες που εγκαθίστανται κεντρικά στην οροφή του χωνευτήρα. Η ταχύτητα της μηχανής, που τοποθετείται έξω από το χωνευτήρα, μειώνεται σε μερικές στροφές ανά λεπτό, χρησιμοποιώντας ένα σύστημα μετάδοσης της κίνησης. Πρέπει να δημιουργήσουν ένα σταθερό ρεύμα στο χωνευτήρα που να ρέει από τον πυθμένα επάνω στα τοιχώματα.

Στους οριζόντιους χωνευτήρες, συνήθως χρησιμοποιούνται οι αργά περιστρεφόμενοι αναδευτήρες πτερυγίων-πηνίου, οι οποίοι μπορούν επίσης να εγκατασταθούν και στους κατακόρυφους χωνευτήρες. Τα πτερύγια στερεώνονται στον οριζόντιο άξονα ανάδευσης, ο οποίος αναμιγνύει και προωθεί (στρωτή ροή) την πρώτη ύλη της αναερόβιας χώνευσης. Η επίδραση της ανάδευσης πρέπει να παρέχει μόνο την κατακόρυφη μίξη της πρώτης ύλης. Το οριζόντιο ρεύμα στρωτής ροής διασφαλίζεται από την εισαγωγή νωπής πρώτης ύλης στο χωνευτήρα. Οι σωλήνες θέρμανσης είναι συχνά ενσωματωμένοι στον άξονα κίνησης και στους βραχίονες του αναδευτήρα, για τη θέρμανση της πρώτης ύλης της αναερόβιας χώνευσης. Οι αναδευτήρες πτερυγίων ή πηνίου λειτουργούν αρκετές φορές ανά ημέρα, με σύντομες ακολουθίες και χαμηλή ταχύτητα.

## **2.6.2 Πνευματική ανάδευση**

Η πνευματική ανάδευση χρησιμοποιεί το βιοαέριο που αναβλύζει από τον πυθμένα του χωνευτήρα μέσω της μάζας πρώτης ύλης βιομάζας. Οι φυσαλίδες του ανερχόμενου αερίου προκαλούν μια κατακόρυφη μετακίνηση και ανακατώνουν την πρώτη ύλη. Αυτό το σύστημα έχει το πλεονέκτημα ότι ο απαραίτητος εξοπλισμός τοποθετείται στην εξωτερική πλευρά του χωνευτήρα (αντλίες και συμπιεστές), οπότε η φθορά είναι μικρότερη. Η πνευματική ανάδευση της πρώτης ύλης αναερόβιας χώνευσης

χρησιμοποιείται λιγότερο συχνά στις γεωργικές εγκαταστάσεις βιοαερίου. Η τεχνολογία δεν είναι κατάλληλη για την αποδόμηση των στρωμάτων επίπλευσης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για λεπτή υγρή πρώτη ύλη, με μια χαμηλή τάση δημιουργίας επιπλέοντος στρώματος.

### **2.6.3 Υδραυλική ανάδευση**

Εάν γίνεται υδραυλική ανάδευση, η πρώτη ύλη συμπιέζεται από αντλίες και οριζόντιες ή πρόσθετες κατακόρυφα περιστρεφόμενες σχισμές, στο χωνευτήρα. Η αναρρόφηση και η εκκένωση της πρώτης ύλης αναερόβιας χώνευσης πρέπει να σχεδιαστούν κατά τέτοιο τρόπο ώστε το περιεχόμενο του χωνευτήρα να αναδεύεται όσο το δυνατόν περισσότερο. Τα συστήματα υδραυλικής ανάδευσης έχουν το πλεονέκτημα ότι τα μηχανικά μέρη των αναδευτήρων είναι τοποθετημένα εξωτερικά του χωνευτήρα, υφίστανται λιγότερη φθορά και μπορούν να συντηρηθούν εύκολα. Η υδραυλική μίξη είναι μόνο περιστασιακά κατάλληλη για την αποδόμηση των επιπλεόντων στρωμάτων και, όπως και η πνευματική ανάδευση, χρησιμοποιείται μόνο για λεπτή υγρή πρώτη ύλη, με χαμηλή τάση δημιουργίας επιπλέοντος στρώματος.

## **2.7 Αποθήκευση του βιοαερίου**

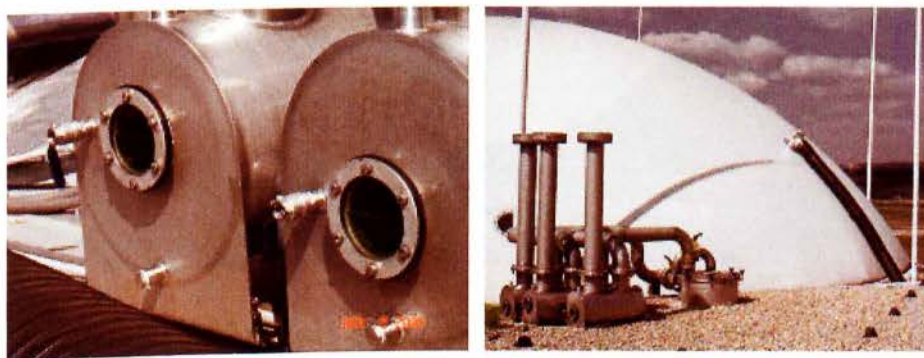
Η παραγωγή του βιοαερίου πρέπει να διατηρείται όσο το δυνατόν πιο σταθερή και συνεχής. Μέσα στο χωνευτήρα, το βιοαέριο διαμορφώνεται σε κυμαινόμενες ποσότητες και με αιχμές απόδοσης. Επιπλέον, η ζήτηση για βιοαέριο, π.χ. σε μια μονάδα ΣΗΘ, μπορεί επίσης να μεταβάλλεται. Για να αντισταθμιστούν όλα αυτά, είναι απαραίτητο να αποθηκεύεται προσωρινά το παραγόμενο βιοαέριο, σε κατάλληλες εγκαταστάσεις αποθήκευσης.

Σήμερα διατίθενται διάφορες επιλογές για τις εγκαταστάσεις αποθήκευσης του βιοαερίου. Η πιο απλή λύση είναι η αποθήκευση του βιοαερίου να γίνει στο επάνω μέρος των χωνευτήρων με τη χρήση μιας ειδικής μεμβράνης, η οποία επίσης χρησιμοποιείται ως κάλυμμα του χωνευτήρα. Στις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις συνήθως δημιουργούνται ξεχωριστές δεξαμενές αποθήκευσης του βιοαερίου είτε ως αυτόνομες διατάξεις είτε περιλαμβανόμενες σε κτίρια αποθήκευσης. Οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης του βιοαερίου μπορούν να λειτουργούν σε χαμηλή, μέση ή υψηλή πίεση.

Η σωστή επιλογή και διαστασιολόγηση του συστήματος αποθήκευσης έχει μια ουσιαστική συμβολή στην αποδοτικότητα, την αξιοπιστία και την ασφάλεια των εγκαταστάσεων βιοαερίου, εξασφαλίζοντας τον σταθερό ανεφοδιασμό με βιοαέριο και μειώνοντας τις απώλειες.

Όλες οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης βιοαερίου πρέπει να είναι αεροστεγείς και ανθεκτικές στην πίεση, και στην περίπτωση των εγκαταστάσεων αποθήκευσης που δεν προστατεύονται από κτήρια, πρέπει να είναι ανθεκτικές στην θερμοκρασία, στον καιρό και την υπεριώδη ακτινοβολία (UV). Πριν από την εκκίνηση της εγκατάστασης, οι

δεξαμενές αποθήκευσης του αερίου πρέπει να ελεγχθούν ως προς τη στεγανότητα τους. Για λόγους ασφάλειας πρέπει να είναι εξοπλισμένες με βαλβίδες ασφαλείας (για υποπίεση και υπερπίεση) (Σχήμα 2.4) για να αποτραπούν οι ζημιές και οι κίνδυνοι στην ασφάλεια. Πρέπει επίσης να είναι εγγυημένη η προστασία από έκρηξη και απαιτείται μια φωτοβολίδα έκτακτης ανάγκης. Η δεξαμενή πρέπει να έχει την ικανότητα να αποθηκεύει τουλάχιστον το ένα τέταρτο της καθημερινής παραγωγής βιοαερίου. Κανονικά, συστήνεται ένα δυναμικό αποθήκευσης της παραγωγής μίας ή δύο ημερών.



Σχήμα 2.4: Εγκαταστάσεις πίεσης και βαλβίδες ασφαλείας [25]

### 2.7.1 Δεξαμενές χαμηλής πίεσης

Οι συχνότερα χρησιμοποιούμενες δεξαμενές χαμηλής πίεσης έχουν ένα εύρος υπερπίεσης από 0,05 έως 0,5 mbar και κατασκευάζονται από ειδικές μεμβράνες που πρέπει να πληρούν έναν αριθμό απαιτήσεων ασφαλείας. Οι δεξαμενές μεμβράνης εγκαθίστανται ως εξωτερικοί ταμιευτήρες αερίου ή ως θόλοι / καλύμματα αερίου επάνω από το χωνευτήρα.

Οι εξωτερικές δεξαμενές χαμηλής πίεσης μπορούν να σχεδιαστούν με τη μορφή μαξιλαριών μεμβράνης (Σχήμα 2.5). Τα μαξιλάρια μεμβράνης τοποθετούνται σε κτήρια για προστασία από τα καιρικά φαινόμενα ή εφοδιάζονται με μια δεύτερη μεμβράνη.



Σχήμα 2.5: Εξωτερικές δεξαμενές αποθήκευσης αερίου χαμηλής πίεσης [25]

Εάν ο χωνευτήρας ή ο μετα-χωνευτήρας χρησιμοποιούνται για αποθήκευση του βιοαερίου πρέπει να καλύπτονται με αεροστεγείς θόλους μεμβράνης (δεξαμενές διπλής

μεμβράνης) (Σχήμα 2.6 αριστερά), στερεωμένους στο ανώτερο άκρο του χωνευτήρα. Μπορεί να εγκατασταθεί στο χωνευτήρα ένα πλαίσιο στήριξης για να κρατάει τη μεμβράνη όταν είναι κενός. Η μεμβράνη επεκτείνεται σύμφωνα με τον όγκο του περιεχόμενου αερίου. Προκειμένου να περιοριστεί η επέκταση της μεμβράνης, μπορεί να τοποθετηθεί ένα ειδικό πλέγμα γύρω από αυτή (Σχήμα 2.6 δεξιά).



Σχήμα 2.6: Κάλυμμα χωνευτήρα από αεροστεγή μεμβράνη, όπως παρατηρείται στο εσωτερικό της δεξαμενής, αριστερά, εφοδιασμένα εξωτερικά με πλέγμα διαστολής, δεξιά [25]

### 2.7.2 Αποθήκευση βιοαερίου μέσης και υψηλής πίεσης

Το βιοαέριο μπορεί επίσης να αποθηκευτεί σε δεξαμενές μέσης και υψηλής πίεσης, σε πιέσεις μεταξύ 5 και 250 bar, σε χαλύβδινες δεξαμενές πίεσης και φιάλες. Αυτά τα είδη αποθήκευσης έχουν πολύ υψηλά κόσθη λειτουργίας και υψηλή κατανάλωση ενέργειας. Για τις δεξαμενές αερίου μέχρι 10 bar, πρέπει να υπολογιστούν απαιτήσεις σε ενέργεια έως 0,22 kWh/m<sup>3</sup> και για τις δεξαμενές υψηλής πίεσης από 200 έως 300 bar, η ανάγκη σε ενέργεια είναι της τάξης των 0,31 kWh/m<sup>3</sup>. Λόγω του μεγάλου κόστους τους, αυτά τα είδη αποθήκευσης του βιοαερίου χρησιμοποιούνται σπάνια στις γεωργικές εγκαταστάσεις βιοαερίου.

### 2.7.3 Πυρσοί βιοαερίου

Υπάρχουν καταστάσεις όπου παράγεται περισσότερο βιοαέριο απ' όση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας. Αυτό μπορεί να συμβεί λόγω του εξαιρετικά υψηλού ρυθμού παραγωγής αερίου ή μέσω της διακοπής/συντήρησης του συστήματος ανάκτησης της ενέργειας. Σε τέτοιες περιπτώσεις, είναι απαραίτητες εφεδρικές λύσεις, όπως η πρόσθετη αποθήκευση βιοαερίου ή τα πρόσθετα συστήματα παραγωγής ενέργειας. Η αποθήκευση του βιοαερίου είναι δυνατή για μικρές χρονικές περιόδους χωρίς συμπίεση, αλλά για περιόδους άνω των μερικών ωρών γενικά δεν είναι εφικτή λόγω του μεγάλου όγκου. Τα πρόσθετα συστήματα ανάκτησης της ενέργειας (π.χ. μία δεύτερη μονάδα ΣΗΘ) μπορεί να είναι πολύ ακριβά. Για τον λόγο αυτό, κάθε εγκατάσταση βιοαερίου είναι εξοπλισμένη με έναν «πυρσό» βιοαερίου. Στις καταστάσεις όπου υπάρχει μια περίσσεια βιοαερίου, η οποία δεν μπορεί να αποθηκευτεί ή να χρησιμοποιηθεί, η ανάφλεξη είναι η τελευταία λύση, απαραίτητη για την εξάλειψη

οποιοδήποτε κινδύνων ασφάλειας και για την προστασία του περιβάλλοντος. Σε εξαιρετικές καταστάσεις, η ανάφλεξη θα μπορούσε να είναι η λύση για την ασφαλή διάθεση του βιοαερίου που παρήχθη από τις διεργασίες της αναερόβιας χώνευσης, όπου δεν είναι εφικτή η ενεργειακή ανάκτηση.

Η διεργασία της καύσης καθορίζει τα οφέλη ενός τύπου πυρσού σε σχέση με κάποιο άλλο. Είναι επίσης ένα θέμα για τα πρότυπα εκπομπών και τα κριτήρια απόδοσης που χρησιμοποιούνται στην ρύθμιση των πυρσών. Αυτές οι δύο παράμετροι, θερμοκρασία και χρόνος παραμονής, διαμορφώνουν τις προδιαγραφές απόδοσης για τους περισσότερους προηγμένους πυρσούς. Τα σχέδια των πυρσών πρέπει να στοχεύουν στη μεγιστοποίηση της μετατροπής του μεθανίου προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η απελευθέρωση άκαυτου μεθανίου και οποιωνδήποτε προϊόντων της ελλιπούς οξείδωσης (όπως το μονοξείδιο του άνθρακα). Ενδέχεται να σχηματισθούν αρκετά ανεπιθύμητα υποπροϊόντα της καύσης του βιοαερίου, ανάλογα με τον λόγο του αέρα, τη θερμοκρασία και την κινητική των αντιδράσεων της καύσης. Προκειμένου να μεγιστοποιηθούν οι επιθυμητές αντιδράσεις και να ελαχιστοποιηθούν οι ανεπιθύμητες το εύρος της θερμοκρασίας πρέπει να είναι 850 – 2000 οC και ο χρόνος παραμονής το ελάχιστο 0,3 δευτερόλεπτα. Στο σχήμα 2.7 παρουσιάζονται 2 μοντέρνοι πυρσοί βιοαερίου.



Σχήμα 2.7: Μοντέρνοι πυρσοί βιοαερίου [25]

## 2.8 Καθαρισμός του βιοαερίου

### 2.8.1 Βελτίωση του αερίου

Όταν το βιοαέριο φεύγει από το χωνευτήρα είναι διαποτισμένο με υδατμούς και περιέχει, εκτός από μεθάνιο ( $CH_4$ ) και διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ) διάφορα ποσά υδρόθειου ( $H_2S$ ). Το υδρόθειο είναι τοξικό, με μία ιδιαίτερη, δυσάρεστη οσμή, παρόμοια με αυτή των κλούβιων αυγών, και δημιουργεί θειικό οξύ σε συνδυασμό με τους υδατμούς στο βιοαέριο. Το θειικό οξύ είναι διαβρωτικό και μπορεί να προκαλέσει



φθορές στις μηχανές ΣΗΘ, τις σωληνώσεις του αερίου, τις καμινάδες, κλπ. Για τον λόγο αυτό, είναι απαραίτητη η αποθείωση και η ξήρανση του βιοαερίου.

Οι κατασκευαστές των μονάδων ΣΗΘ παρέχουν ελάχιστες προδιαγραφές για τις ιδιότητες του καύσιμου αερίου (Πίνακας 2.1). Οι ιδιότητες της καύσης πρέπει να είναι εγγυημένες προκειμένου να αποτραπεί η ζημία στις μηχανές. Αυτό ισχύει επίσης για τη χρήση του βιοαερίου. Ανάλογα με τη χρήση του βιοαερίου (π.χ. καύσιμο οχημάτων, κυψέλες καυσίμων), είναι απαραίτητα περαιτέρω μέτρα βελτίωσης του αερίου.

|   |                         |                  |  |
|---|-------------------------|------------------|--|
| Θερμογόνος<br>(χαμηλότερη<br>ικανότητα)   | ικανότητα<br>θερμογόνος | $H_u$            | $\geq 4 \frac{kWh}{m^3}$                 |
| Περιεκτικότητα<br>(σύνολο)  | σε θείο                 | S                | $\leq 2,2 \text{ g/m}^3 \text{ CH}_4$    |
| ή περιεκτικότητα  | σε $H_2S$               | $H_2S$           | $\leq 0,15 \text{ Vol. \%}$              |
| Περιεκτικότητα<br>(σύνολο)  | σε χλώριο               | Cl               | $\leq 100,0 \text{ mg/m}^3 \text{ CH}_4$ |
| Περιεκτικότητα<br>(σύνολο)  | σε φθόριο               | F                | $\leq 50,0 \text{ mg/m}^3 \text{ CH}_4$  |
| Άθροισμα<br>φθορίου   | χλωρίου και<br>φθορίου  | (Cl + F)         | $\leq 100,0 \text{ mg/m}^3 \text{ CH}_4$ |
| Σκόνη (3...10μm)  |                         |                  | $\leq 10,0 \text{ mg/m}^3 \text{ CH}_4$  |
| Σχετική υγρασία (στη<br>χαμηλότερη θερμοκρασία αέρα<br>εισαγωγής, δηλ. συμπύκνωση<br>στο σωλήνα εισαγωγής και<br>την πορεία ελέγχου του αερίου) |                         | $\varphi$        | $< 90\%$                                 |
| Πίεση ροής πριν την είσοδο<br>μέσα στην πορεία ελέγχου του<br>αερίου  |                         | $p_{\text{Gas}}$ | 20-100 mbar                              |
| Διακύμανση της πίεσης του<br>αερίου   |                         |                  | $< \pm 10\%$ of set value                |
| Θερμοκρασία αερίου  |                         | T                | 10-50 °C                                 |
| Υδρογονάνθρακες (>C5)   |                         |                  | $\leq 0,4 \text{ mg/m}^3 \text{ CH}_4$   |
| Πυρίτιο (σε SI >5mg/m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub><br>ανάλυση ελαίου της<br>περιεκτικότητας σε μέταλλα<br><15 mg/kg το παρατηρούμενο<br>έλαιο   |                         | Si               | $\leq 10,0 \text{ mg/m}^3 \text{ CH}_4$  |
| Αρίθμηση μεθανίου (το MC του<br>βιοαερίου είναι περίπου 135)  |                         | MZ               | >135                                     |

Πίνακας 2.1: Ελάχιστες ιδιότητες για αέρια καύσιμα με σχετική περιεκτικότητα σε οξυγόνο 5% [12]

## 2.8.2 Αποθείωση

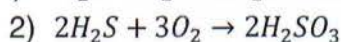
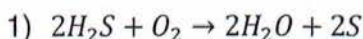
Το ξηρό βιοαέριο από την αναερόβια χώνευση των ζωικών περιττωμάτων έχει ένα μέσο περιεχόμενο 1000 – 3000 ppm υδρόθειου ( $H_2S$ ) [6] Το βιοαέριο που παράγεται κατά τη

συγχώνευση των ζωικών περιπτώματων με άλλα υποστρώματα, μπορεί να περιέχει διάφορα επίπεδα  $H_2S$ . Όταν το βιοαέριο χρησιμοποιείται σε μηχανές αερίου για τη συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού (ΣΗΘ), το περιεχόμενο του υδρόθειου πρέπει να είναι κάτω από 700 ppm για τις περισσότερες από τις συμβατικές μηχανές αερίου, προκειμένου να αποφευχθεί η υπερβολική διάβρωση και η πάρα πολύ γρήγορη και δαπανηρή φθορά του λιπαντέλαιου.

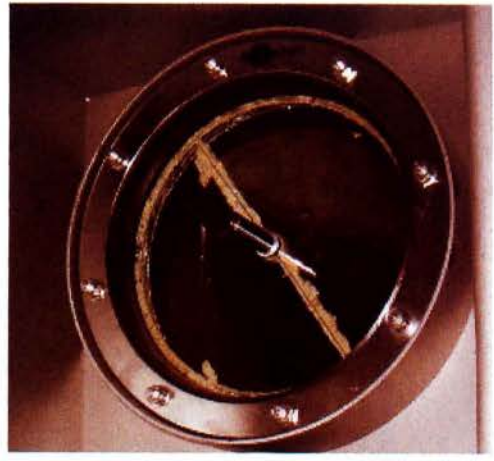
Η αφαίρεση του υδρόθειου ( $H_2S$ ) από το βιοαέριο (αποθείωση) μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους είτε βιολογικές είτε χημικές, λαμβάνοντας χώρα εσωτερικά ή εξωτερικά του χωνευτήρα. Η αποθείωση εξαρτάται από το περιεχόμενο σε  $H_2S$  και την τιμή ρυθμοαπόδοσης σε όλο τον εξοπλισμό αποθείωσης. Η τιμή ρυθμοαπόδοσης μπορεί να κυμαίνεται σημαντικά, ανάλογα με τη διεργασία. Η υψηλότερη παραγωγή βιοαερίου συνεπώς και οι υψηλότερες τιμές ρυθμοαπόδοσης μπορούν να παρατηρηθούν μετά από την εισαγωγή της νέας πρώτης ύλης στο χωνευτήρα και κατά τη διάρκεια της ανάδευσης. Τιμές ρυθμοαπόδοσης υψηλότερες από το 50% του κανονικού μπορούν να εμφανιστούν για σύντομα χρονικά διαστήματα. Για τον λόγο αυτό και προκειμένου να εξασφαλιστεί πλήρης αποθείωση, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιείται υπερδιαστασιοποιημένος εξοπλισμός αποθείωσης, σε σύγκριση με τη μέση τιμή ρυθμοαπόδοσης.

### 2.8.2.1 Βιολογική αποθείωση στον χωνευτήρα

Η βιολογική οξειδωση είναι μια από τις συχνότερα χρησιμοποιούμενες μεθόδους, βασιζόμενη στην έγχυση μιας μικρής ποσότητας αέρα (2-8%) στο ακατέργαστο βιοαέριο. Με αυτόν τον τρόπο, το υδρόθειο οξειδώνεται βιολογικά είτε σε ελεύθερο (στερεό) θείο (Σχήμα 2.8) είτε σε (υδατώδες) θειούχο οξύ, σύμφωνα με τις ακόλουθες εξισώσεις:

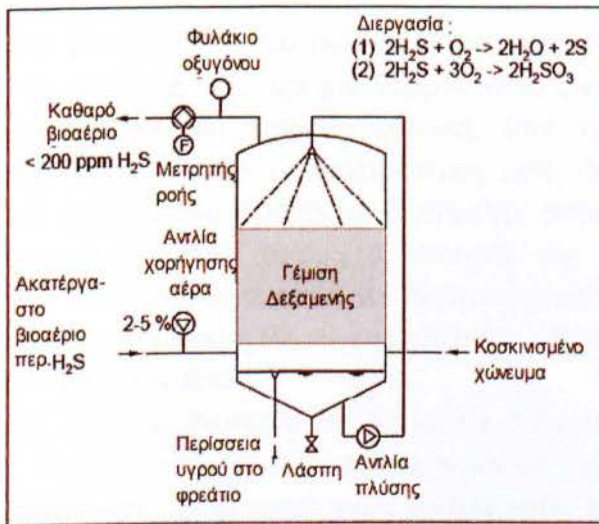


Η βιολογική αποθείωση συχνά λαμβάνει χώρα μέσα στο χωνευτήρα, ως μία οικονομικά αποδοτική μέθοδος. Γι' αυτό το είδος αποθείωσης, πρέπει να είναι παρόντα οξυγόνο και οξειδωτικά σουλφοβακτηρίων, για τη μετατροπή του υδρόθειου σε στοιχειακό θείο, παρουσία οξυγόνου. Τα οξειδωτικά σουλφοβακτήρια είναι παρόντα μέσα στο χωνευτήρα (δεν χρειάζεται να προστεθούν) δεδομένου ότι το υπόστρωμα της αναερόβιας χώνευσης περιέχει τις απαραίτητες θρεπτικές ουσίες για το μεταβολισμό τους. Το οξυγόνο παρέχεται δια εγχύσεως αέρα στο επάνω μέρος του χωνευτήρα. Αυτό μπορεί να γίνει με έναν πολύ μικρό συμπιεστή. Οι σωλήνες εγχύσεως αέρα μέσα στο χωνευτήρα πρέπει να τοποθετούνται στην αντίθετη πλευρά της εξαγωγής του βιοαερίου, προκειμένου να αποφευχθεί η παρεμπόδιση του σωλήνα εξαγωγής.



Σχήμα 2.8: Στοιχειακό θείο, που προκύπτει από βιολογική αποθείωση μέσα στο χωνευτήρα

Ο αέρας εγχέεται απευθείας στον κύριο χώρο του χωνευτήρα και οι αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα στον χώρο αυτό του αντιδραστήρα, στο επιπλέον στρώμα (εάν υπάρχει) και στα τοιχώματα του αντιδραστήρα. Λόγω της όξινης φύσης των προϊόντων υπάρχει ο κίνδυνος διάβρωσης. Η διεργασία επίσης εξαρτάται από την ύπαρξη ενός σταθερού επιπλέοντος στρώματος μέσα στο χωνευτήρα. Για τους λόγους αυτούς, η διεργασία συχνά λαμβάνει χώρα σε έναν χωριστό αντιδραστήρα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.9.



Σχήμα 2.9: Σχηματικό διάγραμμα του συστήματος για τη βιολογική οξειδωση του  $H_2S$  [3]

Ο αντιδραστήρας (Σχήμα 2.10) είναι παρόμοιος με έναν τρίφτη, αποτελούμενος από μια πορώδη γέμιση (τυχαία συσκευασμένα πλαστικά στοιχεία ή κάτι τέτοιο) όπου μπορούν να αναπτυχθούν μικροοργανισμοί, ένα φρεάτιο, αντλία και μια διάταξη ακροφυσίων, που επιτρέπει το τακτικό ράντισμα της γέμισης. Ο αντιδραστήρας που παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.10 έχει χωρητικότητα  $80 \text{ m}^3$  με  $50 \text{ m}^3$  υλικού πλήρωσης. Το  $H_2S$

οξειδώνεται μέσω μιας βιολογικής διεργασίας στα όξινα προϊόντα ή ελεύθερο θείο, με την ανάντη έγχυση μιας μικρής ποσότητας ατμοσφαιρικού αέρα.



Σχήμα 2.10: Δεξαμενή αντιδραστήρα για την αφαίρεση του υδρόθειου [19]

Το ράντισμα έχει τη λειτουργία του να ξεπλένει τα όξινα προϊόντα και να παρέχει θρεπτικές ουσίες στους μικροοργανισμούς. Το φρεάτιο πρέπει επομένως να περιέχει ένα υγρό με υψηλή αλκαλικότητα και πλούσιο σε ζωτικές θρεπτικές ουσίες. Το κομπόστ, κατά προτίμηση κοσκινισμένο, είναι η ιδανική διαθέσιμη επιλογή σ' αυτή την περίπτωση.

Η συνήθης επιλογή είναι μία φόρτωση του αντιδραστήρα περίπου  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  βιοαερίου ανά  $\text{m}^3$  της γέμισης του αντιδραστήρα και μια θερμοκρασία διεργασίας γύρω στους  $35^\circ\text{C}$ . Η διεργασία έχει αποδειχθεί πολύ αποδοτική, υπό τον όρο ότι εγχέεται ικανοποιητική ποσότητα αέρα (ελαφρώς περισσότερος από αυτόν που χρειάζεται στοιχειομετρικά). Το pH στο φρεάτιο πρέπει να διατηρείται στην τιμή 6,0 ppm ή και παραπάνω. Μια διεργασία πλύσης, όπου τα στοιχεία της γέμισης ραντίζονται κατευθείαν με ένα μίγμα αέρα/ύδατος, πρέπει να πραγματοποιείται σε τακτά χρονικά διαστήματα προκειμένου να αποτραπούν οι εναποθέσεις ελεύθερου θείου από το κλείσιμο της γέμισης του αντιδραστήρα.

Σε μερικές περιπτώσεις, όπου το βιοαέριο αποθηκεύεται ή περνάει από το κομπόστ μετά την αποθήκευση, ο αντιδραστήρας  $\text{H}_2\text{S}$  παραλείπεται και εγχέεται μόνο αέρας. Ο καθαρισμός τότε στηρίζεται στο σχηματισμό ενός επιπλέοντος στρώματος στη μετά-αποθήκευση, όπου μπορούν να αναπτυχθούν οι μικροοργανισμοί και να εκτελέσουν την οξείδωση. Ένα επιπλέον στρώμα μπορεί συνήθως να διατηρηθεί με την επιλογή μιας χαμηλής έντασης για την μίξη, χωρίς πάρα πολλά προβλήματα στη λειτουργία της δεξαμενής ως χώρου προσωρινής αποθήκευσης. Αυτή η λύση είναι οικονομικά πιο αποδοτική, αλλά και πιο αναξιόπιστη, καθώς τα επιπλέοντα στρώματα είναι ασταθή, μπορούν δηλ. να βυθιστούν κατά τη διάρκεια της νύχτας χωρίς ειδοποίηση και να ξαναέρθουν στην επιφάνεια μερικές ημέρες αργότερα. Έτσι, θα υπάρξουν μερικές περιόδους με χαμηλή αποδοτικότητα αφαίρεσης του  $\text{H}_2\text{S}$ .

### 2.8.2.2 Χημική αποθείωση στον χωνευτήρα

Η αποθείωση μπορεί επίσης να γίνει με την προσθήκη μιας χημικής ουσίας στο μίγμα της πρώτης ύλης, μέσα στο χωνευτήρα. Με αυτό τον τρόπο, το θείο δεσμεύεται χημικά κατά τη διάρκεια της αναερόβιας χώνευσης της πρώτης ύλης, αποτρέποντας την απελευθέρωση του υδρόθειου στο βιοαέριο. Έτσι, το θείο δεν χάνεται, αλλά παραμένει στο κομπόστ.

### 2.8.2.3 Χημική αποθείωση έξω από τον χωνευτήρα

Η χημική αποθείωση του βιοαερίου μπορεί να λάβει χώρα έξω από το χωνευτήρα, χρησιμοποιώντας π.χ. μία βάση (συνήθως υδροξείδιο του νατρίου). Για τη μέθοδο αυτή απαιτείται ειδικός εξοπλισμός.

Μια άλλη χημική μέθοδος για να μειωθεί το περιεχόμενο του υδρόθειου είναι να προστεθεί ένα εμπορικό σιδηρούχο διάλυμα στην πρώτη ύλη. Οι σιδηρούχες ενώσεις δεσμεύουν το θείο σε μια αδιάλυτη ένωση στην υγρή φάση, και έτσι αποτρέπεται η παραγωγή αεριώδους υδρόθειου. Η μέθοδος είναι αρκετά ακριβή, δεδομένου ότι η κατανάλωση σιδηρούχου υλικού σε στοιχειομετρική βάση έχει αποδειχθεί ότι είναι 2-3 φορές η επιθυμητή μείωση του αεριώδους υδρόθειου [1]. Μια φθηνότερη εναλλακτική λύση είναι να παρασχεθούν απόβλητα προϊόντα με σιδηρούχο περιεχόμενο ως ομο-υποστρώματα και να χρησιμοποιηθεί η προσθήκη σιδηρούχων ως εφεδρεία.

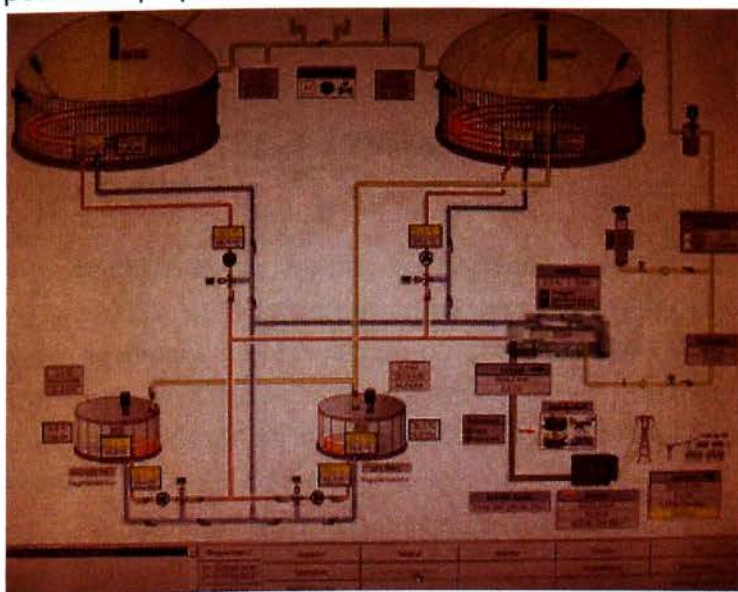
### 2.8.3 Ξήρανση

Η σχετική υγρασία του βιοαερίου μέσα στο χωνευτήρα είναι 100%, οπότε το αέριο είναι διαποτισμένο με υδρατμούς. Για να προστατευθούν οι μονάδες ΣΗΘ από την διάβρωση και από ενδεχόμενη βλάβη, πρέπει να αφαιρείται το νερό από το παραγόμενο βιοαέριο. Η ποσότητα του ύδατος που περιέχεται στο βιοαέριο εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Ένα μέρος των υδρατμών μπορεί να συμπυκνωθεί με την ψύξη του αερίου. Αυτό γίνεται συχνά στις σωληνώσεις που μεταφέρουν το βιοαέριο από το χωνευτήρα στη μονάδα ΣΗΘ. Το ύδωρ συμπυκνώνεται στα τοιχώματα των κεκλιμένων σωλήνων και μπορεί να συλλεχθεί σε έναν διαχωριστή συμπύκνωσης, στο χαμηλότερο σημείο της σωλήνωσης. Μια προϋπόθεση για την αποτελεσματική ψύξη του βιοαερίου στις σωληνώσεις είναι το ικανοποιητικό μήκος των αντίστοιχων σωλήνων. Εάν οι σωληνώσεις του αερίου είναι υπόγειες, το αποτέλεσμα της ψύξης είναι ακόμα ανώτερο. Οι υπόγειοι σωλήνες, είναι πολύ σημαντικό να τοποθετούνται σε μία σταθερή βάση, προκειμένου να είναι εγγυημένη η κλίση των σωλήνων, οι οποίοι μπορούν να επηρεαστούν από ένα βυθιζόμενο ή κινούμενο έδαφος. Ο διαχωριστής συμπύκνωσης πρέπει να διατηρείται χωρίς πάγο και να είναι εύκολα προσβάσιμος, προκειμένου να εκκενώνεται τακτικά. Εκτός από τους αφαιρούμενους υδρατμούς, η συμπύκνωση αφαιρεί επίσης μερικές από τις ανεπιθύμητες ουσίες, όπως υδροδιαλυτά αέρια και αερολύματα.

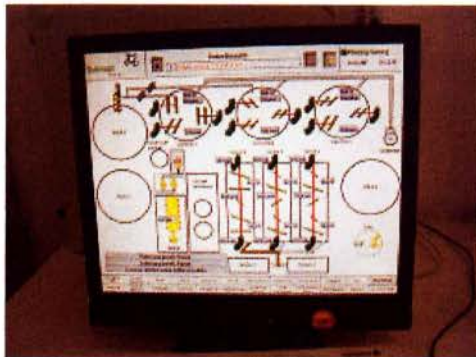
Μια άλλη δυνατότητα ξήρανσης του βιοαερίου είναι η ψύξη του αερίου σε ηλεκτρικά τροφοδοτούμενα δοχεία ψύξης αερίου, σε θερμοκρασίες κάτω από τους 10°C, το οποίο επιτρέπει την αφαίρεση πολλής υγρασίας. Προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η σχετική υγρασία, αλλά όχι η απόλυτη υγρασία, το αέριο μπορεί να αναθερμανθεί, προκειμένου να αποτραπεί η συμπύκνωση κατά μήκος των σωληνώσεων του αερίου.

## 2.9 Μονάδα ελέγχου

Η εγκατάσταση βιοαερίου είναι μια σύνθετη μονάδα με στενές αλληλεξαρτήσεις μεταξύ όλων των μερών. Γι' αυτόν τον λόγο, η κεντρική, αυτοματοποιημένη παρακολούθηση και ο έλεγχος είναι ένα σημαντικό μέρος της συνολικής λειτουργίας της εγκατάστασης που πρέπει να εγγυάται την επιτυχία και να αποφεύγει τις αποτυχίες (Σχήματα 2.11 και 2.12). Η τυποποίηση και η περαιτέρω ανάπτυξη της τεχνολογίας της αναερόβιας χώνευσης είναι δυνατές μόνο με τον συστηματικό έλεγχο και την τεκμηρίωση των σημαντικών στοιχείων. Η παρακολούθηση και η τεκμηρίωση είναι επίσης απαραίτητες στις σταθερές διεργασίες προκειμένου να αναγνωρίζονται οι αποκλίσεις από τις τυπικές τιμές. Κατ' αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η πρόωρη επέμβαση και η λήψη των αντίστοιχων διορθωτικών μέτρων.



Σχήμα 2.11: Απεικόνιση ενός συστήματος παρακολούθησης με τη βοήθεια υπολογιστή, για μια γεωργική εγκατάσταση βιοαερίου με δύο κύριους χωνευτήρες [25]



Σχήμα 2.12: Συστήματα ελέγχου μέσω υπολογιστή [25]

Η διεργασία ελέγχου περιλαμβάνει τη συλλογή και την ανάλυση χημικών και φυσικών παραμέτρων. Συνήθεις εργαστηριακές δοκιμές απαιτούνται για τη βελτιστοποίηση της διεργασίας και για την αποφυγή της κατάρρευσης της διεργασίας του βιοαερίου. Πρέπει να παρακολουθούνται, κατ' ελάχιστο, οι εξής παράμετροι:

- Ο τύπος και η ποσότητα της εισαγόμενης πρώτης ύλης (καθημερινά)
- Η θερμοκρασία της διεργασίας (καθημερινά)
- Η τιμή του pH (καθημερινά)
- Η ποσότητα και η σύνθεση του αερίου (καθημερινά)
- Η περιεκτικότητα σε λιπαρά οξέα βραχείας αλυσίδας
- Το επίπεδο γεμίματος.

Η διεργασία της παρακολούθησης πρέπει να βοηθηθεί από τον κατασκευαστή της εγκατάστασης, ως υπηρεσία, μετά από τη φάση της κατασκευής της μονάδας.

Ο έλεγχος των εγκαταστάσεων βιοαερίου αυτοματοποιείται όλο και περισσότερο με τη χρήση ειδικών συστημάτων ελέγχου της διεργασίας μέσω υπολογιστή. Ακόμη είναι δυνατός και ο ασύρματος έλεγχος εξ' αποστάσεως. Σήμερα συνηθίζεται ο έλεγχος των ακόλουθων συστατικών:

- Τροφοδοσία της πρώτης ύλης
- Υγιεινή
- Θέρμανση του χωνευτήρα
- Ένταση και συχνότητα της ανάδευσης
- Αφαίρεση των ιζημάτων
- Μεταφορά της πρώτης ύλης μέσω της εγκατάστασης
- Διαχωρισμός υγρών και στερεών
- Αποθείωση
- Παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας

Ο τύπος του εξοπλισμού παρακολούθησης και ελέγχου ποικίλλει από τα απλά χρονόμετρα μέχρι την νοερή απεικόνιση του ελέγχου με τη βοήθεια υπολογιστή με ένα

σύστημα συναγερμού εξ' αποστάσεως. Εντούτοις, στην πράξη, ο τεχνικός εξοπλισμός μετρήσεων και ελέγχου των γεωργικών εγκαταστάσεων βιοαερίου είναι συχνά πολύ απλός εξαιτίας των οικονομικών λόγων.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Τεχνολογίες συστημάτων αναερόβιας χώνευσης

## 3.1 Εισαγωγή

Η επιλογή της τεχνολογίας του χωνευτήρα και της καταλληλότερης διάταξης είναι το κρίσιμότερο στοιχείο για την σωστή λειτουργία μιας εγκατάστασης βιοαερίου. Για αυτό το λόγο εντάσσεται σε διαφορετικό κεφάλαιο από την περιγραφή των άλλων στοιχείων που περιγράφηκαν προηγουμένως.

Για την επιλογή του συστήματος λαμβάνονται υπ' όψιν τα χαρακτηριστικά του προς χώνευση υλικού (οργανικό φορτίο, συγκέντρωση στερεών, πιθανή παρουσία τοξικών ουσιών) και η οικονομικότητα της εγκατάστασης).

## 3.2 Συστήματα αναερόβιας χώνευσης

Η ομαλή λειτουργία ενός συστήματος αναερόβιας χώνευσης εξαρτάται από διάφορες συνθήκες. Ο Lettinga το 1995 τις προσδιόρισε ως εξής[21]:

- Υψηλή κατακράτηση της ενεργού βιομάζας στον βιοαντιδραστήρα κατά τη διάρκεια λειτουργίας του
- Επαρκής επαφή μεταξύ της βιομάζας και του διαθέσιμου προς χώνευση αποβλήτου
- Υψηλούς ρυθμούς αντιδράσεων και απουσία περιορισμών, από φαινόμενα μεταφοράς
- Ικανότητα προσαρμογής της βιομάζας σε διαφορετικούς τύπους αποβλήτων
- Επικράτηση ευνοϊκών περιβαλλοντικών συνθηκών για όλα τα είδη των μικροοργανισμών, στις επιβαλλόμενες λειτουργικές συνθήκες

Τα συστήματα αναερόβιας χώνευσης χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες [28]: 1) Στα συστήματα, που η λειτουργία τους βασίζεται στην ανάπτυξη αιωρούμενων μικροοργανισμών σε υγρό μέσο (**συμβατική αναερόβια χώνευση**) 2) στα συστήματα, στα οποία οι μικροοργανισμοί προσκολλώνται σε κάποιο στερεό πληρωτικό υλικό (**ταχύρρυθμη αναερόβια χώνευση**) και 3) σε αυτά που είναι συνδυασμός των παραπάνω ή που λειτουργούν έτσι ώστε να ευνοείται ο σχηματισμός κοκκώδους λάσπης στο εσωτερικό τους (**υβριδικοί αναερόβιοι χωνευτήρες**)

Οι συμβατικοί αναερόβιοι χωνευτήρες είναι οι πιο απλοί τύποι χωνευτήρων από κατασκευαστικής άποψης. Χρησιμοποιούνται κυρίως για ρεύματα στερεών αποβλήτων που απαιτούν μεγάλες χρονικές περιόδους αναερόβιας χώνευσης προκειμένου η αποδόμησή τους να είναι ικανοποιητική. Σε αυτά τα συστήματα ο χρόνος παραμονής στερεών είναι ίδιος με τον υδραυλικό χρόνο παραμονής. Παραδείγματα συμβατικών χωνευτήρων είναι ο CSTR, η διάταξη τύπου αυλωτού αντιδραστήρα (plug-flow digester), τα συστήματα διαλείποντος έργου (Batch) και συσσώρευσης (AC systems).

Οι χωνευτήρες ταχύρρυθμης αναερόβιας επεξεργασίας επιτυγχάνουν υψηλό ρυθμό αποδόμησης υποστρώματος ανά μονάδα όγκου και χρησιμοποιούνται συνήθως για την επεξεργασία υγρών αποβλήτων. Είναι εφοδιασμένοι με συστήματα κατακράτησης των αιωρούμενων στερεών, ανάδευσης και ανακυκλοφορίας της λάσπης. Έτσι στα ταχύρρυθμα συστήματα ο χρόνος παραμονής της λάσπης είναι πολύ μεγαλύτερος από τον υδραυλικό χρόνο παραμονής. Τα ταχύρρυθμα αναερόβια συστήματα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

1. Συστήματα που η λειτουργία τους βασίζεται στην ανάπτυξη αιωρούμενων σε υγρό μέσο μικροοργανισμών, όπου η συγκράτηση τους στο σύστημα γίνεται με εσωτερική ή εξωτερική καθίζηση
2. Συστήματα που βασίζονται στην ανάπτυξη προσκολλημένων σε στερεά επιφάνεια μικροοργανισμών

Αντιπροσωπευτικοί αντιδραστήρες της κατηγορίας 1 είναι ο UASB και ο αναερόβιος αντιδραστήρας εναλλασσόμενης καθοδικής και ανοδικής ροής (ABR) ενώ ταχύρρυθμα συστήματα της δεύτερης κατηγορίας είναι το αναερόβιο φίλτρο (AF), η αναερόβια διάταξη ρευστοστερεάς κλίνης και ο PABR.

Τα υβριδικά συστήματα χώνευσης προκύπτουν από το συνδυασμό των παραπάνω συστημάτων για να βελτιώσουν τα αδύνατα σημεία τους και να διατηρήσουν τα θετικά στοιχεία τους. Για παράδειγμα η χρήση ενός αναερόβιου φίλτρου σε ένα σύστημα UASB αποτρέπει το ξέπλυμα της βιομάζας που μπορεί να συμβεί κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας του συστήματος, κατακρατώντας την βιομάζα και βελτιώνοντας ταυτόχρονα την απόδοση της αναερόβιας χώνευσης.

### 3.2.1 Συστήματα Επεξεργασίας Στερεών Αποβλήτων

Τα συστήματα τα οποία χρησιμοποιούνται για την χώνευση των στερεών αποβλήτων διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με το ποσοστό των ολικών στερεών του ρεύματος τροφοδοσίας [11]

- Υγρά συστήματα, για αναερόβια χώνευση χαμηλής περιεκτικότητας σε στερεά ως 15-20%, τυπικά 10%
- Ξηρά συστήματα, για αναερόβια χώνευση υψηλής περιεκτικότητας σε στερεά μεγαλύτερη από 20%, τυπικά 30%

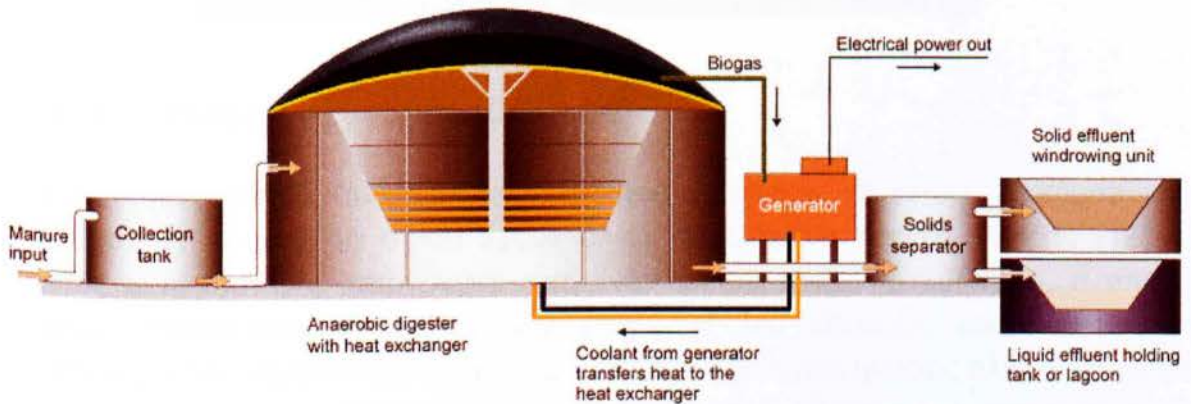
Οι περισσότεροι χωνευτήρες αποτελούνται από έναν αντιδραστήρα(σύστημα ενός σταδίου\_, αλλά είναι επίσης πιθανό η μικροβιακή χώνευση να διαχωρίζεται σε δύο στάδια όπου λειτουργούν δύο αντιδραστήρες, Στη συνέχεια περιγράφονται οι αρχές των υγρών και ξηρών συστημάτων και οι βασικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται:

### 3.2.1.1 Υγρά συστήματα

Η πιο συχνή εφαρμογή αντιδραστήρα συστήματος χαμηλής περιεκτικότητας στερεών είναι ο CSTR (Continuous Stirred Tank Reactor). Η τροφοδοσία των αποβλήτων γίνεται στον αντιδραστήρα, ο οποίος αναδεύεται συνεχώς, εξασφαλίζοντας πλήρη ανάμιξη του περιεχόμενου του. Στον ίδιο χρόνο ίση ποσότητα απομακρύνεται από τον αντιδραστήρα. Ο χρόνος παραμονής του αντιδραστήρα ποικίλλει ανάλογα με την πρώτη ύλη και τη θερμοκρασία της διεργασίας, κυμαίνεται τυπικά μεταξύ 2-4 εβδομάδων. Τέτοια συστήματα χαρακτηρίζονται από χαμηλές λειτουργικές δαπάνες, Γενικά ο CSTR χρησιμοποιείται για την επεξεργασία αποβλήτων με ολικά στερεά από 2-10% [24]. Το εύρος της συγκέντρωσης των στερεών της τροφοδοσίας καθορίζεται από:

- την απόδοση του αερίου σε σχέση με τις ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση
- την δυνατότητα ανάμιξης του περιεχομένου του αντιδραστήρα

Τα συστήματα CSTR (*continuous stirred-tank reactor*) βρίσκουν πρακτική εφαρμογή στην επεξεργασία οικιακών, αστικών, αγροτικών αποβλήτων ή και σε μίγματα αυτών. Η ανάμιξη δημιουργεί ένα ομογενές υπόστρωμα αποτρέποντας την στρωματοποίηση και τον σχηματισμό επιφανειακής κρούστας, εξασφαλίζοντας ότι τα στερεά διαρκώς παραμένουν σε αιώρηση. Κατά συνέπεια, τα βακτήρια, το υπόστρωμα και το υγρό έχουν τον ίδιο χρόνο παραμονής με αποτέλεσμα ο SRT να είναι όμοιος με τον HRT, οπότε δεν χρειάζεται υψηλή αραιώση. Ο όγκος του χωνευτήρα κυμαίνεται από 100  $m^3$  περίπου μέχρι μερικές χιλιάδες κυβικά μέτρα, με χρόνο παραμονής 10-20 ημέρες και ημερήσια χωρητικότητα από 6  $m^3$ - 400  $m^3$  [29]. Στο σχήμα 3.1 παρουσιάζεται ένας χωνευτήρας CSTR.



Σχήμα 3.1: Σύστημα παραγωγής αερίου με χωνευτήρα τύπου CSTR (αντιδραστήρας συνεχούς ανάδευσης) [16]

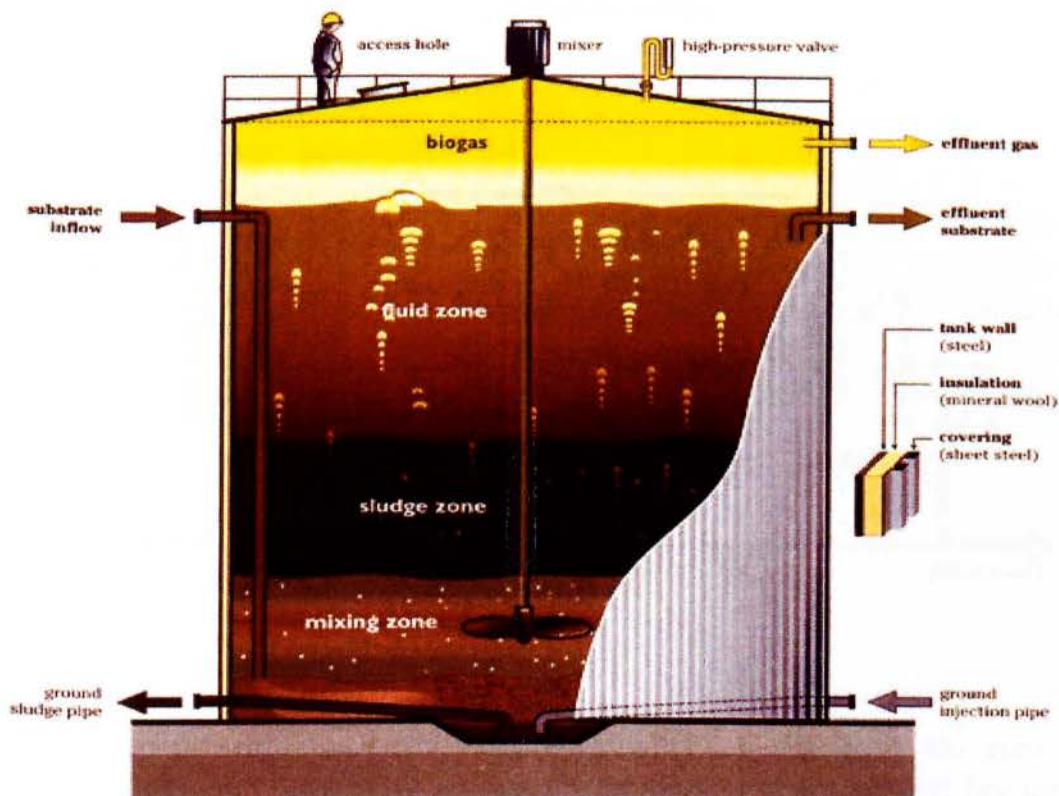
### Πλεονεκτήματα

- Συγκριτικά φθηνό

- Λίγη συντήρηση
- Μπορεί να χειριστεί χαμηλών ολικών στερεών κοπριά

### Μειονεκτήματα

- Διαθεσιμότητα χώρου
- Αποδοτικοί μόνο σε κλίματα με υψηλές θερμοκρασίες
- Μεγάλη διάρκεια παραμονής της κοπριάς στον αντιδραστήρα



Σχήμα 3.2: Λεπτομέρεια χωνευτήρα CSTR [16]

Οι χωνευτήρες τύπου αυλωτού αντιδραστήρα (plug-flow digester) χρησιμοποιούν απόβλητα, πχ κοπριά, τα οποία έχουν ολικά αιωρούμενα στερεά 10-12% [12]. Ο αυλωτός αντιδραστήρας αποτελείται από έναν μακρύ οριζόντιο κύλινδρο, ο οποίος συνήθως τοποθετείται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους και διαθέτει ένα αεροστεγές αλλά επιμηκυνόμενο κάλυμμα. Σε χαμηλές συγκεντρώσεις ολικών στερεών, μπορεί να εμφανιστούν προβλήματα επίπλευσης και καθίζησης των στρωμάτων, τα οποία επιλύονται με τη χρήση κατακόρυφης ανάμιξης στο εσωτερικό του κυλίνδρου. Έτσι στην αρχή πραγματοποιείται κυρίως η υδρόλυση, ενώ στη συνέχεια λαμβάνει μέρος η μεθανογένεση. Και εδώ, ο χρόνος SRT ισούται με τον HRT.

### Πλεονεκτήματα

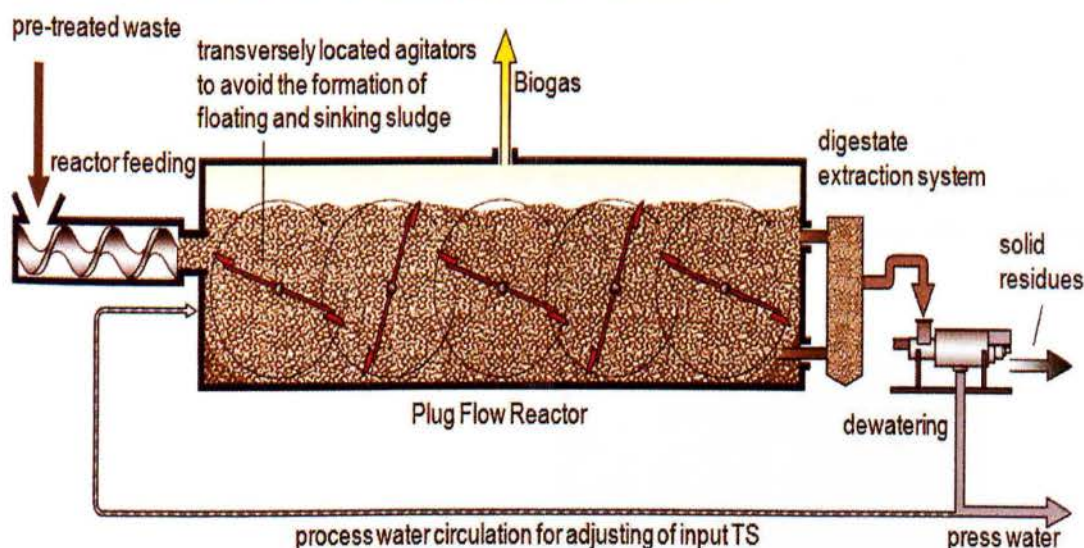
- Λίγη συντήρηση

- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διαφορετικά κλίματα
- Γρήγορος χρόνος ανάκτησης βιοαερίου

### Μειονεκτήματα

- Συγκριτικά ακριβός
- Μικρότερος όγκος αντιδραστήρα

Στο σχήμα 3.3 φαίνεται ένας χωνευτήρας αυλωτού τύπου.



Σχήμα 3.3 Χωνευτήρας αυλωτού τύπου [17]

Σε ένα σύστημα διαλείποντος έργου (batch systems), η πλήρωση του χωνευτήρα γίνεται στην έναρξη της διεργασίας και κατά τη διάρκεια της λειτουργίας δεν υπάρχει μεταφορά μάζας. Έτσι η σύσταση του μεταβάλλεται χρονικά και τα προϊόντα συλλέγονται αφού ολοκληρωθεί η αντίδραση [32]. Ένα μειονέκτημα του συστήματος είναι ότι απαιτεί δεξαμενή τροφοδοσίας και δεξαμενή απορροής. Όπως ισχύει και στα συνεχή συστήματα επεξεργασίας αποβλήτων με υψηλή περιεκτικότητα σε στερεά, έτσι και στα συστήματα διαλείποντος έργου ο SRT είναι ίδιος με τον HRT. Στα συστήματα αυτά, τα διαφορετικά στάδια της αναερόβιας χώνευσης όπως είναι η υδρόλυση, η οξεογένεση και η μεθανογένεση δεν πραγματοποιούνται με τον ίδιο ρυθμό. Αρχικά απαιτείται χρόνος προκειμένου τα αιωρούμενα στερεά να μετατραπούν σε μια πιο διαλυτή μορφή και στην συνέχεια σε μεθάνιο. Η ισορροπία ανάμεσα στα διάφορα στάδια κατά την έναρξη της διεργασίας εξαρτάται από τη σύνθεση των πρώτων υλών που χρησιμοποιείται. Προκειμένου να διασφαλιστεί η ύπαρξη επαρκούς επαφής ανάμεσα στη βακτηριακή βιομάζα και στο στερεό υπόστρωμα εφαρμόζεται είτε μηχανική ανάδευση, είτε ανάδευση με ανακυκλοφορία του βιοαερίου του χωνευτήρα. Στο σχήμα 3.4 παρουσιάζεται ένας χωνευτήρας διαλείποντος έργου.

Εναλλακτικά αντί της ξεχωριστής δεξαμενής για την απορροή, μπορεί να υπάρξει ένας συνδυασμός χώνευσης και ταυτόχρονης αποθήκευσης σε ένα βιοαντιδραστήρα, χρησιμοποιώντας ένα σύστημα συσσώρευσης (accumulation system, AS) το οποίο

τροφοδοτείται συνεχώς και ο όγκος του αντιδρώντος διαλύματος στον χωνευτήρα αυξάνει με τον χρόνο. Αρχικά, ο αντιδραστήρας είναι σχεδόν άδειος περιέχοντας μόνο τη μαγιά η οποία καταλαμβάνει το 10-15% του λειτουργικού του όγκου. Το σύστημα είναι το απλούστερο που εφαρμόζεται σε μικρές μονάδες (on-site) χώνευσης στερεών αποβλήτων. Η χρήση συστημάτων συσσώρευσης είναι κατάλληλη όταν απαιτείται αποθήκευση μεγάλης διάρκειας. Τέτοιου τύπου συστήματα χρησιμοποιούνται σε φάρμες για την αποθήκευση και χώνευση της κοπριάς και επίσης εφαρμόζονται σε μεγάλες αστικές ή εμπορικές κτιριακές εγκαταστάσεις για την χώνευση των ανθρωπίνων περιττωμάτων και της ουρίας. [31]

Ένα παράδειγμα χωνευτήρων ασυνεχούς τύπου είναι οι αποκαλούμενοι χωνευτήρες «τύπου γκαράζ» (Σχήμα 3.4) κατασκευαζόμενοι από σκυρόδεμα, για την επεξεργασία της στερεής κοπριάς. Η ικανότητα επεξεργασίας κυμαίνεται από 2000 έως 50000 τόνους τον χρόνο. Η οργανική ουσία εμβολιάζεται με το κομπόστ και τροφοδοτείται στον χωνευτήρα. Ο συνεχής εμβολιασμός με βακτηριακή βιομάζα συμβαίνει μέσω της επανακυκλοφορίας του υγρού διήθησης, το οποίο ψεκάζεται επάνω στο υπόστρωμα στο χωνευτήρα.



Σχήμα 3.4 Χωνευτήρας «τύπου γκαράζ», τροφοδοτούμενος από φορτωτή [33]

Τα υγρά συστήματα χώνευσης που μελετώνται και εφαρμόζονται τόσο σε μονάδες πιλοτικής όσο και εμπορικής κλίμακας είναι:

- AVECON – The Waasa process [15]
- VAGRO, [16]
- Bigadan process, [17]

Οι παράμετροι διαφόρων τύπων χωνευτήρων παρουσιάζονται στον πίνακα 3.1.

| Digester type  | Total Solids | HRT (days) | Temperature        |
|----------------|--------------|------------|--------------------|
| Covered lagoon | < 2 %        | 35-60      | Ambient            |
| Fixed-film     | < 2 %        | 2-4        | Ambient/Mesophilic |
| Complete-mix   | 3-10 %       | 20-25      | Mesophilic         |
| Plug-flow      | 10-14 %      | 20-30      | Mesophilic         |

Πίνακας 3.1 Παράμετροι τύπων χωνευτήρων [33]

Ανάλογα με τα υλικά που πρόκειται να χωνευθούν, απαιτούνται διαφορετικοί τύποι χωνευτήρων καθώς και διαφορετική μέθοδος χώνευσης, όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 3.2

| Substrate (organic feedstock) | Process of biogas production      | Reactor configuration          | List of equipment needed                                  |
|-------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|---|
| Pig manure                    | Mono/codigestion                  | CSTR <sup>a</sup> or plug-flow | Standard structure <sup>b</sup> + biogas desulphurization |
| Rape                          | Mono/codigestion                  | CSTR or plug-flow              | Standard structure  |
| Sunflower (WCS)               | Codigestion                       | CSTR or plug-flow              | Standard structure  |
| Orange                        | Codigestion                       | CSTR or plug-flow              | Standard structure  |
| Pear                          | Codigestion                       | CSTR or plug-flow              | Standard structure  |
| Apple                         | Codigestion                       | CSTR or plug-flow              | Standard structure  |
| Sweet sorghum                 | Mono/codigestion                  | CSTR or plug-flow              | Standard structure  |
| Lucern                        | Mono/codigestion                  | CSTR or plug-flow              | Standard structure  |
| Glycerol                      | Codigestion                       | CSTR or plug-flow              | Standard structure  |
| Peas (WCS)                    | Codigestion                       | CSTR or plug-flow              | Standard structure  |
| Barley silage                 | Mono/codigestion                  | CSTR or plug-flow              | Standard structure  |
| Spring Wheat Grain            | Mono/codigestion                  | CSTR or plug-flow              | Standard structure  |
| Autumn Wheat Grain            | Mono/codigestion                  | CSTR or plug-flow              | Standard structure  |
| Hemp                          | Only with hydrolytic pretreatment | CSTR or plug-flow              | Standard structure + hydrolytic pretreatment              |
| Miscanthus                    | Codigestion                       | CSTR or plug-flow              | Standard structure  |
| Maize stalks                  | Codigestion                       | CSTR or plug-flow              | Standard structure  |
| Sugar Beet                    | Codigestion                       | CSTR or plug-flow              | Standard structure  |
| Barley grain                  | Codigestion                       | CSTR or plug-flow              | Standard structure  |
| Grass, meadow                 | Mono/codigestion                  | CSTR or plug-flow              | Standard structure  |
| Maize                         | Mono/codigestion                  | CSTR or plug-flow              | Standard structure  |
| Maize grain                   | Codigestion                       | CSTR or plug-flow              | Standard structure  |
| Distillery waste              | Codigestion                       | CSTR or plug-flow              | Standard structure + biogas desulphurization              |
| Bakery waste                  | Codigestion                       | CSTR or plug-flow              | Standard structure  |
| Starch waste                  | Codigestion                       | CSTR or plug-flow              | Standard structure  |
| Manure                        | Mono/codigestion                  | CSTR or plug-flow              | Standard structure  |
| Straw                         | Codigestion                       | CSTR or plug-flow              | Standard structure  |
| Willow                        | Only with hydrolytic pretreatment | CSTR or plug-flow              | Standard structure + hydrolytic pretreatment              |
| WWTP Sludge                   | Mono/codigestion                  | CSTR or plug-flow              | Standard structure  |

Πίνακας 3.2 Υλικά χώνευσης και διαφορετικές διαδικασίες χώνευσης [27]

### 3.2.1.2 Ξηρά συστήματα

Σε σχέση με τα υγρά συστήματα χώνευσης στερεών, στα ξηρά συστήματα η συγκέντρωση των ολικών στερεών του χωνευτήρα μπορεί να κυμανθεί από 20-40%[23]. Η πρόκληση στο τομέα των ξηρών συστημάτων δεν είναι η διατήρηση των βιοχημικών αντιδράσεων σε υψηλές συγκεντρώσεις ΟΣ, αλλά η διαχείριση των στερεών αποβλήτων τόσο στις μεθόδους μεταφοράς και προεπεξεργασίας τους, όσο και στις αντλίες και τα συστήματα ανάμιξης που χρησιμοποιούνται. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν μικρότερους σε μέγεθος αντιδραστήρες αλλά υψηλότερης τεχνολογίας, απαιτούν λιγότερο νερό κατά τη διεργασία και μικρότερο κόστος θέρμανσης. Αναφορικά, ένας σημαντικός αριθμός μονάδων εμπορικής και πιλοτικής κλίμακας έχουν αναπτυχθεί όπως:

- Valorga process [26]
- Dranco process [3]
- Kompogas process [20]
- Biocel process [9]

### 3.2.1.3 Συστήματα δύο σταδίων

Η ιδέα στην οποία στηρίζονται τα συστήματα δύο σταδίων είναι η διεργασία ολικής μετατροπής του ρεύματος των αποβλήτων σε βιοαέριο, διαμέσου μιας ακολουθίας βιοχημικών αντιδράσεων οι οποίες δεν είναι απαραίτητο να μοιράζονται τις ίδιες βέλτιστες περιβαλλοντικές συνθήκες. Η βασική αρχή προϋποθέτει το διαχωρισμό των σταδίων της χώνευσης, στο στάδιο της υδρόλυσης και της οξειγένεσης όπου το περιοριστικό βήμα είναι η υδρόλυση των στερεών και στο στάδιο της οξικογένεσης και της μεθανογένεσης όπου το περιοριστικό βήμα είναι ο αργός ρυθμός μικροβιακής ανάπτυξης[22]. Βελτιστοποιώντας τις βιοχημικές αυτές αντιδράσεις χωριστά για κάθε στάδιο ή αντιδραστήρα, επιτυγχάνεται βελτίωση του συνολικού ρυθμού αντίδρασης και της απόδοσης του βιοαερίου και καλύτερος έλεγχος της διεργασίας. [13]

Κατ' εξαίρεση τα συμπυκνωμένα στερεά με υψηλή συγκέντρωση λιπιδίων, είναι προτιμότερο η επεξεργασία τους να γίνεται σε σύστημα ενός σταδίου για δύο βασικούς λόγους. Πρώτον, τα λιπίδια δεν μπορούν να υδρολυθούν απουσία μεθανογενούς δραστηριότητας και δεύτερον, η πιθανή μείωση της διεπιφάνειας λιπιδίου-υγρού στο πρώτο στάδιο ενός συστήματος δύο σταδίων μπορεί να επιφέρει μεγαλύτερο SRT κατά το δεύτερο στάδιο. [30]

Υπάρχουν δύο κύρια είδη διβάθμιων συστημάτων που χρησιμοποιούνται σε μονάδες αναερόβιας επεξεργασίας αποβλήτων για παραγωγή βιοαερίου. Στο πρώτο είδος, τα διάφορα στάδια διαχωρίζονται με βάση τα υγρά συστήματα χώνευσης και στο άλλο με βάση τα ξηρά.

Σε αντίθεση με τα συμβατικά συστήματα αναερόβιας χώνευσης χαμηλής συγκέντρωσης στερεών, τα οποία λειτουργούν με τη χρήση ενός αντιδραστήρα, τα υγρά συστήματα χώνευσης πολλαπλών σταδίων διαχωρίζουν την διεργασία χώνευσης σε δύο ή περισσότερα στάδια, καθένα από τα οποία λαμβάνει χώρα σε διαφορετικό αντιδραστήρα. Τα συστήματα περιλαμβάνουν διεργασίες, όπως:

- BTA process [10]
- BRV system

Ένα ακόμα σύστημα είναι κι αυτό, το οποίο αποτελείται από ένα στάδιο ξηρής χώνευσης που ακολουθείται από ένα στάδιο υγρής μεθανογένεσης. Με βάση το σύστημα αυτό έχει αναπτυχθεί ένας αριθμός διάφορων διατάξεων, όπου το υψηλής συγκέντρωσης σε στερεά απόβλητο τροφοδοτείται στον πρώτο αντιδραστήρα και μετά το στάδιο της υδρόλυσης το υγρό κλάσμα του μεταφέρεται σε ένα μεθανογόνο αντιδραστήρα. Η εκροή του μεθανογόνου χωνευτήρα επανακυκλοφορεί στον

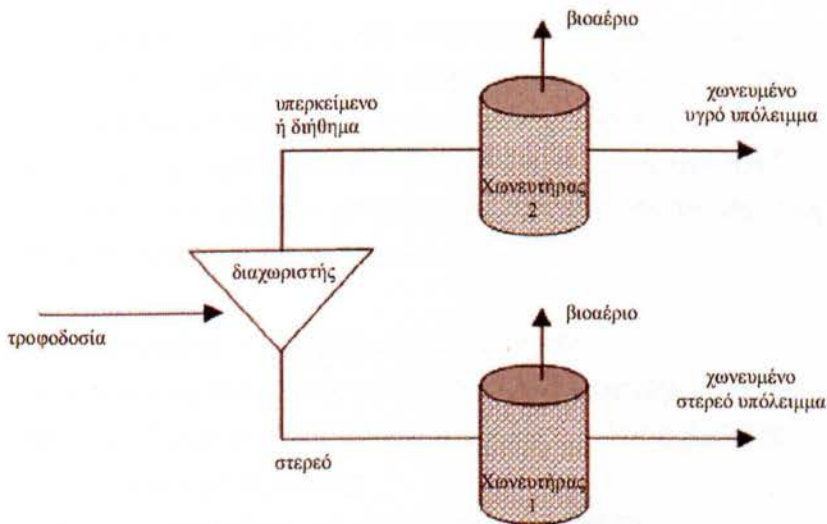


υδρολυτικό χωνευτήρα για να συμπληρώσει το υγρό που αντλήθηκε και να παράγει περαιτέρω διήθημα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το σύστημα:

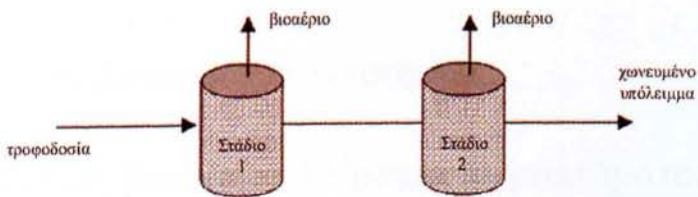
- Biothane-AN system [8]

Ανάλογα με τις διβάθμιες διατάξεις που χρησιμοποιούνται, διακρίνουμε τις εξής κατηγορίες διεργασιών [14]

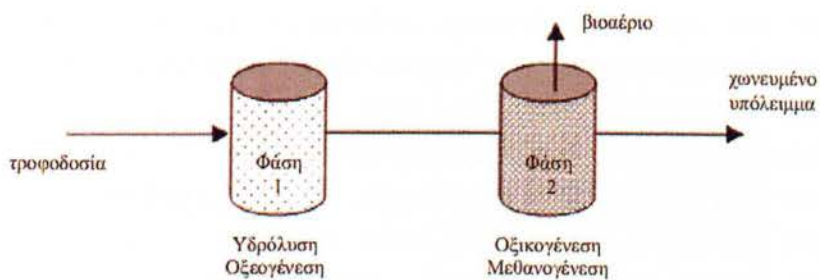
1. Παράλληλες διεργασίες που περιλαμβάνουν δύο ή περισσότερους αναερόβιους χωνευτήρες που λειτουργούν εν παραλλήλω. (Σχήμα 3.5)
2. Διεργασίες δύο ή περισσότερων σταδίων που περιλαμβάνουν δύο ή περισσότερους αναερόβιους χωνευτήρες, που είναι διατεταγμένοι σε σειρά. (Σχήμα 3.6)
3. Διεργασίες δύο φάσεων κατά τη διάρκεια των οποίων η οξεογένεση και η μεθανογένεση λαμβάνει μέρος σε δύο χωριστούς αντιδραστήρες (Σχήμα 3.7)



Σχήμα 3.5: Παράλληλες διεργασίες που περιλαμβάνουν δύο ή περισσότερους αναερόβιους χωνευτήρες που λειτουργούν εν παραλλήλω.



Σχήμα 3.6: Διεργασίες δύο ή περισσότερων σταδίων που περιλαμβάνουν δύο ή περισσότερους αναερόβιους χωνευτήρες, που είναι διατεταγμένοι σε σειρά.



Σχήμα 3.7: Διεργασίες δύο φάσεων κατά τη διάρκεια των οποίων η οξεογένεση και η μεθανογένεση λαμβάνει μέρος σε δύο χωριστούς αντιδραστήρες.

### 3.2.2 Συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

Οι ταχύρρυθμοι χωνευτήρες δεν είναι κατάλληλοι για την αναερόβια χώνευση στερεών αποβλήτων, είναι όμως κατάλληλοι για την αναερόβια επεξεργασία αραιών και συμπυκνωμένων υγρών αποβλήτων με μικρή συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών και μπορούν να αποτελέσουν μέρος ενός συστήματος πολλαπλών σταδίων. Η λάσπη συγκρατείται στον αντιδραστήρα με τη χρήση εσωτερικών συστημάτων καθίζησης η εξωτερικών συστημάτων με ταυτόχρονη ανακυκλοφορία της λάσπης με αποτέλεσμα ο χρόνος συγκράτησης της λάσπης να είναι μεγαλύτερος από τον HRT.

Για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων εφαρμόζονται σε παγκόσμια κλίμακα διάφοροι τύποι ταχύρρυθμων χωνευτήρων, όπως:

- Διεργασία αναερόβιας επαφής (contact process)
- Αντιδραστήρας ανοδικής ροής μέσα από κλίνη λάσπης (UASB)
- Αντιδραστήρας διασταλμένης κλίνης κοκκώδους ιλύος (EGSB)
- Σύστημα ρευστοστερεάς κλίνης
- Αναερόβιος αντιδραστήρας με ανακλαστήρες (ABR)
- Αναερόβια φίλτρα (anaerobic filters, AF)
- Υβριδικά συστήματα (hybrid systems)

Αυτά τα συστήματα αναφέρονται στην διπλωματική, χωρίς να αναλύονται καθώς δεν βρίσκουν εφαρμογή σε κτηνοτροφικά απόβλητα.

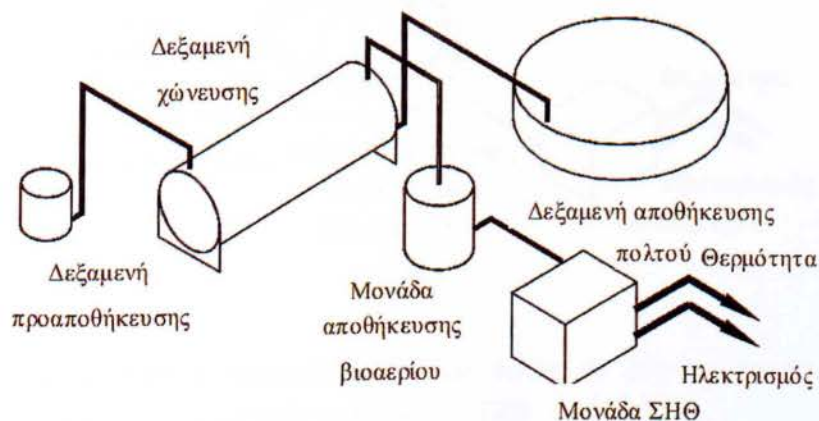
## 3.3 Εγκαταστάσεις βιοαερίου παγκοσμίως

### 3.3.1 Εγκαταστάσεις βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος

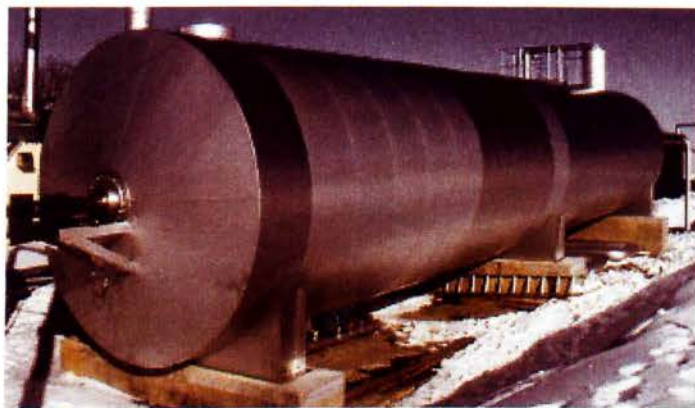
Υπάρχουν πολλοί τύποι και βασικοί σχεδιασμοί εγκαταστάσεων βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος σε όλο τον κόσμο. Στην Ευρώπη, χώρες όπως η Γερμανία, η Αυστρία και η Δανία είναι πρωτοπόρες στην παραγωγή βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος. Το ενδιαφέρον των Ευρωπαίων αγροτών για τις εφαρμογές της αναερόβιας χώνευσης αυξάνεται τα τελευταία χρόνια, όχι μόνο επειδή η γεωργική παραγωγή βιοαερίου

μετατρέπει τα απόβλητα σε πολύτιμους φυσικούς πόρους και παράγει υψηλής ποιότητας λίπασμα, αλλά και επειδή δημιουργεί νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες για τους εμπλεκόμενους αγρότες και τους δίνει μία νέα υπόσταση, ως προμηθευτές ανανεώσιμης ενέργειας. Οι εγκαταστάσεις βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος έχουν διάφορα μεγέθη, σχεδιασμούς και τεχνολογίες. Μερικές είναι πολύ μικρές και τεχνολογικά απλές, ενώ άλλες είναι πολύ μεγάλες και σύνθετες, παρόμοιες με τις κεντρικές εγκαταστάσεις συγχώνευσης. Εντούτοις, όλες έχουν μια κοινή αρχή διαμόρφωσης: η κοπριά συλλέγεται σε μια δεξαμενή προ-αποθήκευσης, κοντά στον χωνευτήρα και αντλείται στο χωνευτήρα, ο οποίος είναι μια αεροστεγής δεξαμενή, κατασκευασμένη από χάλυβα ή σκυρόδεμα, μονωμένη ώστε να διατηρεί μια σταθερή θερμοκρασία διεργασίας. Οι χωνευτήρες μπορεί να είναι οριζόντιοι (Σχήματα 3.8 και 3.9) ή κάθετοι, συνήθως με συστήματα ανάδευσης, που βοηθούν στη μίξη και την ομογενοποίηση του υποστρώματος, και συντελούν στην ελαχιστοποίηση των κινδύνων σχηματισμού επιπλεόντων στρωμάτων και ιζηματογενέσεων. Ο μέσος υδραυλικός χρόνος παραμονής είναι συνήθως μεταξύ 20 και 40 ημέρες, ανάλογα με τον τύπο του υποστρώματος και την θερμοκρασία χώνευσης.

Το κομπόστ χρησιμοποιείται ως λίπασμα στο αγρόκτημα και το πλεόνασμα μπορεί να πωληθεί σε άλλα γεωργικά αγροκτήματα της περιοχής. Το παραγόμενο βιοαέριο χρησιμοποιείται σε μια μηχανή αερίου, για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Περίπου το 10 με 30% της παραχθείσας θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείται για την λειτουργία της εγκατάστασης του βιοαερίου και για τις οικιακές ανάγκες του αγρότη, ενώ το πλεόνασμα πωλείται στις επιχειρήσεις ηλεκτρισμού και, αντίστοιχα, στους γειτονικούς καταναλωτές θερμότητας.



Σχήμα 3.8: Σχηματική αναπαράσταση μιας εγκατάστασης βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος με οριζόντιο χωνευτήρα από χάλυβα [33]



Σχήμα 3.9: Οριζόντιος χωνευτήρας, κατασκευασμένος στην Δανία [33]

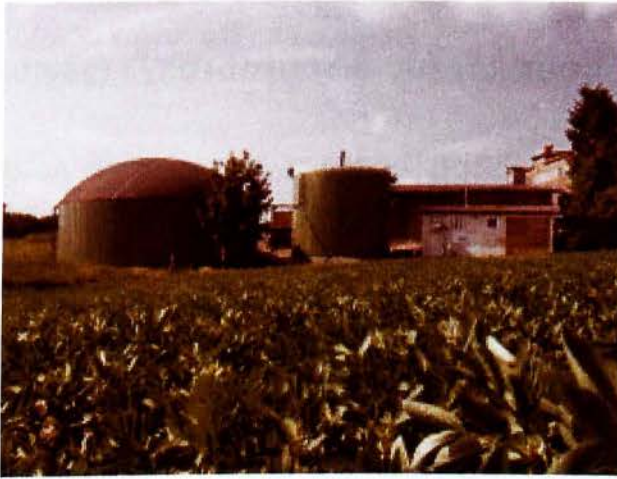
Εκτός από το χωνευτήρα που είναι εξοπλισμένος με σύστημα ανάδευσης, η εγκατάσταση μπορεί να περιλαμβάνει δεξαμενή προ-αποθήκευσης για τη νωπή βιομάζα, δεξαμενή αποθήκευσης για τη χωνευμένη βιομάζα και για το βιοαέριο, καθώς και μια μονάδα ΣΗΘ. Ο χωνευτήρας μπορεί επίσης να είναι κάθετος, με ή χωρίς κωνική βάση (Σχήματα 3.10 και 3.11), γνωστός και ως «δύο σε μία» δεξαμενή αποθήκευσης πολλού και χώνευσης, όπου ο χωνευτήρας κατασκευάζεται εντός της δεξαμενής αποθήκευσης του υλικού χώνευσης. Οι δύο δεξαμενές καλύπτονται με μια αεροστεγή μεμβράνη, η οποία διογκώνεται από το παραγόμενο αέριο, και υφίστανται ανάδευση από μια ηλεκτρική έλικα. Επιπλέον, μπορεί να υπάρχει μια δεξαμενή προ-αποθήκευσης για το υπόστρωμα και μια μονάδα ΣΗΘ.



Σχήμα 3.10: Σχηματική αναπαράσταση των «δύο σε μία» εγκαταστάσεων κλίμακας αγροκτήματος με κάλυψη μαλακής μεμβράνης [33]



*Σχήμα 3.11: Εγκατάσταση βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος στη Δανία, για την συγχώνευση ζωικών πολτών και ενεργειακών καλλιεργειών [33]*



*Σχήμα 3.12: Εγκατάσταση βιοαερίου στη Γερμανία, που επεξεργάζεται κοπριάς από χοίρους, πουλερικά και σωρούς χόρτων[33]*

Μια πρόσφατη εξέλιξη των εγκαταστάσεων βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος είναι ο σχεδιασμός των βασιζόμενων στις ενεργειακές καλλιέργειες εγκαταστάσεων βιοαερίου. Το πλεονέκτημα τους είναι ότι το ενεργειακό περιεχόμενο των ενεργειακών καλλιεργειών είναι πολύ υψηλότερο απ' ότι αυτό των περισσότερων οργανικών αποβλήτων. Εντούτοις, περιορισμοί και ανησυχίες προκύπτουν όσον αφορά στα κόστη λειτουργίας, καθώς και τη χρήση και τη διαθεσιμότητα του εδάφους.



Σχήμα 3.13: Εγκατάσταση βιοαερίου στη Γερμανία που κατασκευάστηκε το 2005 για την χώνευση των ενεργειακών καλλιεργειών [33]

### 3.3.2 Κεντρικές (κοινές) εγκαταστάσεις συγχώνευσης

Η κεντρική συγχώνευση είναι μια έννοια που βασίζεται στην χώνευση ζωικών περιττωμάτων και πολτών, που συλλέγονται από διάφορα αγροκτήματα, σε μια μονάδα βιοαερίου, που είναι εγκατεστημένη κεντρικά στην περιοχή συλλογής της κοπριάς. Η κεντρική θέση των εγκαταστάσεων βιοαερίου στοχεύει στο να μειώσει τις δαπάνες, τον χρόνο και το εργατικό δυναμικό για τη μεταφορά της κοπριάς από και προς την εγκατάσταση βιοαερίου. Τα ζωικά περιττώματα υφίστανται συγχώνευση με ποικίλους άλλους τύπους κατάλληλης πρώτης ύλης (π.χ. τα χωνευόμενα υπολείμματα από τη γεωργία, τις βιομηχανίες τροφίμων και ιχθύων, οργανικά απόβλητα χωριζόμενα στην πηγή, λυματολάσπη, κλπ). Οι κεντρικές εγκαταστάσεις συγχώνευσης (ονομάζονται επίσης και κοινές εγκαταστάσεις συγχώνευσης) αναπτύσσονται και εφαρμόζονται ευρέως στη Δανία (Σχήμα 3.14), αλλά και σε άλλες περιοχές του κόσμου με εντατική ζωική καλλιέργεια.

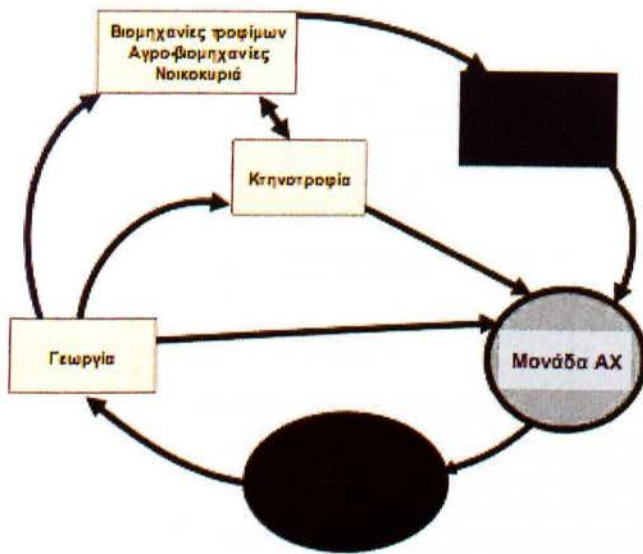


Σχήμα 3.14: Εικόνα μιας εγκατάστασης συγχώνευσης από τη Δανία [33]

Ζωικά περιπτώματα και πολτοί συλλέγονται από τις δεξαμενές προ-αποθήκευσης ή από τα κανάλια πολτού του αγροκτήματος και μεταφέρονται με ειδικά βυτιοφόρα κενού στην εγκατάσταση του βιοαερίου, σύμφωνα με ένα προσυμφωνημένο χρονοδιάγραμμα. Εκεί, αυτά αναμιγνύονται με άλλα ομο-υποστρώματα, ομογενοποιημένα και αντλούμενα στη δεξαμενή του χωνευτήρα. Η εγκατάσταση του βιοαερίου είναι υπεύθυνη για τη συλλογή και τη μεταφορά της νωπής κοπριάς και του πολτού από τους αγρότες στην εγκατάσταση βιοαερίου και του κομπόστ από την εγκατάσταση βιοαερίου στους αγρότες. Οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης του κομπόστ ενίοτε είναι κοινές για πολλούς αγρότες.

Η διεργασία της χώνευσης πραγματοποιείται σε μεσόφιλες ή θερμόφιλες θερμοκρασίες και ο υδραυλικός χρόνος παραμονής είναι 12-25 ημέρες. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή νομοθεσία, μια ελεγχόμενη διεργασία υγιεινής του υποστρώματος λαμβάνει θέση πριν από την χώνευση, προκειμένου να παρασχεθεί μια αποτελεσματική μείωση των παθογόνων και των ζιζανίων και να εξασφαλισθεί η ασφαλής ανακύκλωση του κομπόστ ως λίπασμα.

Το σύστημα τροφοδοσίας είναι συνεχές, και το μίγμα βιομάζας αντλείται μέσα και έξω από τους χωνευτήρες σε ίσες ποσότητες και σε ακριβείς ακολουθίες των αντλιών. Το κομπόστ, όπως αντλείται από τον χωνευτήρα, μεταφέρεται με σωληνώσεις στις δεξαμενές αποθήκευσης. Σε πολλές περιπτώσεις, αυτές καλύπτονται με μια αεροστεγή μεμβράνη, όπου πραγματοποιείται η συλλογή της συμπληρωματικής παραγωγής βιοαερίου (μέχρι 15% του συνόλου) σε χαμηλότερη θερμοκρασία. Πριν από την έξοδό του από την εγκατάσταση βιοαερίου, το παραγόμενο κομπόστ αναλύεται και καθορίζονται τα θρεπτικά συστατικά του ( $\text{ΞO}$ , ΠΣ, N, P, K, pH). Οι αγρότες παραλαμβάνουν μόνο εκείνη την ποσότητα του κομπόστ που από το νόμο επιτρέπεται να διασκορπιστεί στους αγρούς. Η περίσσεια πωλείται ως λίπασμα στους καλλιεργητές της περιοχής. Σε κάθε περίπτωση, το κομπόστ ενσωματώνεται στο σχέδιο λίπανσης κάθε αγροκτήματος, αντικαθιστώντας τα ανόργανα λιπάσματα. Με τον τρόπο αυτό, η παραγωγή βιοαερίου είναι μέρος του κλειστού κύκλου ανακύκλωσης των θρεπτικών ουσιών από τις κοπριές και τα οργανικά απόβλητα (Σχήμα 3.15). Όλο και περισσότερες εγκαταστάσεις βιοαερίου εξοπλίζονται επίσης με μονάδες διαχωρισμού του κομπόστ σε υγρά και στερεά μέρη.

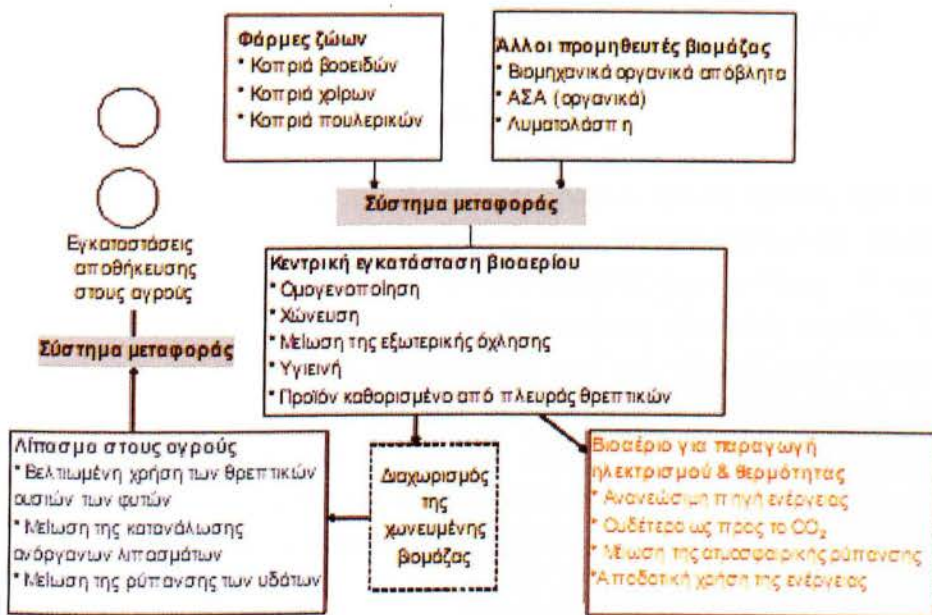


Σχήμα 3.15: Σχηματική αναπαράσταση του κλειστού κύκλου της συγκεντρωμένης αναερόβιας χώνευσης [7]

Με αυτό τον τρόπο, η κεντρική συγχώνευση αντιπροσωπεύει ένα ολοκληρωμένο σύστημα παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας, επεξεργασίας οργανικών αποβλήτων και ανακύκλωσης θρεπτικών ουσιών. Η εμπειρία δείχνει ότι το σύστημα (Σχήμα 3.16) μπορεί να δημιουργήσει γεωργικά, περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη για τους αγρότες και την κοινωνία, όπως:

- παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας,
- φθηνή και περιβαλλοντικά ασφαλή ανακύκλωση των κοπριών και των οργανικών αποβλήτων,
- μείωση της εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου,
- βελτιωμένη κτηνιατρική ασφάλεια μέσω της υγιεινής του κομπόστ,
- βελτιωμένη αποδοτικότητα λίπανσης,
- μειωμένη όχληση από οσμές και μύγες,
- οικονομικά οφέλη για τους αγρότες.





Σχήμα 3.16: Τα κύρια ρεύματα της ολοκληρωμένης βασικής αρχής των κεντρικών εγκαταστάσεων χώνευσης [7]

Οι περισσότερες κεντρικές εγκαταστάσεις συγχώνευσης οργανώνονται ως συνεταιριστικές επιχειρήσεις, με τους αγρότες να παραδίδουν την κοπριά (πρώτη ύλη) στις εγκαταστάσεις ως μέτοχοι και ιδιοκτήτες. Συνήθως, αυτές οι επιχειρήσεις έχουν ένα διοικητικό συμβούλιο, αρμόδιο για τη διαχείριση της εγκατάστασης και την απασχόληση του απαραίτητου προσωπικού, καθώς και για όλες τις οικονομικές και δεσμευτικές ως προς τους νόμους συμφωνίες σχετικά με την κατασκευή της εγκατάστασης, του ανεφοδιασμού με πρώτη ύλη, την διανομή και πώληση του κομπόστ, την πώληση του βιοαερίου ή/και της ενέργειας, και την αναγκαία χρηματοδότηση. Στη Δανία, έχει αποδειχθεί ότι η συνεταιριστική επιχείρηση είναι μια οικονομικά εφικτή και λειτουργική οργανωτική δομή, αλλά είναι συχνόι και άλλοι τύποι επιχειρήσεων όπως οι Εταιρείες Περιορισμένης Ευθύνης (ΕΠΕ) ή οι δημοτικές επιχειρήσεις.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Ενεργειακή εκμετάλλευση βιοαερίου

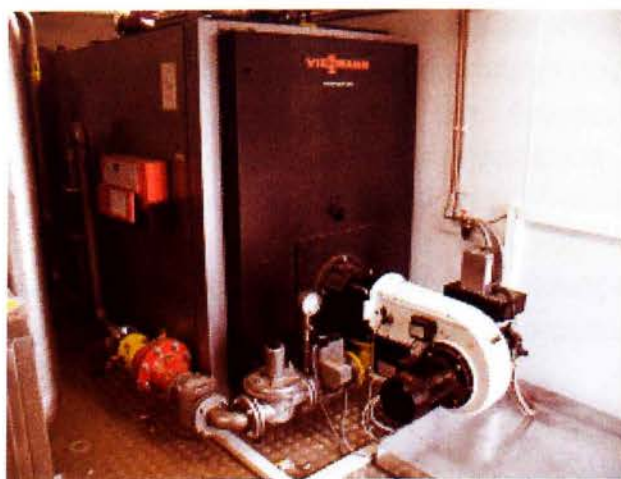
### 4.1 Άμεση καύση και χρήση της θερμότητας

Ο απλούστερος τρόπος χρήσης του βιοαερίου είναι η άμεση καύση του σε λέβητες ή καυστήρες, που χρησιμοποιούνται εκτενώς στις αναπτυσσόμενες χώρες, για το βιοαέριο που παράγεται από μικρούς οικογενειακούς χωνευτήρες. Η άμεση καύση εφαρμόζεται στις αναπτυγμένες χώρες, σε καυστήρες φυσικού αερίου. Το βιοαέριο μπορεί να καεί για την παραγωγή θερμότητας είτε επί τόπου, είτε να μεταφερθεί με σωληνώσεις στους τελικούς χρήστες. Για τις εφαρμογές θέρμανσης το βιοαέριο δεν χρειάζεται καμία αναβάθμιση, και το επίπεδο μόλυνσης δεν περιορίζει την χρήση του αερίου τόσο όσο και στην περίπτωση άλλων εφαρμογών. Εντούτοις, το βιοαέριο πρέπει να υποβληθεί σε συμπύκνωση και αφαίρεση των σωματιδίων, συμπίεση, ψύξη και αφυδάτωση.

### 4.2 Συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ)

Η συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ) είναι η τυπική εφαρμογή του βιοαερίου από την αναερόβια χώνευση σε πολλές ανεπτυγμένες χώρες και θεωρείται ως μια πολύ αποδοτική χρήση του βιοαερίου για την παραγωγή ενέργειας. Πριν από τη μετατροπή της ΣΗΘ, το βιοαέριο στραγγίζεται και ξηραίνεται. Οι περισσότερες μηχανές αερίου έχουν μέγιστα όρια για το σουλφίδιο υδρογόνου, τους αλογονημένους υδρογονάνθρακες και τις σιλοξάνες στο βιοαέριο. Μια μονάδα ΣΗΘ που χρησιμοποιεί μηχανή εσωτερικής καύσης έχει αποδοτικότητα μέχρι 90% και παράγει 40% ηλεκτρική ενέργεια και 60% θερμότητα.

Η πιο συνήθης εφαρμογή των μονάδων ΣΗΘ είναι οι θερμικές εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής τύπου κορμού (BTTP) με κινητήρες καύσης που συνδέονται με μια γεννήτρια. Οι γεννήτριες έχουν συνήθως μια σταθερή ταχύτητα περιστροφής (1.500 περιστροφές/λεπτό) προκειμένου να είναι συμβατές με τη συχνότητα του δικτύου. Οι κινητήρες μπορούν 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. Κατά συνέπεια, στο υπόλοιπο κείμενο και οι δύο μηχανές θα αναφέρονται ως μηχανές Otto. Οι εναλλακτικές λύσεις στις προαναφερθείσες εφαρμογές είναι οι μικροί αεριοστροβίλοι, οι μηχανές Stirling και οι κυψέλες καυσίμου, τεχνολογίες που είναι ακόμα σε στάδιο ανάπτυξης και περιγράφονται λεπτομερέστερα στη συνέχεια.



Σχήμα 4.1: Καυστήρας βιοαερίου για παραγωγή θερμότητας [33]

Η παραχθείσα 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 ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας, όλη η παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια πωλείται στο δίκτυο και η ηλεκτρική ενέργεια της διεργασίας αγοράζεται από το ίδιο το εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο.

Ένα σημαντικό ζήτημα για την ενεργειακή και την οικονομική αποδοτικότητα των εγκαταστάσεων του βιοαερίου είναι η χρήση της παραχθείσας θερμότητας. Συνήθως, ένα μέρος της θερμότητας χρησιμοποιείται για τη θέρμανση των χωνευτήρων (θερμότητα διεργασίας) και περίπου τα δύο τρίτα όλης της παραχθείσας ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εξωτερικές ανάγκες. Πολλές εγκαταστάσεις βιοαερίου, σε χώρες όπως η Γερμανία, σχεδιάστηκαν αποκλειστικά για λόγους ηλεκτροπαραγωγής, χωρίς πρόβλεψη για χρήση της θερμότητας. Σήμερα, για την επίτευξη καλής οικονομίας της εγκατάστασης είναι υποχρεωτική η χρήση της θερμότητας. Οι τιμές των προϊόντων (π.χ. για το καλαμπόκι) έχουν αυξηθεί και, για πολλές εγκαταστάσεις, δεν είναι αρκετή μόνο η πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας για την επίτευξη οικονομικής βιωσιμότητας. Οι νεο-εγκαθιστώμενες μονάδες βιοαερίου πρέπει επομένως να περιλαμβάνουν πάντα στο γενικό σχεδιασμό τη χρήση της θερμότητας.

Η θερμότητα από βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις βιομηχανικές διεργασίες, στις γεωργικές δραστηριότητες ή για τη θέρμανση κτιρίων. Ο καταλληλότερος χρήστης της θερμότητας είναι η βιομηχανία, δεδομένου ότι η ζήτηση είναι σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Η ποιότητα της θερμότητας (θερμοκρασία) είναι ένα σημαντικό ζήτημα για τις βιομηχανικές εφαρμογές. Η χρήση της θερμότητας από βιοαέριο για την θέρμανση κτιρίων και νοικοκυριών (θέρμανση μίνι-δικτύου ή περιοχής) είναι μια άλλη επιλογή, αν και αυτή η εφαρμογή έχει χαμηλή ζήτηση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και υψηλή, κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Η θερμότητα από βιοαέριο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την ξήρανση προϊόντων, τεμαχίων ξύλου ή για το χωρισμό του κομπόστ. Τέλος, η θερμότητα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμένα συστήματα «ηλεκτρισμού, θερμότητας, δροσισμού». Αυτή η διεργασία είναι γνωστή από

τα ψυγεία και χρησιμοποιείται π.χ. για την εν ψυχρώ αποθήκευση τροφίμων ή τον κλιματισμό. Η ενέργεια εισαγωγής είναι θερμότητα, η οποία μετατρέπεται σε ψύξη μέσω μιας διεργασίας απορρόφησης, όπου γίνεται μια διαφοροποίηση μεταξύ της προσρόφησης και της διεργασίας δροσισμού με απορρόφηση. Το πλεονέκτημα της ψύξης μέσω της απορρόφησης είναι οι μικρές φθορές, λόγω των λίγων μηχανικών μερών, και η μικρή κατανάλωση ενέργειας, σε σύγκριση με τις εγκαταστάσεις δροσισμού με συμπίεση. Η χρήση του συνδυασμού ηλεκτρισμός-θερμότητα-δροσισμός στις εγκαταστάσεις βιοαερίου εξετάζεται αυτήν την περίοδο μέσω διάφορων πιλοτικών προγραμμάτων.

#### 4.2.1 Μηχανές αερίου Otto

Οι κινητήρες Otto αναπτύσσονται συγκεκριμένα για τη χρήση του βιοαερίου σύμφωνα με την αρχή του Otto. Οι μηχανές (ισχνης 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 με τουλάχιστον 45% περιεχόμενο μεθανίου. Οι μικρότερες μηχανές, μέχρι τα 100 kW<sub>el</sub>, είναι συνήθως μηχανές Otto. Για υψηλότερη ηλεκτρική απόδοση, χρησιμοποιούνται συναθροίσεις προσαρμοσμένων ντιζελοκινητήρων. Και οι δύο μηχανές ονομάζονται «Μηχανές Αερίου Otto» δεδομένου ότι η βασική λειτουργία τους είναι βασισμένη στην αρχή του Otto. Οι μηχανές Otto (Σχήμα 4.2) μπορούν να λειτουργούν με βιοαέριο ή φυσικό αέριο. Αυτό είναι χρήσιμο κατά την φάση της εκκίνησης των εγκαταστάσεων βιοαερίου, όταν η θερμότητα χρησιμοποιείται για να θερμάνει τους χωνευτήρες.



Σχήμα 4.2: Μηχανές αερίου Otto [33]

#### 4.2.2 Μηχανή προέγχυσης καυσίμου

Η μηχανή προέγχυσης καυσίμου (επίσης αποκαλούμενη μηχανή διπλού καυσίμου) είναι βασισμένη στην αρχή της μηχανής ντίζελ. Αυτές οι μηχανές χρησιμοποιούνται συχνά στα τρακτέρ και τα βαρέα οχήματα. Το βιοαέριο αναμιγνύεται με τον αέρα καύσης σε έναν αναμίκτη αερίου. Αυτό το μίγμα περνά μέσω ενός συστήματος έγχυσης στον

θάλαμο καύσης όπου αναφλέγεται από το εγχεόμενο πετρέλαιο ανάφλεξης. Συνήθως, εγχέεται αυτόματα και καίγεται έλαιο ανάφλεξης μέχρι 10%. Οι μηχανές πιλοτικής έγχυσης λειτουργούν με μεγάλη περίσσεια αέρα.

Στην περίπτωση διακοπής του ανεφοδιασμού με βιοαέριο, οι μηχανές πιλοτικής έγχυσης μπορούν επίσης να λειτουργήσουν με καθαρό έλαιο 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 εγκαταστάσεων βιοαερίου για την παραγωγή θερμότητας διεργασίας. Το έλαιο 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 στη περίπτωση διαρροής υγρών και δημιουργίας κηλίδων. Εντούτοις, 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.

#### 4.2.3 Μηχανές Stirling

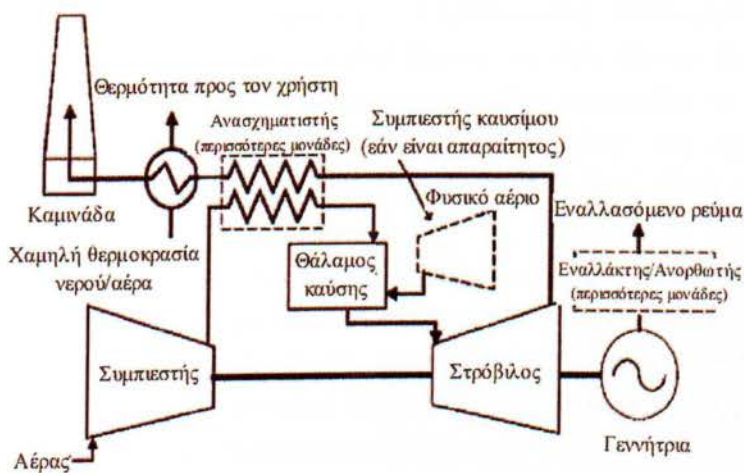
Η μηχανή Stirling λειτουργεί χωρίς εσωτερική καύση, βάση της αρχής ότι οι αλλαγές στη θερμοκρασία των αερίων οδηγούν σε αλλαγές του όγκου. Τα έμβολα της μηχανής κινούνται από την διαστολή ενός εσώκλειστου αερίου, ως αποτέλεσμα της έγχυσης θερμότητας από μια εξωτερική πηγή ενέργειας. Η απαραίτητη θερμότητα μπορεί να παρασχεθεί από διάφορες πηγές ενέργειας, όπως ένας καυστήρας αερίου που λειτουργεί με βιοαέριο. Προκειμένου να χρησιμοποιηθούν οι μηχανές Stirling για το βιοαέριο είναι απαραίτητη κάποια τεχνική προσαρμογή τους. Λόγω της εξωτερικής καύσης, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί βιοαέριο με χαμηλότερη περιεκτικότητα σε μεθάνιο.

Η ηλεκτρική αποδοτικότητά τους κυμαίνεται μεταξύ 24 και 28%, που είναι χαμηλότερη από την αποδοτικότητα των μηχανών αερίου Otto. Οι θερμοκρασίες των καυσαερίων είναι μεταξύ 250 και 300°C. Η δυναμικότητα των μηχανών Stirling είναι συνήθως χαμηλότερη από 50 kW<sub>el</sub>. Λόγω της χαμηλής φθοράς των συνιστωσών της μηχανής Stirling, μπορούν να αναμένονται χαμηλές δαπάνες συντήρησης. Η μηχανή Stirling θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε θερμικές εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής τύπου μονάδας.

#### 4.2.4 Μικροστροβίλοι βιοαερίου

Στους μικροστροβίλους βιοαερίου, ο αέρας πιέζεται σε έναν θάλαμο καύσης, σε υψηλή πίεση και αναμιγνύεται με το βιοαέριο. Το μίγμα αέρα-βιοαερίου καίγεται και λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας, το αέριο μίγμα διαστέλλεται. Τα καυτά αέρια απελευθερώνονται μέσω ενός στροβίλου, ο οποίος συνδέεται με τη γεννήτρια

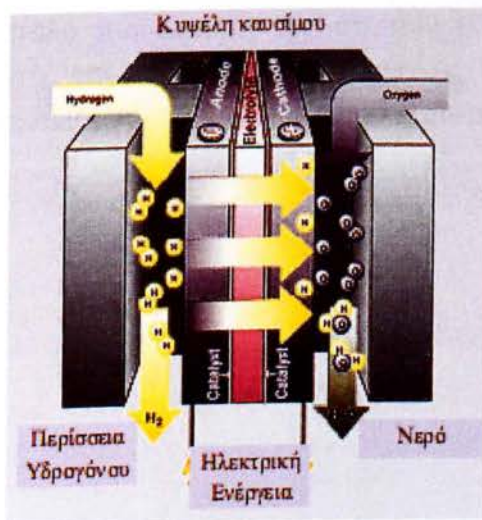
ηλεκτρικής ενέργειας (Σχήμα 4.3). Οι χαρακτηριστικές ηλεκτρικές δυναμικότητες των μικροστρόβιλων είναι κάτω από  $200 \text{ kW}_{el}$ . Σήμερα, οι μικροστρόβιλοι βιοαερίου είναι πάρα πολύ ακριβοί ώστε να είναι οικονομικά ανταγωνιστικοί αλλά γίνονται πειράματα με το βιοαέριο και αναμένονται μακροπρόθεσμα μειώσεις στα κόστη.



Σχήμα 4.3: Δομή μικροστρόβιλου [18]

#### 4.2.5 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 (Σχήμα 4.4). Σε μια χαρακτηριστική κυψέλη καυσίμου, τα αεριώδη καύσιμα (βιοαέριο) τροφοδοτούνται συνεχώς στο διαμέρισμα της ανόδου (το αρνητικό ηλεκτρόδιο) και ένα οξειδωτικό (δηλ., οξυγόνο από τον αέρα) τροφοδοτείται συνεχώς στο διαμέρισμα της καθόδου (το θετικό ηλεκτρόδιο). Μια ηλεκτροχημική αντίδραση λαμβάνει χώρα στα ηλεκτρόδια, παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα.



Σχήμα 4.4: Απλουστευμένο σχηματικό διάγραμμα μιας κυψέλης καυσίμου [33]

Υπάρχουν διάφοροι τύποι κυψελών καυσίμου που ονομάζονται σύμφωνα με τον τύπο του χρησιμοποιούμενου ηλεκτρολύτη. Μπορούν να είναι χαμηλής (AFC, PEM), μέσης (PAFC) ή υψηλής θερμοκρασίας (MCFC, SOFC) κυψέλες καυσίμου. Η επιλογή της κυψέλης καυσίμου εξαρτάται από το αέριο εισαγωγής και τη χρήση της θερμότητας. Η κυψέλη καυσίμου με μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίων (PEM) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το βιοαέριο. Λόγω της θερμοκρασίας λειτουργίας της που είναι 80°C, η θερμότητα μπορεί να τροφοδοτηθεί άμεσα σε ένα δίκτυο θερμότητας/ζεστού ύδατος. Ο τύπος του ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιείται επηρεάζει τη λειτουργική ζωή των PEM, που είναι πολύ ευαίσθητες στις ακαθαρσίες του αερίου καυσίμου, συμπεριλαμβανομένου του διοξειδίου του άνθρακα. Για τον λόγο αυτό, είναι πολύ σημαντικός ο καθαρισμός του αερίου.

Η περισσότερο αναπτυγμένη κυψέλη καυσίμου είναι η κυψέλη καυσίμου φωσφορικού οξέως (PAFC), που συχνά χρησιμοποιείται παγκοσμίως με φυσικό αέριο. Σε αντίθεση με άλλες κυψέλες καυσίμου, η ηλεκτρική αποδοτικότητά της είναι χαμηλή αλλά το πλεονέκτημά της είναι το γεγονός ότι είναι λιγότερο ευαίσθητη στην παρουσία διοξειδίου του άνθρακα και μονοξειδίου του άνθρακα στο αέριο.

Η MCFC (κυψέλη καυσίμου τηγμένων ανθρακικών αλάτων) χρησιμοποιείται με μια ροή ρευστού άνθρακα ως ηλεκτρολύτη. Η MCFC δεν επηρεάζεται από το μονοξείδιο του άνθρακα, ενώ ανέχεται συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα μέχρι 40% του όγκου. Λόγω της θερμοκρασίας λειτουργίας της, που είναι από 600 έως 700°C, η μετατροπή του μεθανίου σε υδρογόνο, γνωστή και ως ανασχηματισμός, μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσα στην κυψέλη. Η διάσπαρτη θερμότητά της, μπορεί, για παράδειγμα να χρησιμοποιηθεί σε έναν κατάντη στρόβιλο.

Μια άλλη υψηλής θερμοκρασίας κυψέλη καυσίμου είναι η SOFC (κυψέλη καυσίμου σταθεροποιημένων οξειδίων), η οποία λειτουργεί σε θερμοκρασίες μεταξύ 750 και 1.000°C. Η κυψέλη καυσίμου SOFC έχει υψηλή ηλεκτρική αποδοτικότητα και ο ανασχηματισμός του μεθανίου σε υδρογόνο μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσα στη κυψέλη. Είναι ιδανική για τη χρήση βιοαερίου λόγω της χαμηλής ευαισθησίας της στο θείο.

Οι δαπάνες επένδυσης όλων των κυψελών καυσίμου βιοαερίου είναι πολύ υψηλές (12.000 €/kW), και είναι πολύ πιο υψηλές απ' ό,τι των BTTPs που λειτουργούν με μηχανές. Για τον λόγο αυτό, και λαμβάνοντας υπόψη τις τρέχουσες εξελίξεις και τα πειραματικά αποτελέσματα, δεν είναι ακόμα διαθέσιμα εμπορεύσιμα συστήματα.



Σχήμα 4.5: Η πρώτη παγκοσμίως κυψέλη καυσίμου τύπου MCFC για βιοαέριο, που λειτουργεί στη Γερμανία [33]

### 4.3 Παραγωγή κομπόστ

#### 4.3.1 Βιοδιάσπαση της οργανικής ουσίας

Η επεξεργασία των ζωικών περιττωμάτων και πολτών στις εγκαταστάσεις βιοαερίου οδηγεί στη βιοδιάσπαση των οργανικών ενώσεων σε ανόργανες ουσίες και μεθάνιο. Στην πράξη, οι εγκαταστάσεις βιοαερίου που επεξεργάζονται τα ζωικά περιττώματα και τους πολτούς έχουν ένα ρυθμό υποβάθμισης της οργανικής ουσίας της τάξης του 40% για τον πολτό βοοειδών και 65% για τον πολτό χοίρων. Ο ρυθμός υποβάθμισης εξαρτάται κυρίως από τον τύπο της πρώτης ύλης (Πίνακας 4.4), τον υδραυλικό χρόνο παραμονής (ΥΧΠ) και τη θερμοκρασία της διεργασίας. Λόγω της υποβάθμισης της οργανικής ουσίας, γίνεται ευκολότερο να αντληθεί το κομπόστ και να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα, με μειωμένη ανάγκη για ανάδευση, σε σύγκριση με τον μη επεξεργασμένο πολτό.

|                   | Ξηρή ουσία % | Σύνολο N kg/ton | NH <sub>4</sub> -N kg/ton | P kg/ton | K kg/ton | Παράγοντας pH |
|-------------------|--------------|-----------------|---------------------------|----------|----------|---------------|
| Πολτός βοοειδών   | 6,0          | 5,0             | 2,8                       | 0,8      | 3,5      | 6,5           |
| Πολτός χοίρων     | 4,0          | 5,0             | 3,8                       | 1,0      | 2,0      | 7,0           |
| Χωνευμένος πολτός | 2,8          | 5,0             | 4,0                       | 0,9      | 2,8      | 7,5           |

Πίνακας 4.4: Διανομή θρεπτικών ουσιών στο κομπόστ [33]

#### 4.3.2 Βελτίωση του λιπάσματος

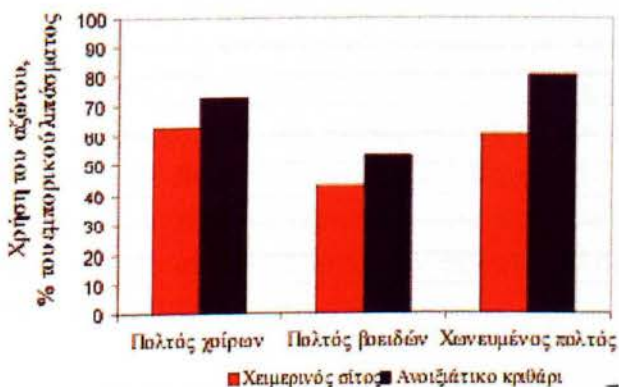
Μέσω της διεργασίας της αναερόβιας χώνευσης, οι πιο οργανικά συνδεδεμένες θρεπτικές ουσίες, ιδιαίτερα το άζωτο, είναι μεταλλοποιημένες και διατίθενται εύκολα στα φυτά. Το Σχήμα 4.6 παρουσιάζει την χρήση του αζώτου από χωνευμένο πολτό, που εφαρμόζεται στο χειμερινό σίτο και το ανοιξιότικο κριθάρι, έναντι της χρήσης αζώτου



από μη επεξεργασμένο πολτό. Λόγω της αυξανόμενης διαθεσιμότητας του αζώτου, το κομπόστ μπορεί να ενσωματωθεί πλήρως στα σχέδια λίπανσης των αγροκτημάτων, καθώς είναι δυνατό να υπολογιστούν τα αποτελέσματα λίπανσής του με τον ίδιο τρόπο όπως και για τα ορυκτά λιπάσματα.

Το κομπόστ έχει χαμηλότερη αναλογία C/N, έναντι του ακατέργαστου λιπάσματος. Η χαμηλότερη αναλογία C/N σημαίνει ότι το κομπόστ έχει μια καλύτερη επίδραση βραχυπρόθεσμης N-λίπανσης. Όταν η τιμή της αναλογίας C/N είναι πάρα πολύ υψηλή, οι μικροοργανισμοί υπερισχύουν στο χώμα, καθώς ανταγωνίζονται επιτυχώς με τις ρίζες των φυτών για το διαθέσιμο άζωτο.

#### Αξία λιπάσματος



Σχήμα 4.6: Χρήση του αζώτου στο κομπόστ σε σύγκριση με τον μη επεξεργασμένο πολτό χοίρων και βοοειδών [33]

#### 4.4 Εφαρμογή του κομπόστ ως λίπασμα

Το κομπόστ είναι πιο ομοιογενές σε σχέση με τον ακατέργαστο πολτό, με μια βελτιωμένη ισορροπία N-P. Έχει ένα δηλωμένο περιεχόμενο φυτικών θρεπτικών ουσιών, που επιτρέπει την ακριβή δοσολογία και την ένταξη στα σχέδια λίπανσης των αγροκτημάτων. Το κομπόστ περιέχει περισσότερο ανόργανο άζωτο, ευκολότερα προσιτό στα φυτά, από τον μη επεξεργασμένο πολτό. Θα αυξηθεί αρκετά η N-αποδοτικότητα και θα ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες των θρεπτικών ουσιών από τη διύλιση και την εξάτμιση εάν το κομπόστ χρησιμοποιείται ως λίπασμα σύμφωνα με την ορθή γεωργική πρακτική. Για τη βέλτιστη χρήση του κομπόστ ως λίπασμα πρέπει να εξεταστούν οι ίδιες βασικές πτυχές, όπως και στην περίπτωση της χρήσης των μη επεξεργασμένων πολτών και περιττωμάτων:

Ικανοποιητική ικανότητα αποθήκευσης (ελάχιστο 6 μήνες).

Εποχιακοί περιορισμοί για την εφαρμογή ως λίπασμα (κατά τη διάρκεια της βλάστησης)

Ποσότητα που εφαρμόζεται ανά εκτάριο (με βάση το σχέδιο λίπανσης).

Τεχνική εφαρμογής (άμεση ενσωμάτωση και ελάχιστες θρεπτικές απώλειες).

Αναλόγως τις καλλιέργειες, η εμπειρία δείχνει ότι, στην Ευρώπη, ο καλύτερος χρόνος για την εφαρμογή του κομπόστ είναι κατά την έντονη βλαστική αύξηση. Το κομπόστ

μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα επιφανείας στις καλλιέργειες σε πλήρη βλάστηση. Αυτή η εφαρμογή δεν προκαλεί ανησυχία για την απώλεια αζώτου ως νιτρικό άλας στα υπόγεια ύδατα, δεδομένου ότι το κύριο μέρος των θρεπτικών ουσιών απορροφάται άμεσα από τα φυτά. Η εμπειρία στην Δανία δείχνει ότι, με την εφαρμογή του κομπόστ ως λίπασμα επιφανείας, ένα μέρος των θρεπτικών ουσιών απορροφάται μέσω των φύλλων.

## 4.5 Βελτίωση του κομπόστ

Το κομπόστ έχει υψηλή περιεκτικότητα σε ύδωρ και συνεπώς μεγάλο όγκο. Η βελτίωση του κομπόστ στοχεύει στη μείωση του όγκου και την συγκέντρωση των θρεπτικών ουσιών. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στις περιοχές με εντατική ζωική καλλιέργεια, όπου υπάρχει μια περίσσεια θρεπτικών ουσιών από τα ζωικά περιττώματα και μη ικανοποιητική έκταση διαθέσιμη για την εφαρμογή τους. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η περίσσεια των θρεπτικών ουσιών πρέπει να μεταφερθεί σε άλλες περιοχές με έναν οικονομικό και αποδοτικό τρόπο. Η βελτίωση του κομπόστ δεν παρέχει μόνο την ευκαιρία μείωσης των δαπανών μεταφοράς των θρεπτικών ουσιών, αλλά και μείωσης των εκπομπών ρύπων και οσμών.

### 4.5.1 Στρατηγικές βελτίωσης του κομπόστ

Το κομπόστ μπορεί να είναι μερικώς ή πλήρως βελτιωμένο. Η αποδοτικότητα χώνευσης των γεωργικών εγκαταστάσεων βιοαερίου είναι τυπικά της τάξης του 50-60% [19]. Αυτό σημαίνει ότι το κομπόστ περιέχει 40-50% της αρχικής οργανικής ξηρής ουσίας, πρώτιστα ως ίνες.

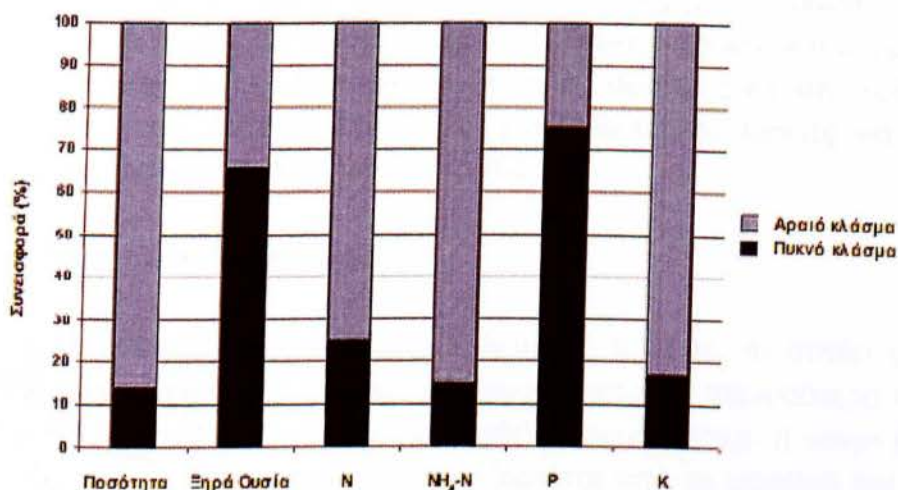
Η μερική βελτίωση σημαίνει το διαχωρισμό του στερεού υλικού (ίνες) από το κομπόστ, χρησιμοποιώντας διαχωριστές τύπου κοχλία ή αποσταλακτήρες. Η μερική βελτίωση μέσω του διαχωρισμού των ινών έγινε αρχικά με στόχο την παραγωγή εμπορικού λιπάσματος. Αργότερα, έγιναν δοκιμές σε πλήρη κλίμακα όπου το χωρισμένο μέρος των ινών, με περιεχόμενο ξηρής ουσίας πάνω από 45%, χρησιμοποιήθηκε ως συμπληρωματικό καύσιμο σε λέβητες ρινισμάτων ξύλου, βελτιώνοντας την συνολική ενεργειακή αποδοτικότητα κατά περίπου 15%, μέσω της συμπληρωματικής παραγωγής θερμότητας [19]. Ένα δευτερεύον όφελος, που τελευταία φαίνεται να προσθέτει στην επιτευξιμότητα του σχήματος διαχωρισμού, είναι η αφαίρεση και η εξαγωγή της περιπτώσεως του φωσφόρου, η οποία είναι κυρίως συνδεδεμένη με το μέρος των ινών. Επειδή το φωσφορικό άλας είναι προσκολλημένο στα στερεά σωματίδια, ο φώσφορος αφαιρείται μερικώς με το μέρος των ινών.

Για τον λόγο αυτό, η μερική βελτίωση μέσω του διαχωρισμού απόσταξης (Πίνακας 4.5) είναι μια τεχνολογία κατάλληλη σε καταστάσεις όπου υπάρχει μία περίσσεια φωσφόρου (Σχήμα 4.18). Μπορεί να εξαχθεί το μέρος των ινών, ενώ το υπόλοιπο υγρό μέρος, που περιέχει το κύριο μέρος του αζώτου, μπορεί να εφαρμοστεί ως λίπασμα. Πρόσφατα ερευνητικά αποτελέσματα δείχνουν ότι τα διαχωρισμένα μέρη των ινών μπορούν να τροφοδοτηθούν πάλι στο χωνευτήρα, μετά από μίξη με άλλα ομο-υποστρώματα. Ο

στόχος είναι να βελτιωθεί η περιεκτικότητα σε ξηρή ουσία του μίγματος της πρώτης ύλης και να αυξηθεί το δυναμικό μεθανίου του υποστρώματος.

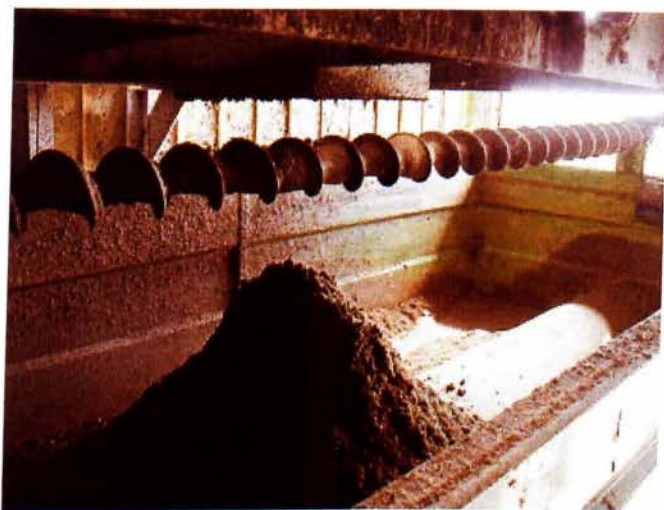
|                        | Ποσότητες<br>% | ΞΟ<br>%       | N<br>%        | NH <sub>4</sub> -N<br>% | P<br>%        | K<br>%        |
|------------------------|----------------|---------------|---------------|-------------------------|---------------|---------------|
| Ακατέργαστος<br>πιλτός | 100            | 100<br>(6,4%) | 100<br>(5,7%) | 100<br>(4,2%)           | 100<br>(1,6%) | 100<br>(2,6%) |
| Στερεό μέρος           | 14             | 65<br>(30%)   | 25<br>(10,1%) | 15<br>(4,5%)            | 75<br>(8,7%)  | 17<br>(3,1%)  |
| Υγρό μέρος             | 86             | 35<br>(2,6%)  | 75<br>(4,9%)  | 65<br>(4,2%)            | 25<br>(0,5%)  | 83<br>(2,5%)  |

Πίνακας 4.5: Τα χωρισμένα μέρη από τη φυγοκέντριση απόσταξης [7]



Σχήμα 4.18: Η συνεισφορά της ξηρής ουσίας και των θρεπτικών ουσιών σε διαχωρισμένα μέρη από φυγοκέντριση απόσταξης [7]

Ο διαχωρισμός των ινών γίνεται με διαχωριστές ή ελικοειδή κόσκινα, αποσταλακτήρες και περιστασιακά με πρέσες ταινίας-κόσκινου (Σχήμα 4.19). Το 15-20% των στερεών διαχωρίζεται με ελικοειδή κόσκινα και περισσότερο από το 60% με φυγοκεντρίσεις σε αποσταλακτήρα. Το μεγαλύτερο μέρος του αζώτου (έως και το 90%) διαχωρίζεται με το υγρό μέρος, ενώ το φωσφορικό άλας αφαιρείται μερικώς, καθώς το κύριο μέρος δεσμεύεται στις ίνες/σωματίδια του στερεού υλικού.



Σχήμα 4.19: Βαγόνι συλλογής των ινών, με κοχλία ως διανομέα [19]

Οι διεργασίες ολικής βελτίωσης (συμπεριλαμβανομένης της εξαγωγής του ύδατος) χρησιμοποιούν δύο κύριες τεχνολογίες: την τεχνολογία διαχωρισμού μεμβράνης ή την τεχνική της εξάτμισης. Και οι δύο είναι τεχνολογικά σύνθετες και απαιτούν σημαντική κατανάλωση ενέργειας. Για τον λόγο αυτό, είναι οικονομικά εφικτές για τις μονάδες βιοαερίου με εγκατεστημένη ισχύ πάνω από 700 kW.

### Τεχνολογία διαχωρισμού μεμβράνης

Μια μεμβράνη είναι ένα φίλτρο με πολύ λεπτούς πόρους, οι οποίοι μπορούν να διαχωρίσουν τα σωματίδια και τις διαλυτές ουσίες από τα περισσότερα υγρά σε μια κλίμακα μορίου. Η απόφαση να χρησιμοποιηθεί η μικρο-, υπερ- ή νανο- διήθηση ή η αντίστροφη όσμωση των διαλυτών ουσιών εξαρτάται από το μέγεθος του υλικού που πρόκειται να διαχωριστεί. Η κινητήρια δύναμη για το διαχωρισμό της ξηρής ουσίας είναι η διαφορά της πίεσης μεταξύ των δύο πλευρών της μεμβράνης, δηλ. ύδωρ, καθώς επίσης και πολύ μικρά σωματίδια, που περνούν από τη μεμβράνη υπό πίεση. Συχνά συνδέονται διάφορα βήματα βελτίωσης σε διαδοχική σειρά, προκειμένου να επιτευχθεί ο επιθυμητός διαχωρισμός. Παραδείγματος χάριν, τα μεγαλύτερα σωματίδια αφαιρούνται από ένα διήθημα αποσταλακτήρα, μέσω ενός πρώτου βήματος υπερδιήθησης και, έπειτα, οι διαλυτές ουσίες αφαιρούνται σε ένα δεύτερο βήμα με αντίστροφη όσμωση. Εκτός από το καθαρό ύδωρ, ο διαχωρισμός μεμβράνης παράγει ένα συμπύκνωμα πλούσιο σε θρεπτικά στοιχεία, το οποίο μπορεί να πωληθεί είτε άμεσα, ως υγρό λίπασμα, είτε να υποβληθεί σε περαιτέρω επεξεργασία για μείωση του όγκου μέσω της εξάτμισης.

### Εξάτμιση

Μέσω της εξάτμισης, η υγρή φάση καθαρίζεται περαιτέρω και διαχωρίζεται σε θρεπτικές ουσίες και καθαρισμένο ύδωρ. Οι εγκαταστάσεις εξάτμισης απαιτούν υψηλή κατανάλωση ενέργειας. Στις περισσότερες περιπτώσεις, σε εγκαταστάσεις εξάτμισης

χρησιμοποιείται το πλεόνασμα της θερμότητας από την παραγωγή της ΣΗΘ, αυξάνοντας την αποδοτικότητα της ενεργειακής χρήσης και συμβάλλοντας στη χρηματοδότηση ενός μέρους των τρεχουσών δαπανών της εγκατάστασης βελτίωσης. Κρίσιμα για την επιλογή της τεχνολογίας εξάτμισης είναι τα χαρακτηριστικά του υποστρώματος που πρόκειται να εξατμισθεί. Στην περίπτωση του κομπόστ, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί ένας εξατμιστήρας κλειστής κυκλοφορίας, στον οποίο η μετάδοση της θερμότητας και η πραγματική διαδικασία της εξάτμισης λαμβάνουν χώρα ξεχωριστά. Αυτό εξασφαλίζει μια σταθερότερη διεργασία, ειδικά εάν το προς εξάτμιση υπόστρωμα έχει μια τάση να παράγει στρώματα.

#### 4.5.2 Απαραίτητες εκτιμήσεις

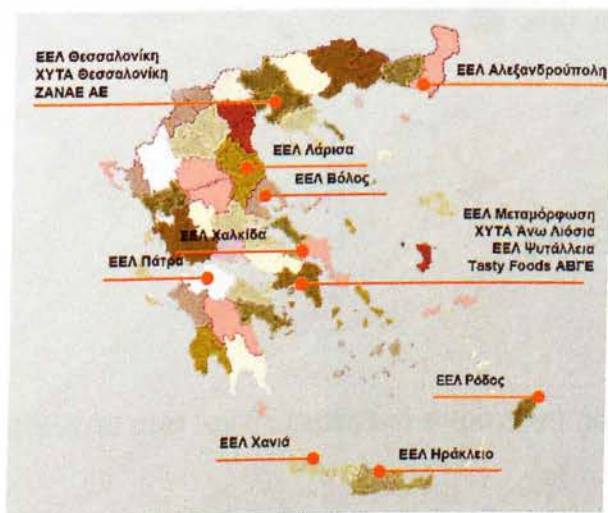
Οι τεχνολογίες βελτίωσης (ειδικά η πλήρης βελτίωση), απαιτούν μεγάλη κατανάλωση ενέργειας προκειμένου να δημιουργηθεί η απαραίτητη πίεση που χρησιμοποιείται στις τεχνολογίες μεμβράνης, ή για την παραγωγή θερμότητας που χρησιμοποιείται στις διαδικασίες εξάτμισης. Μέχρι και το 50% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο είναι απαραίτητο για την πλήρη βελτίωση με τη χρήση της τεχνολογίας μεμβράνης του παραγόμενου κομπόστ. Η μερική βελτίωση είναι λιγότερο απαιτητική σε ενέργεια, φθηνότερη και, στις περιοχές όπου υπάρχει πλεόνασμα φωσφόρου, είναι η πιο οικονομική τεχνολογία βελτίωσης.

Σε όλες τις περιπτώσεις, η τεχνολογία βελτίωσης επιλέγεται σύμφωνα με τα χημικά και φυσικά χαρακτηριστικά του κομπόστ, και εδώ είναι που θα πρέπει να ληφθεί πρόνοια για την τάση του κομπόστ να σχηματίζει στρώματα. Εάν ο στόχος είναι η πλήρης βελτίωση, είναι σημαντικό το μεγαλύτερο μέρος της χωνευόμενης ξηρής ουσίας να αφαιρείται μέσω του πλήρους διαχωρισμού του υγρού και των ινών, ακολουθούμενο από υπερ-διήθηση (< 0.2 χιλ.), έτσι ώστε το υπόλοιπο υγρό μέρος να έχει σχεδόν την ποιότητα του καθαρού ύδατος. Εάν τα διαχωρισμένα μέρη δεν φθάσουν στο απαραίτητο επίπεδο καθαρότητας, ή εάν οι επιλεγμένες μεμβράνες και διαδικασίες δεν είναι κατάλληλες για το κομπόστ, οι δαπάνες για ενέργεια, εργατικά, συντήρηση και καθαρισμό του συστήματος θα αυξηθούν αρκετά.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Δυναμικό βιοαερίου στην Ελλάδα

### 5.1 Παρούσα κατάσταση

Η παραγωγή βιοαερίου στην Ελλάδα σε αντίθεση με την Ευρώπη προέρχεται κυρίως από Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ), από Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) και μια δυο βιομηχανικές εφαρμογές, όπως φαίνεται και στον σχήμα 5.1:



Σχήμα 5.1: Μονάδες βιοαερίου στην Ελλάδα (σε λειτουργία το 2007) [5]

Αν και σε επίπεδο χώρας υπάρχει σημαντικό δυναμικό οργανικών αποβλήτων και ειδικότερα ζωικών αποβλήτων, σήμερα δεν υπάρχουν μικρής κλίμακας αγροτο-κτηνοτροφικές μονάδες (farm-scale plants). Στην Ελλάδα, τα πρόβατα και οι αίγες αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό των πληθυσμών ζώων και εκτρέφονται από βοσκούς. Το μεγαλύτερο ποσοστό της κτηνοτροφίας είναι εκτατική και οι παραγόμενες ποσότητες αποβλήτων διασπείρονται στο έδαφος. (προφορική αναφορά από κτηνοτρόφους)

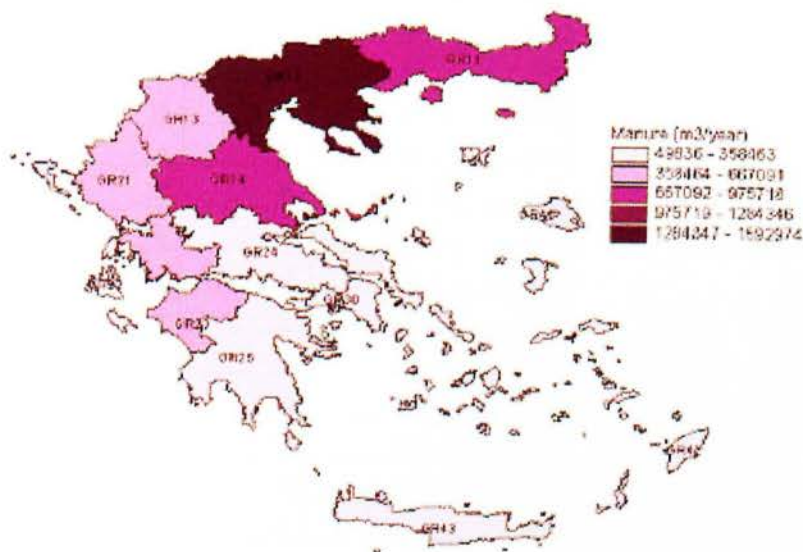
Δεδομένου ότι η κτηνοτροφία είναι εκτατική οι δυνητικοί χρήστες της παραγωγής βιοαερίου είναι κτηνοτροφικές μονάδες και μάλιστα μεσαίου και μεγάλου μεγέθους. Αξίζει να αναφερθεί ότι αν και η Ελλάδα παρουσιάζει υψηλό δυναμικό ζωικών αποβλήτων δεν υπάρχει μονάδα βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος.

### 5.2 Διαθεσιμότητα πρώτης ύλης και διάρθρωση του αγροτικού τομέα

#### 5.2.1 Κτηνοτροφικά απόβλητα

Τα ζωικά απόβλητα εκτιμήθηκαν λαμβάνοντας υπόψη τα διαφορετικά είδη και βάρος των ζώων και την παραγωγή αποβλήτων τους ανά έτος σε λίτρα (Σχήμα 5.2). Τα πιο σημαντικά είδη αποβλήτων για εκμετάλλευση βιοαερίου είναι αυτά των βοοειδών, των

χοίρων και των πτηνών. Τα ζωικά απόβλητα των άλλων ζώων, όπως τα πρόβατα και οι αίγες σκορπίζονται στις βοσκούμενες εκτάσεις και για τον λόγο αυτό δεν μπορούν να αξιοποιηθούν (εκτατική κτηνοτροφία).



Σχήμα 5.2: Αγροτικά απόβλητα από την δευτερογενή παραγωγή (κτηνοτροφία) [5]

### 5.2.2 Δυναμικό βιοαερίου από κτηνοτροφικά απόβλητα στο Νομό Καρδίτσας (Παράδειγμα Εφαρμογής)

Η παραγωγή βιοαερίου στο νομό Καρδίτσας είναι εφικτή λόγω των πολλών εκμεταλεύσεων και ζωικού κεφαλαίου που υπάρχουν. Παρακάτω παρατίθενται πίνακες που παρουσιάζουν τις εκμεταλεύσεις και το ζωικό κεφάλαιο. Τα δεδομένα λήφθηκαν μετά από σχετική αίτηση από τον ΟΠΕΚΕΠΕ (Οργανισμός Πληρωμών και Ελέγχου Κοινοτικών Ενισχύσεων Προσανατολισμού και Εγγυήσεων). Στις εκμεταλεύσεις χοιρινών δεν υπήρχαν αναλυτικά δεδομένα ενώ στα βοοειδή παρατίθενται οι εκμεταλεύσεις που έχουν ζωικό κεφάλαιο άνω των 10 ζώων. [42]

Χοιρινά:

| ΕΚΜΕΤΑΛΕΥΣΕΙΣ | ΖΩΙΚΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ |
|---------------|----------------|
| 235           | 36904          |

Βοοειδή:

| Όνομα Δημοτικού Διαμερίσματος | 2-6 ΜΗΝΩΝ | 6-24 ΜΗΝΩΝ | >24 ΜΗΝΩΝ | Συνολο Ζωων |
|-------------------------------|-----------|------------|-----------|-------------|
| Δ.Δ.Καρδίτσας                 | 41        | 88         | 176       | 305         |
| Δ.Δ.Καταφυγίου                | 61        | 85         | 129       | 275         |
| Δ.Δ.Πύργου Κιερίου            | 270       |            |           | 270         |
| Δ.Δ.Πετρίνου                  | 16        | 46         | 206       | 268         |
| Δ.Δ.Βλοχού                    |           | 50         | 170       | 220         |

|                  |    |    |     |     |
|------------------|----|----|-----|-----|
| Δ.Δ.Πετρίνου     | 16 | 48 | 146 | 210 |
| Δ.Δ.Ραχούλας     |    | 80 | 124 | 204 |
| Δ.Δ.Λεονταρίου   | 42 | 56 | 74  | 172 |
| Δ.Δ.Κοσκινά      |    |    | 165 | 165 |
| Δ.Δ.Ανθοχωρίου   | 20 | 56 | 84  | 160 |
| Δ.Δ.Βλοχού       | 54 | 24 | 82  | 160 |
| Δ.Δ.Βλοχού       | 42 | 34 | 80  | 156 |
| Δ.Δ.Πετρίνου     | 16 | 16 | 120 | 152 |
| Δ.Δ.Βλοχού       | 54 | 24 | 62  | 140 |
| Δ.Δ.Μαγουλίτσης  | 25 | 60 | 52  | 137 |
| Δ.Δ.Θερινού      | 8  | 10 | 110 | 128 |
| Δ.Δ.Καναλίων     | 42 | 4  | 78  | 124 |
| Δ.Δ.Μουζακίου    | 6  | 8  | 102 | 116 |
| Δ.Δ.Μουζακίου    | 20 | 16 | 80  | 116 |
| Δ.Δ.Λεονταρίου   | 12 | 68 | 32  | 112 |
| Δ.Δ.Βλοχού       | 20 | 14 | 74  | 108 |
| Δ.Δ.Καλλιθήρου   | 28 | 30 | 49  | 107 |
| Δ.Δ.Ανθοχωρίου   | 14 | 12 | 76  | 102 |
| Δ.Δ.Κέδρου       | 10 | 38 | 54  | 102 |
| Δ.Δ.Μυρίνης      | 21 | 29 | 51  | 101 |
| Δ.Δ.Ξινονερίου   |    | 33 | 68  | 101 |
| Δ.Δ.Λαζαρίνας    | 20 | 10 | 70  | 100 |
| Δ.Δ.Αμυγδαλής    | 18 | 32 | 48  | 98  |
| Δ.Δ.Απιδέας      |    | 35 | 57  | 92  |
| Δ.Δ.Γοργοβιτών   | 8  | 27 | 57  | 92  |
| Δ.Δ.Μουζακίου    | 4  | 16 | 72  | 92  |
| Δ.Δ.Κέδρου       |    | 91 |     | 91  |
| Δ.Δ.Ρούσσου      |    | 20 | 70  | 90  |
| Δ.Δ.Καναλίων     | 28 | 54 |     | 82  |
| Δ.Δ.Μουζακίου    | 20 | 10 | 52  | 82  |
| Δ.Δ.Καρδίτσης    |    | 38 | 42  | 80  |
| Δ.Δ.Μαραθέας     |    |    | 75  | 75  |
| Δ.Δ.Ραχούλας     | 10 | 31 | 33  | 74  |
| Δ.Δ.Δρακότρυπας  | 4  | 15 | 52  | 71  |
| Δ.Δ.Μαγουλίτσης  | 8  | 23 | 40  | 71  |
| Δ.Δ.Λοξάδας      |    | 20 | 50  | 70  |
| Δ.Δ.Καρδίτσης    | 14 | 10 | 44  | 68  |
| Δ.Δ.Μορφοβουνίου | 8  | 18 | 40  | 66  |
| Δ.Δ.Μαραθέας     |    | 65 |     | 65  |
| Δ.Δ.Βατσουνιάς   | 11 | 14 | 40  | 65  |
| Δ.Δ.Καταφυγίου   |    | 18 | 46  | 64  |
| Δ.Δ.Ανθοχωρίου   | 12 | 20 | 31  | 63  |
| Δ.Δ.Καρπλεσίου   | 19 | 8  | 32  | 59  |
| Δ.Δ.Παλιουρίου   |    |    | 59  | 59  |
| Δ.Δ.Παλιουρίου   |    |    | 57  | 57  |
| Κ.Δ.Βλασίου      |    | 9  | 48  | 57  |



|                      |    |    |    |    |
|----------------------|----|----|----|----|
| Δ.Δ.Πύργου Ιθώμης    | 18 | 2  | 36 | 56 |
| Δ.Δ.Καρδιτσομαγούλας |    | 4  | 51 | 55 |
| Δ.Δ.Παλιουρίου       | 7  | 20 | 27 | 54 |
| Δ.Δ.Παλαμά           |    | 7  | 46 | 53 |
| Δ.Δ.Λουτροπηγής      | 23 |    | 29 | 52 |
| Δ.Δ.Μαραθέας         | 4  | 19 | 29 | 52 |
| Δ.Δ.Ραχούλας         | 13 | 17 | 21 | 51 |
| Δ.Δ.Ραχούλας         | 1  | 38 | 11 | 50 |
| Δ.Δ.Μορφοβουνίου     |    | 50 |    | 50 |
| Δ.Δ.Μορφοβουνίου     |    | 49 | 1  | 50 |
| Δ.Δ.Ανθοχωρίου       | 5  | 21 | 24 | 50 |
| Δ.Δ.Βλοχού           |    | 50 |    | 50 |
| Δ.Δ.Ανάβρας          | 8  | 4  | 37 | 49 |
| Κ.Δ.Στεφανάδος       | 1  | 12 | 36 | 49 |
| Δ.Δ.Κρυονερίου       | 8  | 8  | 33 | 49 |
| Δ.Δ.Βατσουνιάς       | 10 | 2  | 36 | 48 |
| Δ.Δ.Δρακότριπας      | 9  | 8  | 31 | 48 |
| Δ.Δ.Μορφοβουνίου     | 12 | 14 | 22 | 48 |
| Δ.Δ.Κοσκινά          | 20 | 26 |    | 46 |
| Δ.Δ.Κοσκινά          |    |    | 45 | 45 |
| Δ.Δ.Μαραθέας         |    | 44 |    | 44 |
| Δ.Δ.Μουζακίου        | 12 |    | 32 | 44 |
| Δ.Δ.Πετρίνου         | 7  | 9  | 28 | 44 |
| Δ.Δ.Ανθοχωρίου       |    | 6  | 36 | 42 |
| Δ.Δ.Φαναρίου         | 12 | 12 | 18 | 42 |
| Δ.Δ.Ραχούλας         |    |    | 41 | 41 |
| Δ.Δ.Μάρκου           | 12 | 28 | 1  | 41 |
| Δ.Δ.Βλοχού           |    | 40 |    | 40 |
| Δ.Δ.Βλοχού           |    | 40 |    | 40 |
| Δ.Δ.Ελληνοκάστρου    | 10 | 7  | 22 | 39 |
| Δ.Δ.Καρπλεσίου       | 10 | 11 | 18 | 39 |
| Δ.Δ.Ανθοχωρίου       |    | 9  | 29 | 38 |
| Δ.Δ.Αγίου Ακακίου    | 15 | 3  | 20 | 38 |
| Δ.Δ.Πορτής           | 16 | 7  | 15 | 38 |
| Δ.Δ.Καρδιτσομαγούλας |    | 27 | 10 | 37 |
| Δ.Δ.Μορφοβουνίου     |    | 12 | 24 | 36 |
| Δ.Δ.Βατσουνιάς       |    |    | 36 | 36 |
| Δ.Δ.Αγναντερού       |    | 35 |    | 35 |
| Δ.Δ.Προαστίου        |    | 35 |    | 35 |
| Δ.Δ.Αμυδαλής         |    | 16 | 18 | 34 |
| Δ.Δ.Κερασέας         |    | 10 | 24 | 34 |
| Δ.Δ.Λαζαρίνας        | 11 |    | 23 | 34 |
| Δ.Δ.Προαστίου        |    | 33 |    | 33 |
| Δ.Δ.Δρακότριπας      | 2  | 3  | 28 | 33 |
| Δ.Δ.Καρπλεσίου       |    | 15 | 17 | 32 |
| Δ.Δ.Μορφοβουνίου     |    | 32 |    | 32 |

|                    |    |    |    |    |
|--------------------|----|----|----|----|
| Δ.Δ.Ξινονερίου     |    | 18 | 14 | 32 |
| Δ.Δ.Προαστίου      |    | 30 | 2  | 32 |
| Δ.Δ.Ελληνοπύργου   | 7  |    | 24 | 31 |
| Δ.Δ.Αρτεσιανού     |    | 16 | 15 | 31 |
| Δ.Δ.Καροπλεσίου    |    | 5  | 26 | 31 |
| Δ.Δ.Λεονταρίου     | 4  | 2  | 24 | 30 |
| Δ.Δ.Ξινονερίου     | 30 |    |    | 30 |
| Δ.Δ.Μυρίνης        |    |    | 30 | 30 |
| Δ.Δ.Μυρίνης        |    |    | 30 | 30 |
| Δ.Δ.Ανθηρού        | 4  | 9  | 16 | 29 |
| Δ.Δ.Ξινονερίου     |    | 11 | 17 | 28 |
| Δ.Δ.Ανθηρού        | 4  | 4  | 20 | 28 |
| Δ.Δ.Πύργου Ιθώμης  |    | 8  | 20 | 28 |
| Δ.Δ.Πύργου Ιθώμης  | 4  | 2  | 22 | 28 |
| Δ.Δ.Ξινονερίου     |    | 27 |    | 27 |
| Δ.Δ.Καππαδοκικού   |    |    | 27 | 27 |
| Δ.Δ.Πύργου Κιερίου |    | 27 |    | 27 |
| Δ.Δ.Μορφοβουνίου   |    | 9  | 17 | 26 |
| Δ.Δ.Αγίου Ακακίου  | 10 | 4  | 11 | 25 |
| Δ.Δ.Μητροπόλεως    |    | 25 |    | 25 |
| Δ.Δ.Αμπελικού      |    | 24 | 1  | 25 |
| Δ.Δ.Παλαμά         | 6  | 8  | 11 | 25 |
| Δ.Δ.Αγναντερού     | 2  | 10 | 11 | 23 |
| Δ.Δ.Αγίου Θεοδώρου |    | 1  | 22 | 23 |
| Δ.Δ.Μαράθου        |    |    | 22 | 22 |
| Δ.Δ.Μπελοκομίτης   |    | 4  | 17 | 21 |
| Δ.Δ.Γεωργικού      |    | 7  | 13 | 20 |
| Δ.Δ.Καρδίτσης      |    | 20 |    | 20 |
| Δ.Δ.Ανθηρού        |    | 4  | 16 | 20 |
| Δ.Δ.Καπτά          |    | 2  | 18 | 20 |
| Δ.Δ.Μουζακίου      |    | 8  | 12 | 20 |
| Δ.Δ.Καροπλεσίου    | 5  | 7  | 7  | 19 |
| Δ.Δ.Καλογριανών    |    | 19 |    | 19 |
| Δ.Δ.Αγίου Ακακίου  | 5  | 3  | 10 | 18 |
| Δ.Δ.Καππαδοκικού   |    |    | 18 | 18 |
| Δ.Δ.Μουζακίου      |    | 8  | 10 | 18 |
| Δ.Δ.Ξινονερίου     |    | 6  | 12 | 18 |
| Δ.Δ.Πεδινού        | 1  | 16 | 1  | 18 |
| Δ.Δ.Παλαμά         | 2  | 16 |    | 18 |
| Δ.Δ.Αμπελικού      |    | 17 |    | 17 |
| Δ.Δ.Αμυγδαλής      |    | 9  | 8  | 17 |
| Δ.Δ.Παλιουρίου     | 2  |    | 15 | 17 |
| Δ.Δ.Αμπελικού      |    | 15 | 2  | 17 |
| Δ.Δ.Αμυγδαλής      |    |    | 16 | 16 |
| Δ.Δ.Ρεντίνας       |    |    | 16 | 16 |
| Δ.Δ.Προαστίου      |    | 15 |    | 15 |

|                      |    |    |    |    |
|----------------------|----|----|----|----|
| Δ.Δ.Αγίας Τριάδος    |    |    | 15 | 15 |
| Δ.Δ.Καρδίτσομαγούλας |    |    | 15 | 15 |
| Δ.Δ.Ανάβρας          | 2  | 12 |    | 14 |
| Δ.Δ.Φαναρίου         | 4  | 1  | 9  | 14 |
| Κ.Δ.Βλασίου          |    |    | 14 | 14 |
| Δ.Δ.Καρδίτσης        |    | 14 |    | 14 |
| Δ.Δ.Γεφυριών         |    | 9  | 5  | 14 |
| Δ.Δ.Καλογριανών      |    | 14 |    | 14 |
| Δ.Δ.Ιτέας            |    |    | 13 | 13 |
| Δ.Δ.Βραγκιανών       |    | 2  | 11 | 13 |
| Δ.Δ.Αρτεσιανού       |    |    | 13 | 13 |
| Δ.Δ.Ρούσσου          |    | 13 |    | 13 |
| Δ.Δ.Ξινοερίου        |    | 13 |    | 13 |
| Κ.Δ.Βλασίου          |    | 2  | 10 | 12 |
| Δ.Δ.Λουτροπηγής      |    |    | 12 | 12 |
| Δ.Δ.Αμπελικού        |    | 11 |    | 11 |
| Δ.Δ.Καλογριανών      |    | 11 |    | 11 |
| Δ.Δ.Μορφοβουνίου     | 11 |    |    | 11 |
| Δ.Δ.Ελληνοπύργου     | 3  | 4  | 4  | 11 |
| Δ.Δ.Καρδίτσομαγούλας |    | 5  | 6  | 11 |
| Δ.Δ.Καρπλεσίου       |    |    | 11 | 11 |

### Αιγοπρόβατα:

| Όνομα Δημοτικού Διαμερίσματος | ΑΙΓΕΣ > 1 ΕΤΟΥΣ | ΠΡΟΒΑΤΙΝΕΣ > 1 ΕΤΟΥΣ | ΚΡΙΟΙ - ΤΡΑΓΟΙ > 1 ΕΤΟΥΣ | ΣΥΝΟΛΟ |
|-------------------------------|-----------------|----------------------|--------------------------|--------|
| Δ.Δ.Καρδίτσης                 | 417             | 9353                 | 647                      | 10417  |
| Δ.Δ.Μαυρομματίου              | 902             | 7991                 | 312                      | 9205   |
| Δ.Δ.Βλοχού                    | 700             | 7291                 | 761                      | 8752   |
| Δ.Δ.Καναλίων                  | 319             | 6024                 | 314                      | 6657   |
| Δ.Δ.Παλαμά                    | 220             | 5630                 | 360                      | 6210   |
| Δ.Δ.Λεονταρίου                | 2275            | 2280                 | 289                      | 4844   |
| Δ.Δ.Μορφοβουνίου              | 410             | 3666                 | 281                      | 4357   |
| Δ.Δ.Κέδρου                    | 317             | 3806                 | 187                      | 4310   |
| Δ.Δ.Βατσουνιάς                | 551             | 3420                 | 273                      | 4244   |
| Δ.Δ.Ανάβρας                   | 196             | 3403                 | 213                      | 3812   |
| Δ.Δ.Προαστίου                 | 78              | 3537                 | 121                      | 3736   |
| Δ.Δ.Μητροπόλεως               | 146             | 3402                 | 145                      | 3693   |
| Δ.Δ.Γραμματικού               | 64              | 3371                 | 177                      | 3612   |
| Δ.Δ.Ανθηρού                   | 1813            | 1336                 | 194                      | 3343   |
| Δ.Δ.Σοφάδων                   | 22              | 3125                 | 166                      | 3313   |
| Δ.Δ.Ραχούλας                  | 1329            | 1455                 | 405                      | 3189   |
| Δ.Δ.Λουτροπηγής               | 2153            | 786                  | 196                      | 3135   |
| Δ.Δ.Πετρίνου                  | 123             | 2298                 | 589                      | 3010   |

|                      |      |      |     |      |
|----------------------|------|------|-----|------|
| Δ.Δ.Μυρίνης          | 56   | 2700 | 216 | 2972 |
| Δ.Δ.Ματαράγκας       | 52   | 2631 | 116 | 2799 |
| Δ.Δ.Καλλιθήρου       | 157  | 2370 | 145 | 2672 |
| Δ.Δ.Μουζακίου        | 676  | 1492 | 442 | 2610 |
| Δ.Δ.Καρδισσομαγούλας | 64   | 2307 | 208 | 2579 |
| Δ.Δ.Καταφυλλίου      | 767  | 1635 | 95  | 2497 |
| Δ.Δ.Πύργου Κιερίου   | 275  | 2064 | 101 | 2440 |
| Δ.Δ.Καρποχωρίου      | 2    | 2244 | 133 | 2379 |
| Δ.Δ.Πύργου Ιθώμης    | 432  | 1781 | 162 | 2375 |
| Δ.Δ.Λοξάδας          | 101  | 2126 | 114 | 2341 |
| Δ.Δ.Μακρυχωρίου      | 126  | 2117 | 85  | 2328 |
| Δ.Δ.Ξινονερίου       | 420  | 1661 | 229 | 2310 |
| Δ.Δ.Λαζαρίνας        | 32   | 2078 | 189 | 2299 |
| Δ.Δ.Κοσκινά          | 63   | 1746 | 296 | 2105 |
| Δ.Δ.Δρακότρυπας      | 560  | 1319 | 193 | 2072 |
| Δ.Δ.Φαναρίου         | 120  | 1821 | 111 | 2052 |
| Δ.Δ.Βραγκιανών       | 864  | 1018 | 89  | 1971 |
| Δ.Δ.Μαραθέας         | 22   | 1718 | 180 | 1920 |
| Δ.Δ.Καλλιφωνίου      | 28   | 1716 | 79  | 1823 |
| Δ.Δ.Καταφυγίου       | 287  | 1289 | 214 | 1790 |
| Δ.Δ.Συκεών           | 44   | 1633 | 50  | 1727 |
| Δ.Δ.Απιδέας          | 1393 | 156  | 167 | 1716 |
| Δ.Δ.Παλαιοκκλησίου   | 0    | 1621 | 79  | 1700 |
| Δ.Δ.Οξυιάς           | 475  | 1135 | 65  | 1675 |
| Δ.Δ.Κρανέας          | 3    | 1572 | 79  | 1654 |
| Δ.Δ.Σταυρού          | 0    | 1505 | 85  | 1590 |
| Δ.Δ.Καλογριανών      | 0    | 1509 | 47  | 1556 |
| Δ.Δ.Μάρκου           | 16   | 1447 | 68  | 1531 |
| Δ.Δ.Μαγουλίτσης      | 76   | 1299 | 153 | 1528 |
| Δ.Δ.Αρτεσιανού       | 7    | 1415 | 93  | 1515 |
| Δ.Δ.Κρυονερίου       | 119  | 1284 | 106 | 1509 |
| Δ.Δ.Φιλίας           | 11   | 1400 | 94  | 1505 |
| Δ.Δ.Πορτής           | 662  | 744  | 76  | 1482 |
| Δ.Δ.Μαυραχάδων       | 0    | 1396 | 73  | 1469 |
| Δ.Δ.Αμπέλου          | 0    | 1384 | 64  | 1448 |
| Δ.Δ.Ορφανών          | 50   | 1362 | 12  | 1424 |
| Δ.Δ.Κυψέλης          | 2    | 1353 | 61  | 1416 |
| Δ.Δ.Κτιμένης         | 125  | 1150 | 62  | 1337 |
| Δ.Δ.Μαγούλας         | 71   | 1204 | 44  | 1319 |
| Δ.Δ.Λαμπερού         | 610  | 642  | 53  | 1305 |
| Δ.Δ.Γοργοβιτών       | 20   | 1167 | 114 | 1301 |
| Δ.Δ.Πευκοφύτου       | 183  | 984  | 56  | 1223 |
| Δ.Δ.Δασοχωρίου       | 11   | 1143 | 45  | 1199 |
| Δ.Δ.Γεφυρίων         | 29   | 1074 | 66  | 1169 |
| Δ.Δ.Μοσχάτου         | 272  | 780  | 46  | 1098 |
| Δ.Δ.Αργυρίου         | 397  | 643  | 53  | 1093 |

|                              |     |      |     |      |
|------------------------------|-----|------|-----|------|
| Δ.Δ.Αμπελικού                | 20  | 1003 | 36  | 1059 |
| Δ.Δ.Παλιουρίου               | 77  | 740  | 222 | 1039 |
| Δ.Δ.Πασχαλίτσης              | 10  | 926  | 44  | 980  |
| Δ.Δ.Ρούσσου                  | 109 | 759  | 112 | 980  |
| Δ.Δ.Ρεντίνας                 | 705 | 213  | 46  | 964  |
| Δ.Δ.Πεδινού                  | 11  | 908  | 28  | 947  |
| Δ.Δ.Ελληνικών                | 604 | 292  | 49  | 945  |
| Δ.Δ.Μεσενικόλα               | 168 | 671  | 50  | 889  |
| Δ.Δ.Καστανέας<br>(Καστανιάς) | 452 | 390  | 43  | 885  |
| Δ.Δ.Θραψιμίου                | 398 | 390  | 78  | 866  |
| Δ.Δ.Πετρωτού                 | 535 | 264  | 42  | 841  |
| Δ.Δ.Νεράιδας                 | 340 | 435  | 36  | 811  |
| Δ.Δ.Καροπλεσίου              | 243 | 412  | 151 | 806  |
| Κ.Δ.Πετρίλου                 | 112 | 656  | 24  | 792  |
| Δ.Δ.Ελληνοκάστρου            | 305 | 403  | 77  | 785  |
| Δ.Δ.Κερασέας                 | 128 | 600  | 56  | 784  |
| Δ.Δ.Φύλλου                   | 0   | 751  | 31  | 782  |
| Δ.Δ.Προδρόμου                | 214 | 530  | 25  | 769  |
| Δ.Δ.Καππά                    | 62  | 624  | 54  | 740  |
| Δ.Δ.Αμαράντου                | 587 | 88   | 57  | 732  |
| Δ.Δ.Κρύας Βρύσης             | 42  | 652  | 37  | 731  |
| Δ.Δ.Ανθοχωρίου               | 171 | 250  | 298 | 719  |
| Δ.Δ.Λουτρού                  | 26  | 664  | 11  | 701  |
| Κ.Δ.Κουμπουριανών            | 443 | 203  | 25  | 671  |
| Δ.Δ.Βαθυλάκκου               | 362 | 264  | 28  | 654  |
| Δ.Δ.Παλαιοχωρίου             | 25  | 579  | 29  | 633  |
| Δ.Δ.Κρυσπηγής                | 85  | 515  | 30  | 630  |
| Δ.Δ.Καρίτσης Δολόπων         | 80  | 490  | 29  | 599  |
| Δ.Δ.Καρυάς                   | 476 | 91   | 30  | 597  |
| Δ.Δ.Νεοχωρίου                | 93  | 476  | 26  | 595  |
| Δ.Δ.Γελάνης                  | 12  | 545  | 34  | 591  |
| Δ.Δ.Ριζοβουνίου              | 13  | 545  | 23  | 581  |
| Δ.Δ.Ιτέας                    | 34  | 516  | 30  | 580  |
| Δ.Δ.Μεταμορφώσεως            | 0   | 528  | 25  | 553  |
| Δ.Δ.Ελληνοπύργου             | 200 | 294  | 54  | 548  |
| Δ.Δ.Αστρίτσης                | 0   | 504  | 18  | 522  |
| Δ.Δ.Μασχολουρίου             | 11  | 499  | 12  | 522  |
| Δ.Δ.Δαφνοσπηλιάς             | 139 | 337  | 30  | 506  |
| Δ.Δ.Αχλαδέας                 | 14  | 434  | 25  | 473  |
| Δ.Δ.Φυλακτής                 | 10  | 433  | 19  | 462  |
| Δ.Δ.Μελίσσης                 | 2   | 437  | 15  | 454  |
| Δ.Δ.Καλής Κώμης              | 181 | 246  | 20  | 447  |
| Δ.Δ.Ερμητσίου                | 5   | 399  | 21  | 425  |
| Δ.Δ.Καπταδοκικού             | 126 | 224  | 60  | 410  |
| Δ.Δ.Θερινού                  | 168 | 102  | 122 | 392  |
| Δ.Δ.Μελισσοχωρίου            | 9   | 355  | 18  | 382  |

|                  |     |     |    |     |
|------------------|-----|-----|----|-----|
| Δ.Δ.Ασημοχωρίου  | 73  | 278 | 20 | 371 |
| Δ.Δ.Χάρματος     | 17  | 318 | 25 | 360 |
| Κ.Δ.Βλασίου      | 50  | 217 | 86 | 353 |
| Δ.Δ.Μεσσοβουνίου | 276 | 36  | 32 | 344 |
| Δ.Δ.Πεζούλας     | 19  | 300 | 13 | 332 |
| Δ.Δ.Αργιθέας     | 24  | 288 | 8  | 320 |
| Δ.Δ.Ζαϊμίου      | 0   | 281 | 11 | 292 |
| Δ.Δ.Λεύκης       | 6   | 229 | 13 | 248 |
| Δ.Δ.Φράγκου      | 0   | 226 | 14 | 240 |
| Δ.Δ.Αμυγδαλής    | 44  | 77  | 93 | 214 |
| Κ.Δ.Στεφανάδος   | 99  | 63  | 42 | 204 |
| Δ.Δ.Πτελοπούλας  | 2   | 167 | 11 | 180 |
| Δ.Δ.Μαράθου      | 42  | 92  | 28 | 162 |
| Δ.Δ.Μπελοκομίτης | 40  | 85  | 31 | 156 |
| Κ.Δ.Φουντωτού    | 130 | 0   | 10 | 140 |
| Δ.Δ.Γεωργικού    | 5   | 100 | 21 | 126 |
| Δ.Δ.Ανωγείου     | 0   | 86  | 6  | 92  |
| Κ.Δ.Λεοντίου     | 0   | 83  | 3  | 86  |

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Βήματα αδειοδότησης ΑΠΕ από βιομάζα

## 6.1 Αδειοδοτική διαδικασία - βήματα:

### 6.1.1 Σταθμοί βιομάζας, βιοαερίου και βιοκαυσίμων με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μικρότερη ή ίση του 0,5MW :

- Εξαιρούνται από την υποχρέωση να λάβουν άδεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
- Εξαιρούνται από την υποχρέωση έκδοσης απόφασης ΕΠΟ
- Αίτηση σύνδεσης απευθείας στη Διεύθυνση Διαχείρισης Δικτύου της ΔΕΗ – Διατύπωση Προσφοράς (6 μήνες)
- Άδεια διαχείρισης στερεών αποβλήτων (3 μήνες)
- Αίτηση έκδοσης κτηνιατρικής άδειας εγκατάστασης (2 μήνες) – (απαλλάσσονται και από την υποχρέωση να λάβουν άδεια εγκατάστασης και λειτουργίας, αλλά υποχρεούνται να εκδώσουν κτηνιατρικές άδειες εγκατάστασης και λειτουργίας)
- Άδεια ανέγερσης τυχόν αναγκαίων κτισμάτων στον χώρο εγκατάστασης του σταθμού, οικοδομική άδεια (3 μήνες)
- Σύναψη Σύμβασης Σύνδεσης και Πώλησης (2 μήνες)
- Αίτηση έκδοσης κτηνιατρικής άδειας λειτουργίας (3 μήνες)

### 6.1.2 Σταθμοί βιομάζας, βιοαερίου και βιοκαυσίμων με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μικρότερη ή ίση του 1,0 MW :

- Εξαιρούνται από την υποχρέωση να λάβουν άδεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
- Τήρηση της διαδικασίας περιβαλλοντικής αδειοδότησης – υποβολή ΜΠΕ για έκδοση ΕΠΟ στην αρμόδια αρχή (8 μήνες)
- Αίτηση σύνδεσης απευθείας στην Διεύθυνση Διαχείρισης Δικτύου της ΔΕΗ – Διατύπωση Προσφοράς (6 μήνες)
- Άδεια διαχείρισης στερεών αποβλήτων (3 μήνες)
- Αίτηση έκδοσης κτηνιατρικής άδειας εγκατάστασης (2 μήνες) – (απαλλάσσονται και από την υποχρέωση να λάβουν άδεια εγκατάστασης και λειτουργίας, αλλά υποχρεούνται να εκδώσουν κτηνιατρικές άδειες εγκατάστασης και λειτουργίας)
- Άδεια ανέγερσης τυχόν αναγκαίων κτισμάτων στον χώρο εγκατάστασης του σταθμού, οικοδομική άδεια (3 μήνες)

- Σύμβαση Σύμβασης Σύνδεσης και Πώλησης (2 μήνες)
- Αίτηση έκδοσης κτηνιατρικής άδειας λειτουργίας (3 μήνες)

### **6.1.3 Σταθμοί βιομάζας, βιοαερίου και βιοκαυσίμων με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μεγαλύτερη του 1,0 MW :**

- Αίτηση χορήγησης άδειας παραγωγής (ΡΑΕ) (8 μήνες)
- υποβολή ΜΠΕ για έκδοση ΕΠΟ στην αρμόδια αρχή (8 μήνες)
- Αίτηση διατύπωσης προσφοράς σύνδεσης (ΔΕΣΜΗΕ) (4 μήνες)
- Άδεια διαχείρισης στερεών αποβλήτων (3 μήνες)
- Αίτηση έκδοσης κτηνιατρικής άδειας εγκατάστασης (2 μήνες)
- Αίτηση έκδοσης άδειας εγκατάστασης (2 μήνες)
- Άδεια ανέγερσης τυχόν αναγκαίων κτισμάτων στον χώρο εγκατάστασης του σταθμού, οικοδομική άδεια (3 μήνες)
- Σύμβαση Σύμβασης Σύνδεσης και Πώλησης (2 μήνες)
- Αίτηση έκδοσης άδειας λειτουργίας (3 μήνες)
- Αίτηση κτηνιατρικής άδειας λειτουργίας (3 μήνες)

Σε όλες τις περιπτώσεις πρέπει να γίνει σύσταση εταιρίας. Προκαταρκτική Περιβαλλοντική Εκτίμηση και Αξιολόγηση δεν απαιτείται για τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, καθώς και για τα συνοδά έργα που απαιτούνται για την ηλεκτρική σύνδεση στο Σύστημα ή το Δίκτυο και τα έργα εσωτερικής οδοποιίας και οδοποιίας πρόσβασης.

[39]



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Κατασκευή υπολογιστικού εργαλείου και μελέτες περιπτώσεων

## 7.1 Εισαγωγή

Σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη και κατασκευή ενός υπολογιστικού εργαλείου που θα αναλύει τεχνοοικονομικά πιθανές εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από βιοαέριο προερχόμενο από κτηνοτροφικά απόβλητα. Στόχος του μοντέλου αυτού είναι ο καθένας που έχει μια φάρμα με ζώα, είτε θέλει να επενδύσει στον τομέα τον ΑΠΕ να το χρησιμοποιήσει και να υπολογίσει αν τον συμφέρει να επενδύσει στην κατασκευή μιας μονάδας βιοαερίου.

## 7.2 Ανάπτυξη υπολογιστικού μοντέλου

Ο στόχος της μελέτης αυτής είναι η ανάπτυξη ενός οικονομικού μοντέλου για την αναερόβια χώνευση της κοπριάς των ζώων.

Το μοντέλο έχει σχεδιαστεί για να επιτρέπει στον χρήστη να τροποποιεί ένα μεγάλο εύρος από παραμέτρους για να μελετά την επίπτωση διαφορετικών παραγόντων στο συνολικό κόστος της ενέργειας και της εγκατάστασης. Οι αλλαγές των παραμέτρων συμπεριλαμβάνονται αυτόματα σε όλους τους υπολογισμούς στο μοντέλο. Αυτό δίνει την δυνατότητα στον ερευνητή να διαπιστώσει την ευαισθησία στα αποτελέσματα του μοντέλου ανάλογα με τις αλλαγές στις σημαντικές για το έργο παραμέτρους. Έτσι μπορεί ο χρήστης να προσαρμόσει το εργαλείο εύκολα στις δικές του ανάγκες. Στις παρακάτω ενότητες αναλύονται οι επιμέρους παράμετροι που περιέχονται στο υπολογιστικό μοντέλο.

### 7.2.1 Χαρακτηριστικά βιομάζας προς χώνευση

Τα «υλικά» που εισάγονται στον χωνευτήρα, εξαρτώνται από την διαθεσιμότητα τους στις φάρμες, καθώς και από οικονομικούς παράγοντες. Συνήθως, στον χωνευτήρα εισάγεται μια μίξη από οργανικά απόβλητα διάφορων ζώων.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα απόβλητα που χρησιμοποιήθηκαν στο υπολογιστικό εργαλείο:

#### Κοπριά

Η κοπριά μπορεί να προέλθει από τα εξής ζώα: **μοσχάρια, αγελάδες, γουρούνια, πρόβατα, αρνιά, κοτόπουλα, άλογα, λαγούς**. Αυτά είναι και τα πιο κοινά ζώα που υπάρχουν στην Ελληνική επικράτεια. Υπάρχει η δυνατότητα για εισαγωγή και άλλων ζώων που δεν συμπεριλαμβάνονται στο υπολογιστικό εργαλείο.

Τα χαρακτηριστικά της κοπριάς παρουσιάζονται στον πίνακα 6.1:

| Κοπριά    | Ετήσια παραγωγή ανά ζώο (tn/ έτος) | %ΟΣ  | ΠΣ% των ΟΣ | m <sup>3</sup> βιοαερίου/tn ΠΣ | CH <sub>4</sub> (%) |
|-----------|------------------------------------|------|------------|--------------------------------|---------------------|
| Μοσχάρια  | 7,3                                | 14,7 | 75         | 350                            | 60                  |
| Αγελάδες  | 18,3                               | 13,9 | 80         | 320                            | 65                  |
| Γουρούνια | 1,89                               | 11,4 | 80         | 810                            | 60                  |
| Πρόβατα   | 0,64                               | 34   | 80         | 150                            | 60                  |
| Αρνιά     | 1,1                                | 35   | 80         | 150                            | 60                  |
| Κοτόπουλα | 0,034                              | 29   | 72         | 500                            | 60                  |
| Άλογα     | 14,6                               | 29   | 80         | 200                            | 60                  |
| Λαγοί     | 0,056                              | 52   | 80         | 500                            | 60                  |

Πίνακας 6.1: Χαρακτηριστικά κοπριάς [41]

Αξίζει να σημειωθεί ότι η παραγωγή βιοαερίου που παρουσιάζεται στους παραπάνω πίνακες έχει προέλθει από διάφορα τεστ και αφορά την μέγιστη παραγωγή βιοαερίου για καθένα. Στην διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης τα αποτελέσματα μπορεί να διαφέρουν σημαντικά. Αναμένεται ότι σε συνεχείς διαδικασίες το δυναμικό σε βιοαερίου είναι χαμηλότερο, λόγω της χαμηλότερης αποδόμησης της οργανικής ύλης.

Η παραγωγή CH<sub>4</sub> εξαρτάται από την ποσότητα των Ολικών Στερεών (ΟΣ), από το ποσοστό των Πτητικών Στερεών (ΠΣ) στα ΟΣ (%) και από το δυναμικό m<sup>3</sup> βιοαερίου ανά τόνο ΠΣ. Έτσι η παραγωγή που προκύπτει, είναι η μέγιστη θεωρητική παραγωγή CH<sub>4</sub> και σε συνεχείς διαδικασίες χώνευσης αναμένεται η παραγωγή μεθανίου να είναι χαμηλότερη.

Τα απόβλητα χωρίζονται σε 4 κατηγορίες:

1. Κοπριά και περιεχόμενα στομαχιών, εντέρων (Κατηγορία Αποβλήτων 2)
2. Κατηγορία αποβλήτων 3 (αίμα, λίπος) που είναι αναγκαία η απολύμανση τους πριν την είσοδο τους στον χωνευτήρα για λόγους υγιεινής
3. Κατηγορία αποβλήτων 1 (τυρόγαλο) χωρίς ανάγκη για απολύμανση
4. Φυτικά απόβλητα + Ενεργειακές καλλιέργειες

Ο διαχωρισμός των αποβλήτων βασίζεται στην απαίτηση για υγιεινή σύμφωνα με τον ευρωπαϊκό κανονισμό 1774/2002 και στην απαίτηση για βελτιστοποίηση του τρόπου που χωνεύεται η βιομάζα. Σύμφωνα με τον κανονισμό, όλα τα απόβλητα κατηγορίας 3 πρέπει να αποστειρωθούν στους 70° C για μία ώρα πριν εισαχθούν στον χωνευτήρα. Τα απόβλητα κατηγορίας 2 δεν απαιτείται να απολυμανθούν σύμφωνα με τον κανονισμό. Τα υπόλοιπα απόβλητα δεν συμπεριλαμβάνονται στον κανονισμό.

## 7.2.2 Χαρακτηριστικά εγκατάστασης

Η εγκατάσταση της χώνευσης θα συμπεριλαμβάνει:

- Ένα **εξάρτημα προεπεξεργασίας**, σχεδιασμένο να προετοιμάζει και να ομογενοποιεί τα διαφορετικά απόβλητα σε ένα κοινό ρεύμα με χαρακτηριστικά σε ένα συγκεκριμένο εύρος (όπως είναι οι τιμές pH, λόγος C:N) πριν εισαχθούν στον χωνευτήρα ενώ δεν θα υπάρχει **μονάδα απολύμανσης** για να απολυμαίνονται όποια απόβλητα (κατηγορίας 3 όπως αναφέρεται παραπάνω) που είναι επικίνδυνα για την υγεία μιας και ανεβάζουν το κόστος της εγκατάστασης κατά 1 εκατομμύριο ευρώ και δεν έχουν συπεριληφθεί ως πρώτη ύλη.
- Τον **χωνευτήρα** που θα χωνεύσει την διαθέσιμη βιομάζα και θα παράξει βιοαέριο.
- Την **επεξεργασία του βιοαερίου**, που μπορεί να συμπεριλαμβάνει 1) συσκευές καθαρισμού βιοαερίου, για να μειωθεί το H<sub>2</sub>S και να εισαχθεί έπειτα στις μηχανές εσωτερικής καύσης, 2) συσκευές για την εκμετάλλευση του ενεργειακού περιεχομένου του βιοαερίου μέσω της συμπαραγωγής
- Την **επεξεργασία της χωνευμένης βιομάζας**, που συμπεριλαμβάνει 1) την φυγοκεντρική δεξαμενή διαχώρισης, όπου ξεχωρίζεται το ινώδες από το υγρό μέρος, 2) την επεξεργασία του υγρού μέρους (λιπάσματος) πριν την εναπόθεση του στο έδαφος (προαιρετικά)

### Χωνευτήρας

Η επιλογή του χωνευτήρα προκύπτει από τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων, ειδικά από την περιεκτικότητα των ολικών στερεών. Υψηλής περιεκτικότητας ΟΣ απόβλητα χωνεύονται σε χωνευτήρες CSTR. (Σχήμα 3.1 αντιδραστήρας συνεχούς ανάδευσης)

Στην εργασία χρησιμοποιήθηκε χωνευτήρας CSTR.

Σε όλες τις μελετούμενες περιπτώσεις, χρησιμοποιήθηκε η θερμοφιλική αναερόβια χώνευση (50-55°C) που προτιμάται λόγω της χαμηλότερης απαιτούμενης θερμικής ενέργειας που χρειάζεται για να θερμάνει μικρούς όγκους και υψηλής περιεκτικότητας απόβλητα.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι τύποι που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό χαρακτηριστικών των χωνεύσιμων υλικών καθώς και της ποσότητας και ποιότητας του παραγόμενου βιοαερίου.

Η κοπριά K από κάθε ζώο υπολογίζεται από τη σχέση 6.1:

$$K_z = N_z * G_z \quad (6.1)$$

Όπου:

K: Κοπριά (tn/έτος)

N: αριθμός ζώων

G: ετήσια παραγωγή κοπριάς (tn/ζώο)

Δείκτης z: Ζώο

Στη συνέχεια αθροίζονται τα απόβλητα για κάθε μια κατηγορία και υπολογίζεται η ποσότητα % των Ολικών Στερεών κάθε κατηγορίας από την σχέση 6.2:

$$O\Sigma_i (\%) = \frac{\sum_0^j (S_{ij} * O\Sigma_{ij}(\%))}{\sum_0^j S_{ij}} \quad (6.2)$$

Όπου:

S: Παραγωγή αποβλήτων (tn/έτος)

OΣ: Ολικά στερεά (%)

Δείκτης i: Κατηγορία αποβλήτων

Δείκτης j: Είδος αποβλήτου ή ζώο

Στον χωνευτήρα εισάγεται το άθροισμα των 4 κατηγοριών αποβλήτων και τα μέσα OΣ των εισαγόμενων υλικών υπολογίζονται από τη σχέση 6.3:

$$O\Sigma_m (\%) = \frac{\sum_0^i \sum_0^j (S_{ij} * O\Sigma_i)}{\sum_0^i \sum_0^j (S_{ij})} \quad (6.3)$$

Όπου:

OΣ<sub>m</sub>: μέσα Ολικά Στερεά (%)

Η μέση ποσότητα παραγόμενου βιοαερίου ανά τόνο εισαγόμενου υλικού (G<sub>μέσο</sub>) προκύπτει από τη σχέση 6.4:

$$G_m = \frac{(\sum_0^i \sum_0^j S_j * O\Sigma_j * \Pi\Sigma_j * (G_{\Pi\Sigma})_j)}{\sum_0^i \sum_0^j S_{ij}} \quad (6.4)$$

Όπου:

G<sub>m</sub>: μέση ποσότητα παραγόμενου βιοαερίου ανά τόνο εισαγόμενου υλικού (m<sup>3</sup>/tn)

ΠΣ: Πτητικά Στερεά (%)

G<sub>ΠΣ</sub>: παραγόμενο βιοαέριο ανά τόνο Πτητικών Στερεών (m<sup>3</sup>/tnΠΣ)

Η μέση περιεκτικότητα σε CH<sub>4</sub> του παραγόμενου βιοαερίου προκύπτει από την σχέση 6.5:

$$CH_{4m} (\%) = \frac{(\sum_0^i \sum_0^j S_j * O\Sigma_j * \Pi\Sigma_j * (G_{\Pi\Sigma})_j * CH_{4j})}{(\sum_0^i \sum_0^j S_{ij}) * (G_m)} \quad (6.5)$$

Όπου:

CH<sub>4m</sub>: μέση περιεκτικότητα βιοαερίου σε CH<sub>4</sub> (%)

CH<sub>4j</sub>: εν δυνάμει περιεκτικότητα του αποβλήτου σε CH<sub>4</sub> (%)

Η μέση παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου ανά έτος προκύπτει από τη σχέση 6.6:

$$G_{ma} = G_m * \sum_0^i \sum_0^j S_{ij} \quad (6.6)$$

Όπου:

$G_{ma}$ : μέση παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου ανά έτος ( $m^3/\text{έτος}$ )

Η μέση παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου ανά ώρα προκύπτει από τη σχέση 6.7:

$$G_{mh} = G_{ma} * 24 * D \quad (6.7)$$

Όπου:

$G_{mh}$ : μέση παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου ανά ώρα ( $m^3/h$ )

$D$ : ημέρες λειτουργίας (Days)

Ο όγκος του χωνευτήρα προκύπτει από τη σχέση 6.8:

$$V_d = \frac{G_{mh} * 24}{OLR} \quad (6.8)$$

Όπου:

$OLR$ : οργανικός ρυθμός χώνευσης βιομάζας = 2,5

$V_d$ : όγκος χωνευτήρα ( $m^3$ )

### Μονάδα συμπαραγωγής CHP

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμικής ενέργειας πραγματοποιείται από μια μονάδα CHP. Η ηλεκτρική απόδοση κυμαίνεται από 38% μέχρι 41% και η θερμική απόδοση κυμαίνεται από 42% έως 47%. Η θερμογόνος ικανότητα του βιοαερίου είναι  $21,6 \text{ MJ}/m^3$ . Αναμένεται ότι η μονάδα δεν θα λειτουργεί για λόγους συντήρησης περίπου 31 μέρες (760 ώρες). Κατά τη διάρκεια των επισκευών, το αέριο καίγεται σε ένα boiler για τη παραγωγή θερμότητας για την εγκατάσταση και πιθανόν επιπλέον αέριο καίγεται στους πυρσούς βιοαερίου.

Η εγκατάσταση χρησιμοποιεί ένα ποσοστό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (περίπου 6%) για την διεργασία (αντλίες, εξοπλισμός διαχωρισμού, αναμίκτες κτλ). Η διαδικασία της χώνευσης απαιτεί και ένα μεγάλο ποσοστό της παραγόμενης θερμικής ενέργειας (περίπου 60%), Αυτό συμβαίνει γιατί η βιομάζα έχει σχετικά μικρή ενέργεια και μεγάλη περιεκτικότητα σε νερό.

Το ενεργειακό δυναμικό του βιοαερίου ( $\text{kWh}/\text{m}^3$ ) προκύπτει από τη σχέση (6.9):

$$E_G = \frac{Hu * n_e / 100}{3,6} \quad (6.9)$$

Όπου:

$E_G$ : Ενεργειακό δυναμικό βιοαερίου ( $\text{kWh}/\text{m}^3$ )

$Hu$ : Θερμογόνος ικανότητα βιοαερίου ( $\text{MJ}/\text{m}^3$ )

$n_e$ : Ηλεκτρική απόδοση (%)

Η συνολική ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προκύπτει από την σχέση (6.10):

$$P_e \left( \frac{\text{MWh}}{\text{έτος}} \right) = E_G * D * G_{mh} * \frac{24}{1000} \quad (6.10)$$

Όπου:

$P_e$ : Συνολική ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ( $\text{MWh}/\text{έτος}$ )

Η καθαρή ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προκύπτει από την σχέση (6.11):

$$P_{e_{net}} \left( \frac{\text{MWh}}{\text{έτος}} \right) = E_G \left( \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \right) * D * G_{mh} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) * 24 * \frac{n_{th_{\delta\iota\alpha\theta}}}{1000} \quad (6.11)$$

Όπου:

$P_{e_{net}}$ : καθαρή ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ( $\text{MWh}_{net}/\text{έτος}$ )

$n_{th_{\delta\iota\alpha\theta}}$ : διαθέσιμο ποσοστό ηλεκτρικής ενέργειας προς πώληση (%)

Αντίστοιχες σχέσεις με τις προηγούμενες προκύπτουν για την παραγωγή της θερμικής ενέργειας.

### Φυγοκεντρική δεξαμενή διαχώρισης (Decanter Separator)

Εξαιτίας του σχετικά υψηλού περιεχομένου σε νερό, η χωνευμένη βιομάζα προκύπτει να είναι περίπου το 95% της αρχικά εισαγόμενης βιομάζας. Η χωνευμένη βιομάζα οδηγείται στη φυγοκεντρική δεξαμενή διαχώρισης, όπου χωρίζεται το στερεό μέρος από το υγρό μέρος της χωνευμένης βιομάζας.

Το στερεό μέρος αποτελεί το 5,5% της χωνευμένης βιομάζας και το υγρό μέρος το υπόλοιπο 94,5%. Το στερεό μέρος αποτελείται από 35% στερεή ύλη, ενώ το υγρό μέρος περιέχει 2,5% στερεή ύλη.

Το στερεό μέρος μπορεί να κομποστοποιηθεί και να γίνει στερεό λίπασμα (ίνες), το οποίο είναι εξαιρετικό λίπασμα για αμπελώνες και για περιβόλια με φρούτα. Το υγρό μέρος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν λίπασμα, το οποίο είναι πλούσιο σε νιτρικά και

έχει τη σωστή σύσταση νιτρικών για κοινές αγροτικές καλλιέργειες, όπως δημητριακά, καλαμπόκι.

### 7.2.3 Οικονομική αξιολόγηση της εγκατάστασης

Η οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης μπορεί να επιτευχθεί με πολλούς τρόπους. Η πτυχιακή εργασία επικεντρώνεται στα συνολικά κόστη της επένδυσης χωρίς την ανάπτυξη του έργου και το κόστος των απρόοπτων γεγονότων, αλλά και στα συνολικά κόστη επένδυσης συμπεριλαμβανομένων αυτών. Επιπλέον παρουσιάζεται μια εκτίμηση του λειτουργικού κόστους των ξεχωριστών μερών της εγκατάστασης και συζητείται η βιωσιμότητα της επένδυσης.

Η αξιολόγηση της εγκατάστασης πραγματοποιείται μέσω των παρακάτω συντελεστών:

#### Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)

Η ΚΠΑ είναι το άθροισμα όλων των χρηματοροών μετά-φόρων. Η μέθοδος της αξιολόγησης μέσω της ΚΠΑ είναι πολύτιμη, γιατί αντανακλά την αξία του χρήματος στον χρόνο. Επενδύσεις που «επιστρέφουν» θετική παρούσα αξία είναι ελκυστικές.

Η ΚΠΑ υπολογίζεται από τη σχέση 6.12:

$$NPV = \sum_0^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (6.12)$$

Όπου:

NPV: Καθαρή Παρούσα Αξία της επένδυσης (€)

$CF_t$ : Χρηματοροές της επένδυσης στην χρονική περίοδο t (€)

r: επιτόκιο αναγωγής (%)

t: χρονική περίοδος από 0 έως n (έτη)

Το κύριο πλεονέκτημα της ΚΠΑ είναι ότι μπορούν να συγκριθούν διαφορετικές επενδύσεις, επειδή αντανακλά την αξία του χρήματος στον χρόνο.

Το μειονέκτημα της είναι στην δύσκολη επιλογή του επιτοκίου αναγωγής και έτσι η ΚΠΑ δεν μπορεί να δείξει με σιγουριά το αν η επένδυση θα είναι κερδοφόρα ή όχι.

#### Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR)

Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης ορίζεται ως εκείνο το επιτόκιο αναγωγής το οποίο μηδενίζει την ΚΠΑ της επένδυσης. Ο μηδενισμός της ΚΠΑ σημαίνει ότι η παρούσα αξία της επένδυσης ισούται με τα καθαρά έσοδα της εγκατάστασης.

Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης προκύπτει από την σχέση 6.13:

$$0 = \sum_0^v \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} \quad (6.13)$$

Όπου:

IRR: Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (%)

Το πλεονέκτημα του IRR είναι ότι, σε αντίθεση με την ΚΠΑ, είναι ότι τα ποσοστά επιτρέπουν την ευκολότερη σύγκριση διαφορετικού μεγέθους επενδύσεων.

Αν ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης είναι μεγαλύτερος από το επιλεγμένο επιτόκιο αναγωγής, τότε η επένδυση είναι αποδεκτή, αλλιώς πρέπει να απορριφθεί. Όσο μεγαλύτερος είναι ο IRR, τόσο περισσότερο κερδοφόρα θα είναι η επένδυση.

### Περίοδος αποπληρωμής

Αυτός ο υπολογισμός καθορίζει την διάρκεια του χρόνου που απαιτείται για να αποπληρωθεί η αρχική επένδυση του έργου.

#### **7.2.3.1 Κόστος επένδυσης**

Στην πτυχιακή εργασία τα κεφαλαιουχικά κόστη συμπεριλαμβάνουν τα κόστη του βασικού εξοπλισμού συν τα κόστη της ανέγερσης της εγκατάστασης, των σωληνώσεων, των ηλεκτρολογικών εργασιών, των έργων του πολιτικού μηχανικού, του μάνατζμεντ και των μηχανολογικών εργασιών, της ασφάλειας λόγω απρόοπτων γεγονότων. Επίσης μπορεί να προστεθεί και το κόστος ανάπτυξης του έργου. Το κόστος ανάπτυξης του έργου αποτελεί το 7,5% του συνολικού κεφαλαιουχικού κόστους και το κόστος ασφάλειας λόγω απρόοπτων γεγονότων αποτελεί το 5% του συνολικού κεφαλαιουχικού κόστους. Αναφορικά το συνολικό κεφαλαιουχικό κόστος της εγκατάστασης αποτελείται από:

- Έργα πολιτικού μηχανικού, κτιριακές εγκαταστάσεις, προσχεδιασμός
- Υποδοχή και προεργασία οργανικών αποβλήτων και ενεργειακών καλλιεργειών
- Χωνευτήρες και παρελκόμενα
- Φυγοκεντρικός διαχωριστής (decanter separator)
- Σύστημα καθορισμού βιοαερίου
- SCADA και κέντρο ελέγχου
- Άλλα υποσυστήματα
- Μονάδα συμπαραγωγής CHP
- Ανάπτυξη έργου
- Απρόοπτα γεγονότα

#### **7.2.3.2 Λειτουργικό κόστος εγκατάστασης**

Ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας για τη βιωσιμότητα του έργου, είναι ο υπολογισμός του λειτουργικού της κόστους. Τα λειτουργικά κόστη που αποτιμώνται στην παρούσα διπλωματική εργασία, είναι:



- Προσωπικό
- Συντήρηση και λειτουργία
- Αναλώσιμα
- Ιδιοκατανάλωση
- «Βελτίωση» λιπάσματος
- Απόκτηση πρώτων υλών
- Απρόοπτα γεγονότα
- Κεφαλαιουχικά χρεολύσια (σταθερό κόστος) (Annuity)

Παρακάτω αναλύονται όλα τα επιμέρους λειτουργικά κόστη.

### Κόστος προσωπικού

Το προσωπικό αποτελείται από τον Project manager, τους μηχανικούς, τους εργάτες και τον λογιστή. Ο μισθός τους παρουσιάζεται στον πίνακα 6.4:

| Προσωπικό       | Μισθός (€/μήνα) | Bonus (€/μήνα) |
|-----------------|-----------------|----------------|
| Project Manager | 3500            | 250            |
| Μηχανικοί       | 2300            | 200            |
| Εργάτες         | 1200            | 80             |
| Λογιστής        | 1800            | 150            |

Πίνακας 6.4: Μισθός προσωπικού

### Κόστος συντήρησης και λειτουργίας [39]

Το κόστος συντήρησης και λειτουργίας υπολογίζεται στο 5% του συνολικού κόστους της επένδυσης της εγκατάστασης.

### Κόστος αναλώσιμων [39]

Το κόστος αναλώσιμων υπολογίζεται στο 2,5% του συνολικού κόστους της επένδυσης της εγκατάστασης.

### Κόστος ιδιοκατανάλωσης

Η ανάγκη για ηλεκτρική ενέργεια των αντλιών, των αναμικτών, των ανεμιστήρων, του διαχωριστή οδηγεί στην μείωση των εσόδων έμμεσα της εγκατάστασης από τη μη πώληση ενός τμήματος της ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης συμπεριλαμβάνεται το κόστος της θέρμανσης των χωνευτήρων.

### Κόστος «καθαρισμού» λιπάσματος

Το λίπασμα που προκύπτει από τον διαχωριστή, μπορεί να οδηγηθεί σε έναν εξατμιστή (evaporator) ή σε έναν αντιδραστήρα τύπου μεμβράνης (MBR) για περιβαλλοντικούς λόγους. Το λειτουργικό κόστος για τον «καθαρισμό» αυτό, υπολογίζονται στο 2,5% του συνολικού κόστους επένδυσης.

### Κόστος απόκτησης βιομάζας

Η διάθεση των κλασικών οργανικών αποβλήτων στις εγκαταστάσεις παραγωγής βιοαερίου αποφέρουν ένα κέρδος για την εγκατάσταση μιας και για τα κτηνοτροφικά απόβλητα όπως η κοπριά υπολογίζεται μόνο το μεταφορικό κόστος εν αντιθέση με τις ενεργειακές καλλιέργειες οι οποίες παρουσιάζουν κόστος απόκτησης.

### Κόστος απρόοπτων γεγονότων

Ο υπολογισμός του λειτουργικού κόστους εξαρτάται και από τις διάφορες αβεβαιότητες, όπως είναι η διαθεσιμότητα της πρώτης ύλης. Για να υπολογιστούν αυτές οι αβεβαιότητες, το κόστος αυτό υπολογίζεται στο 3% του αθροίσματος των παραπάνω λειτουργικών κοστών.

### Κεφαλαιουχικά χρεολύσια

Η ετήσια πρόσοδος (annuity)  $X$  προκύπτει από τον τύπο 6.14:

$$X = L * \frac{r * (1 + r)^n}{(1 + r)^n - 1} \quad (6.14)$$

Όπου:

$X$ : ετήσια πρόσοδος (€/έτος)

$L$ : δάνειο (εκατομμύρια €)

$r$ : επιτόκιο (%)

$n$ : περίοδος αποπληρωμής δανείου (έτη)

Οι τιμές των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στο υπολογιστικό εργαλείο παρουσιάζονται στον πίνακα 6.5:

| Παράμετρος           | Μονάδα | Τιμή |
|----------------------|--------|------|
| Ιδία κεφάλαια        | %      | 25   |
| Δάνειο               | %      | 75   |
| Επιτόκιο             | %      | 11   |
| Διάρκεια αποπληρωμής | Έτη    | 10   |
| Επιχορηγήσεις        | %      | 0    |

Πίνακας 6.5: Οικονομικοί παράμετροι της εγκατάστασης

### 7.2.3.3 Έσοδα εγκατάστασης

Τα έσοδα της εγκατάστασης προκύπτουν από:

- Πωλήσεις ηλεκτρικής ενέργειας
- Πωλήσεις θερμικής ενέργειας
- Gate fees (έσοδα από χώνευση οργανικών αποβλήτων)
- Πωλήσεις κομπόστ

Η ηλεκτρική ενέργεια που προέρχεται από βιοαέριο προερχόμενο από κτηνοτροφικά και αγροτοκτηνοτροφικά απόβλητα και οργανικά υπολείμματα πωλείται σύμφωνα με τον νόμο 3851/2010:

- Για εγκατεστημένη ισχύ  $\leq 3\text{MW}$  : 220 €/Mwh
- Για εγκατεστημένη ισχύ  $> 3\text{MW}$  : 200 €/Mwh

Στις περιπτώσεις που θα ληφθού υπ' όψιν στην πτυχιακή η επιδότηση θα είναι μηδενική και γι αυτό οι παραπάνω τιμές ενισχύονται κατα 15% δηλαδή 253€ και 230€ αντίστοιχα. Για τις πωλήσεις θερμικής ενέργειας δεν έχει οριστεί συγκεκριμένη τιμή πώλησης, παρόλα αυτά στις μελέτες περιπτώσεων δεν θα οριστούν συγκεκριμένες τιμές πώλησης για να εξεταστεί η επιρροή της τιμής πώλησης στην αξιολόγηση της επένδυσης.

Η τιμή πώλησης του κομπόστ ανέρχεται σε 10 €/tn.

## 7.3. Μελέτες περιπτώσεων

### 7.3.1 Μελέτη περίπτωσης 1: «Εγκατάσταση βιοαερίου με μονάδα CHP 500 kW»

Η βιομάζα που θα εισαχθεί στην σχεδιαζόμενη εγκατάσταση βιοαερίου θα αποτελείται από υγρή κοπριά μοσχαριών, αγελάδων, προβάτων, χοιρών. Τα εισαγόμενα υλικά στον χωνευτήρα προέρχονται από αγροτοκτηνοτροφικές εγκαταστάσεις κοντά στην εξεταζόμενη εγκατάσταση. Πρόκειται για μια εγκατάσταση που θεωρούμε ότι πραγματοποιείται σε ένα καλλικρατικό δήμο από ένα συνεταιρισμό κτηνοτρόφων. Για το λόγο αυτό η συγκεκριμένη εγκατάσταση δεν έχει μεταφορικό κόστος όπως επίσης και έσοδα από την πώληση του κομπόστ. Ακόμα δεν έχει υπολογιστεί ο φόρος μερισμάτων.

#### 7.3.1.1 Βασικός σχεδιασμός εγκατάστασης

##### Βιομάζα και δυναμικό βιοαερίου

Η εγκατάσταση είναι μια εγκατάσταση συγχώνευσης ζωικών και φυτικών αποβλήτων. Ο αριθμός των ζώων παρουσιάζεται στον πίνακα 6.6.

| Ζώα       | Ποσότητα (μονάδες) |
|-----------|--------------------|
| Μοσχάρια  | 840                |
| Αγελάδες  | 1.050              |
| Γουρούνια | 7.400              |
| Πρόβατα   | 42.000             |

Πίνακας 6.6: Αριθμός ζώων της περιοχής

Η συνολική ποσότητα των ζωικών αποβλήτων (κοπριά), καθώς και η παραγωγή  $CH_4$  ανά έτος παρουσιάζονται στον πίνακα 6.7.

| Απόβλητο | Ποσότητα αποβλήτων (tn/yr) | Παραγωγή $CH_4$ ( $m^3$ /έτος) |
|----------|----------------------------|--------------------------------|
| Κοπριά   | 85.000                     | 155.000                        |

Πίνακας 6.7: Ποσότητα αποβλήτων και παραγωγή  $CH_4$

Η συνολική ποσότητα παραγωγής  $CH_4$  είναι  $155.000 m^3$ . Σε αυτήν την περίπτωση το βιοαέριο «καίγεται» μέσα σε μια μονάδα συμπαραγωγής CHP για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προς πώληση και παραγωγή θερμικής ενέργειας. Η θερμότητα χρησιμοποιείται κυρίως για τη διαδικασία και θεωρείται ότι δεν υπάρχουν πωλήσεις θερμότητας (παρόλα αυτά υπάρχει η δυνατότητα για πώληση θερμικής ενέργειας). Η

μονάδα συμπαραγωγής CHP που χρησιμοποιείται αποτελείται από μια ΜΕΚ ισχύος 500 kW. Η ακόλουθη παραγωγή ενέργειας αναμένεται (πίνακας 6.8):

|                               |                    |                    |                                 |
|-------------------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------|
| Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας | 38443400 kWh /έτος | $\eta_e=40,8\%$    | 9% του χρόνου εκτός λειτουργίας |
| Παραγωγή θερμικής ενέργειας   | 4014800 kWh /έτος  | $\eta_{th}=41,7\%$ |                                 |
| Για τη διεργασία              | 2810400 kWh /έτος  |                    | Θέρμανση στους 50° C            |
| Για άλλη χρήση                | 1204440 kWh /έτος  |                    |                                 |

Πίνακας 6.8: Παραγωγή ενέργειας στην μονάδα συμπαραγωγής CHP.

Η χωνευμένη βιομάζα οδηγείται στον φυγοκεντρικό διαχωριστή όπου χωρίζεται σε στερεή και υγρή κοπριά. Τα ισοζύγια μάζας και η διεργασία παρουσιάζεται αναλυτικά στο παρακάτω διάγραμμα ροής.



### 7.3.1.2 Τεχνολογικές προδιαγραφές

Η βιομάζα είναι κοπριά και είναι κατάλληλη για θερμοφιλική αναερόβια χώνευση στους 50-52° C. Ο χρόνος παραμονής της βιομάζας στον χωνευτήρα είναι περίπου 16 μέρες.

Ο όγκος του χωνευτήρα υπολογίζεται στο υπολογιστικό εργαλείο, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα ροής και είναι περίπου 4.500 m<sup>3</sup>. Όλο το παραγόμενο βιοαέριο περνάει από μεμβράνη, όπου απομακρύνεται το H<sub>2</sub>S.

### 7.3.1.3 Οικονομική ανάλυση

#### Επένδυση

Αυτή η ενότητα επικεντρώνεται στην ανάπτυξη μιας οικονομικής ανάλυσης για την μελετούμενη εγκατάσταση βασιζόμενοι στα δεδομένα που αναπτύχθηκαν στις προηγούμενες ενότητες και σε τεχνολογικές λύσεις όπως προαναφέρθηκαν. Ο οικονομικός σχεδιασμός της εγκατάστασης είναι κύριο στοιχείο για την βιωσιμότητα του έργου. Στον πίνακα 6.9 παρουσιάζονται τα κόστη επένδυσης βασισμένα σε πραγματικές τιμές της αγοράς που λήφθηκαν από κατασκευαστές. [39]

| <u>Κόστος επένδυσης</u>                                    | <u>Τιμή (€/kW)</u> | <u>Κόστος (€)</u> |
|--|--------------------|-------------------|
| Έργα Π/Μ   | 1350               | 650.000           |
| Έργα Η/Μ   | 1270               | 610.000           |
| Σύστημα<br>Ασφαλείας, παρακολούθησης, τηλεεπίβλεψης(SCADA) | 240                | 115.000           |
| <b>Σύνολο (Κόστος επένδυσης)</b>                           | <b>2860</b>        | <b>1.400.000</b>  |
| Ανάπτυξη έργου   | 200                | 96.000            |
| Απρόοπτα γεγονότα  | 20                 | 9.600             |
| <b>Σύνολο</b>  | <b>3080</b>        | <b>1.500.000</b>  |

Πίνακας 6.9: Κόστος επένδυσης

#### Λειτουργικά κόστη

Το προσωπικό που εργάζεται στην εγκατάσταση αποτελείται από: 1 Product manager, 1 μηχανικό, 3 εργάτες και 1 λογιστή.

Το κόστος προσωπικού καθώς και τα άλλα λειτουργικά κόστη υπολογίζονται στον πίνακα 6.10.

| Λειτουργικό κόστος                           | Κόστος (€/έτος) |
|--|-----------------|
| Προσωπικό                                    | 187.000         |
| Συντήρηση                                    | 69.000          |
| Αναλώσιμα                                    | 34.000          |
| Ιδιοκατανάλωση                               | 54.000          |
| Επεξεργασία λιπάσματος (fertiliser disposal) | 34.000          |
| Μεταφορικά                                   | 0               |
| Αβεβαιότητα                                  | 9.500           |
| <b>Σύνολο</b>                                | <b>390.000</b>  |

Πίνακας 6.10: Κόστος επένδυσης

Τέλος το ετήσιο ύψος του χρεωλυσίου (Annuity) ανέρχεται σε **190.000 €/έτος**.

### Έσοδα

Τα ετήσια έσοδα από τη λειτουργία της εγκατάστασης συνοψίζονται στον πίνακα 6.11.

| Πωλήσεις                      | Έσοδα (€/έτος) |
|-------------------------------|----------------|
| Πωλήσεις ηλεκτρικής ενέργειας | 900.000        |
| Πωλήσεις θερμικής ενέργειας   | 0              |
| Πωλήσεις κομπόστ              | 0              |
| <b>Σύνολο</b>                 | <b>900.000</b> |

Πίνακας 6.11: Έσοδα εγκατάστασης

### Κέρδος (προ φόρων, χρεολυσίων)

Το κέρδος προ φόρων και χρεολυσίων ανέρχεται σε **500.000 €/έτος**.

### Οικονομική αξιολόγηση του έργου

Στον πίνακα 6.12 παρουσιάζεται η οικονομική αξιολόγηση του έργου μέσω της ΚΠΑ, του IRR και του χρόνου αποπληρωμής.

|                                     |             |
|-------------------------------------|-------------|
| Επιτόκιο αναγωγής                   | 6%          |
| NPV (20 έτη)                        | 4.400.000 € |
| IRR (20 έτη)                        | 35%         |
| Χρόνος αποπληρωμής (payback period) | 4,5 χρόνια  |

Πίνακας 6.12 Οικονομική αξιολόγηση έργου



Όπως προκύπτει από τα παραπάνω διαγράμματα, η εγκατάσταση είναι συμφέρουσα, καθώς δεν έχει μεταφορικό κόστος και εξυπηρετεί τις ανάγκες σε λίπασμα, και μπορεί να παρέχει θέσεις εργασίας και ένα έξτρα εισόδημα στους κτηνοτρόφους της περιοχής.

### 7.3.2 Μελέτη περίπτωσης 2: «Εγκατάσταση βιοαερίου με μονάδα CHP 1,3 MW»

Η βιομάζα που θα εισαχθεί στην σχεδιαζόμενη εγκατάσταση βιοαερίου θα αποτελείται από υγρή κοπριά μοσχάρων, αγελάδων, γουρουνιών, και προβάτων. Τα εισαγόμενα υλικά στον χωνευτήρα προέρχονται από αγροτοκτηνοτροφικές εγκαταστάσεις σε διάφορα σημεία του Νομού Καρδίτσας ενώ η εξεταζόμενη εγκατάσταση υποθέτουμε ότι βρίσκεται στο κέντρο του Νομού για να ισαπέχει από τις αγροτοκτηνοτροφικές εγκαταστάσεις.

#### 7.3.2.1 Βασικός σχεδιασμός εγκατάστασης

##### Βιομάζα και δυναμικό βιοαερίου

Η εγκατάσταση είναι μια εγκατάσταση συγχώνευσης ζωικών αποβλήτων.

Ο αριθμός των ζώων παρουσιάζεται στον πίνακα 6.13.

| Ζώα       | Ποσότητα (μονάδες) |
|-----------|--------------------|
| Μοσχάρια  | 2.100              |
| Αγελάδες  | 2.600              |
| Γουρούνια | 18.500             |
| Πρόβατα   | 105.000            |

Πίνακας 6.13: Αριθμός ζώων της περιοχής

Η ποσότητα των ζωικών αποβλήτων (κοπριά), καθώς και η παραγωγή  $CH_4$  ανά έτος παρουσιάζονται στον πίνακα 6.14.

| Απόβλητο | Ποσότητα αποβλήτων (tn/yr) | Παραγωγή $CH_4$ ( $m^3$ /έτος) |
|----------|----------------------------|--------------------------------|
| Κοπριά   | 212.500                    | 5.800.000                      |

Πίνακας 6.14: Ποσότητα αποβλήτων και παραγωγή  $CH_4$

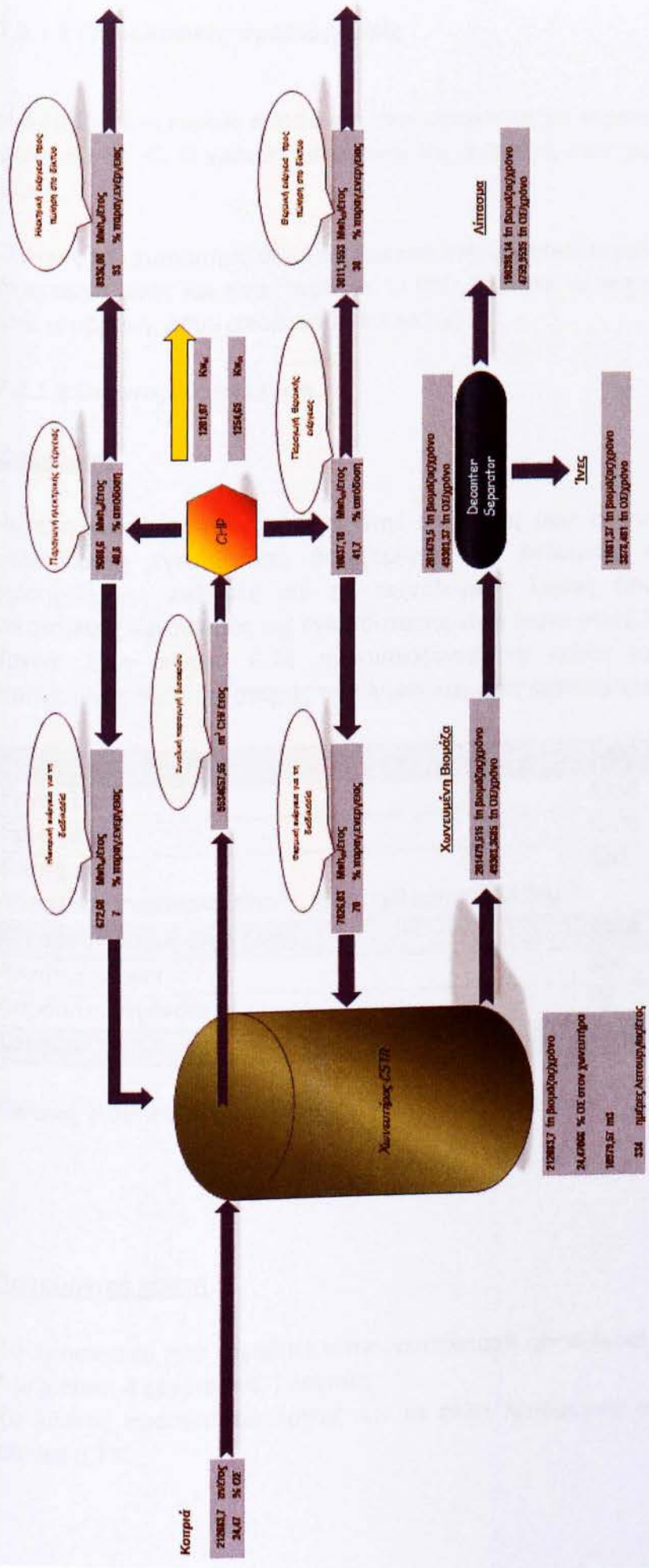
Η συνολική ποσότητα παραγωγής  $CH_4$  είναι  $5.800.000 m^3$ . Σε αυτήν την περίπτωση το βιοαέριο «καίγεται» μέσα σε μια μονάδα συμπαραγωγής CHP για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προς πώληση και παραγωγή θερμικής ενέργειας. Η θερμότητα χρησιμοποιείται κυρίως για τη διαδικασία και θεωρείται ότι δεν υπάρχουν πωλήσεις

θερμότητας (παρόλα αυτά υπάρχει η δυνατότητα για πώληση θερμικής ενέργειας). Η μονάδα συμπαραγωγής CHP που χρησιμοποιείται αποτελείται από δύο ΜΕΚ ισχύος 750 kW η καθεμία. Η ακόλουθη παραγωγή ενέργειας αναμένεται (πίνακας 6.15):

|                               |                       |   |
|-------------------------------|-----------------------|---|
| Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας | 9608800 kWh<br>/έτος  | $n_e=40,8\%$<br><br>9% του χρόνου εκτός λειτουργίας |
| Παραγωγή θερμικής ενέργειας   | 10037000 kWh<br>/έτος | $n_{th}=41,7\%$                                     |
| Για τη διεργασία              | 7.000.000kWh/έτος     | Θέρμανση στους 50° C                                |
| Για άλλη χρήση                | 3.000.000kWh/έτος     |   |

Πίνακας 6.15: Παραγωγή ενέργειας στην μονάδα συμπαραγωγής CHP.

Η χωνευμένη βιομάζα οδηγείται στον φυγοκεντρικό διαχωριστή όπου χωρίζεται σε στερεή και υγρή κοπριά. Τα ισοζύγια μάζας και η διεργασία παρουσιάζεται αναλυτικά στο παρακάτω διάγραμμα ροής.



Σχήμα 6.9: Διάγραμμα ροής

### 7.3.1.2 Τεχνολογικές προδιαγραφές

Η βιομάζα είναι κυρίως κοπριά και είναι κατάλληλη για θερμοφιλική αναερόβια χώνευση στους 50-52° C. Ο χρόνος παραμονής της βιομάζας στον χωνευτήρα είναι περίπου 16 μέρες.

Ο όγκος του χωνευτήρα υπολογίζεται στο υπολογιστικό εργαλείο, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα ροής και είναι περίπου 11.000 m<sup>3</sup>. Όλο το παραγόμενο βιοαέριο περνάει από μεμβράνη, όπου απομακρύνεται το H<sub>2</sub>S.

### 7.3.1.3 Οικονομική ανάλυση

#### Επένδυση

Αυτή η ενότητα επικεντρώνεται στην ανάπτυξη μιας οικονομικής ανάλυσης για την μελετούμενη εγκατάσταση βασιζόμενοι στα δεδομένα που αναπτύχθηκαν στις προηγούμενες ενότητες και σε τεχνολογικές λύσεις όπως προαναφέρθηκαν. Ο οικονομικός σχεδιασμός της εγκατάστασης είναι κύριο στοιχείο για την βιωσιμότητα του έργου. Στον πίνακα 6.16 παρουσιάζονται τα κόστη επένδυσης βασισμένα σε πραγματικές τιμές της αγοράς που λήφθηκαν από κατασκευαστές. [39]

| <b>Κόστος επένδυσης</b>                                    | <b>Τιμή (€/kW)</b> | <b>Κόστος (€)</b> |
|--|--------------------|-------------------|
| Έργα Π/Μ   | 1350               | 1.600.000         |
| Έργα Η/Μ   | 1270               | 1.500.000         |
| Σύστημα<br>Ασφαλείας, παρακολούθησης, τηλεεπίβλεψης(SCADA) | 240                | 300.000           |
| <b>Σύνολο (Κόστος επένδυσης)</b>                           | <b>2860</b>        | <b>3.400.000€</b> |
| Ανάπτυξη έργου   | 200                | 240.000           |
| Απρόοπτα γεγονότα  | 20                 | 24.000            |
| <b>Σύνολο</b>  | <b>3080</b>        | <b>3.700.000</b>  |

Πίνακας 6.16: Κόστος επένδυσης

#### Λειτουργικά κόστη

Το προσωπικό που εργάζεται στην εγκατάσταση αποτελείται από: 1 Product manager, 1 μηχανικό, 4 εργάτες και 1 λογιστή.

Το κόστος προσωπικού καθώς και τα άλλα λειτουργικά κόστη υπολογίζονται στον πίνακα 6.17.

| Λειτουργικό κόστος                           | Κόστος (€/έτος)  |
|--|------------------|
| Προσωπικό                                    | 187.000          |
| Συντήρηση                                    | 172.000          |
| Αναλώσιμα                                    | 86.000           |
| Ιδιοκατανάλωση                               | 170.000          |
| Επεξεργασία λιπάσματος (fertiliser disposal) | 86.000           |
| Μεταφορικά                                   | 850.000          |
| Αβεβαιότητα                                  | 39.000           |
| <b>Σύνολο</b>                                | <b>1.600.000</b> |

Πίνακας 6.17: Κόστος επένδυσης

Τέλος το ετήσιο ύψος του χρεωλυσίου (Annuity) ανέρχεται σε **480.000 €/έτος**.

### Έσοδα

Τα ετήσια έσοδα από την λειτουργία της εγκατάστασης συνοψίζονται στον πίνακα 6.18.

| Πωλήσεις                      | Έσοδα (€/έτος)   |
|-------------------------------|------------------|
| Πωλήσεις ηλεκτρικής ενέργειας | 2.200.000        |
| Πωλήσεις θερμικής ενέργειας   | 0                |
| Πωλήσεις κομπόστ              | 110.000          |
| <b>Σύνολο</b>                 | <b>2.310.000</b> |

Πίνακας 6.18: Έσοδα εγκατάστασης

### Κέρδος (προ φόρων, χρεολυσίων)

Το κέρδος προ φόρων και χρεολυσίων ανέρχεται σε **570.000 €/έτος**.

### Οικονομική αξιολόγηση του έργου

Στον πίνακα 6.19 παρουσιάζεται η οικονομική αξιολόγηση του έργου μέσω της ΚΠΑ, του IRR και του χρόνου αποπληρωμής.

|                                     |           |
|-------------------------------------|-----------|
| Επιτόκιο αναγωγής                   | 6%        |
| NPV (20 έτη)                        | 5.300.000 |
| IRR (20 έτη)                        | 20%       |
| Χρόνος αποπληρωμής (payback period) | 12 χρόνια |

Πίνακας 6.19 Οικονομική αξιολόγηση έργου

Η εγκατάσταση φαίνεται ότι είναι συμφέρουσα αλλά αν τα μεταφορικά αυξηθούν τότε τα κέρδη της μειώνονται δραματικά. Ακόμα οι ποσότητες των εισερχομένων αποβλήτων είναι τόσο μεγάλες που για να καλυφθούν οι ανάγκες της θα πρέπει να έρχονται περίπου 50 φορτηγά των 12,5 τόνων καθημερινώς.

### 7.3.3 Μελέτη περίπτωσης 3: «Εγκατάσταση βιοαερίου με μονάδα CHP 2,0 MW»

Η βιομάζα που θα εισαχθεί στην σχεδιαζόμενη εγκατάσταση βιοαερίου θα αποτελείται από υγρή κοπριά μοσχारीών, αγελάδων, γουρουνιών, και προβάτων. Τα εισαγόμενα υλικά στον χωνευτήρα προέρχονται από αγροτοκτηνοτροφικές εγκαταστάσεις σε διάφορα σημεία του Νομού Καρδίτσας ενώ η εξεταζόμενη εγκατάσταση υποθέτουμε ότι βρίσκεται στο κέντρο του Νομού για να ισαπέχει από τις αγροτοκτηνοτροφικές εγκαταστάσεις.

#### 7.3.3.1 Βασικός σχεδιασμός εγκατάστασης

##### Βιομάζα και δυναμικό βιοαερίου

Η εγκατάσταση είναι μια εγκατάσταση συγχώνευσης ζωικών και φυτικών αποβλήτων. Ο αριθμός των ζώων παρουσιάζεται στον πίνακα 6.20.

| Ζώα       | Ποσότητα (μονάδες) |
|-----------|--------------------|
| Μοσχάρια  | 3.400              |
| Αγελάδες  | 4.200              |
| Γουρούνια | 30.000             |
| Πρόβατα   | 168.000            |

Πίνακας 6.20: Αριθμός ζώων της περιοχής

Η ποσότητα των ζωικών αποβλήτων (κοπριά), καθώς και η παραγωγή CH<sub>4</sub> ανά έτος παρουσιάζονται στον πίνακα 6.21.

| Απόβλητο | Ποσότητα αποβλήτων (tn/yr) | Παραγωγή CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> /έτος) |
|----------|----------------------------|---|
| Κοπριά   | 340.000                    | 9.300.000                                       |

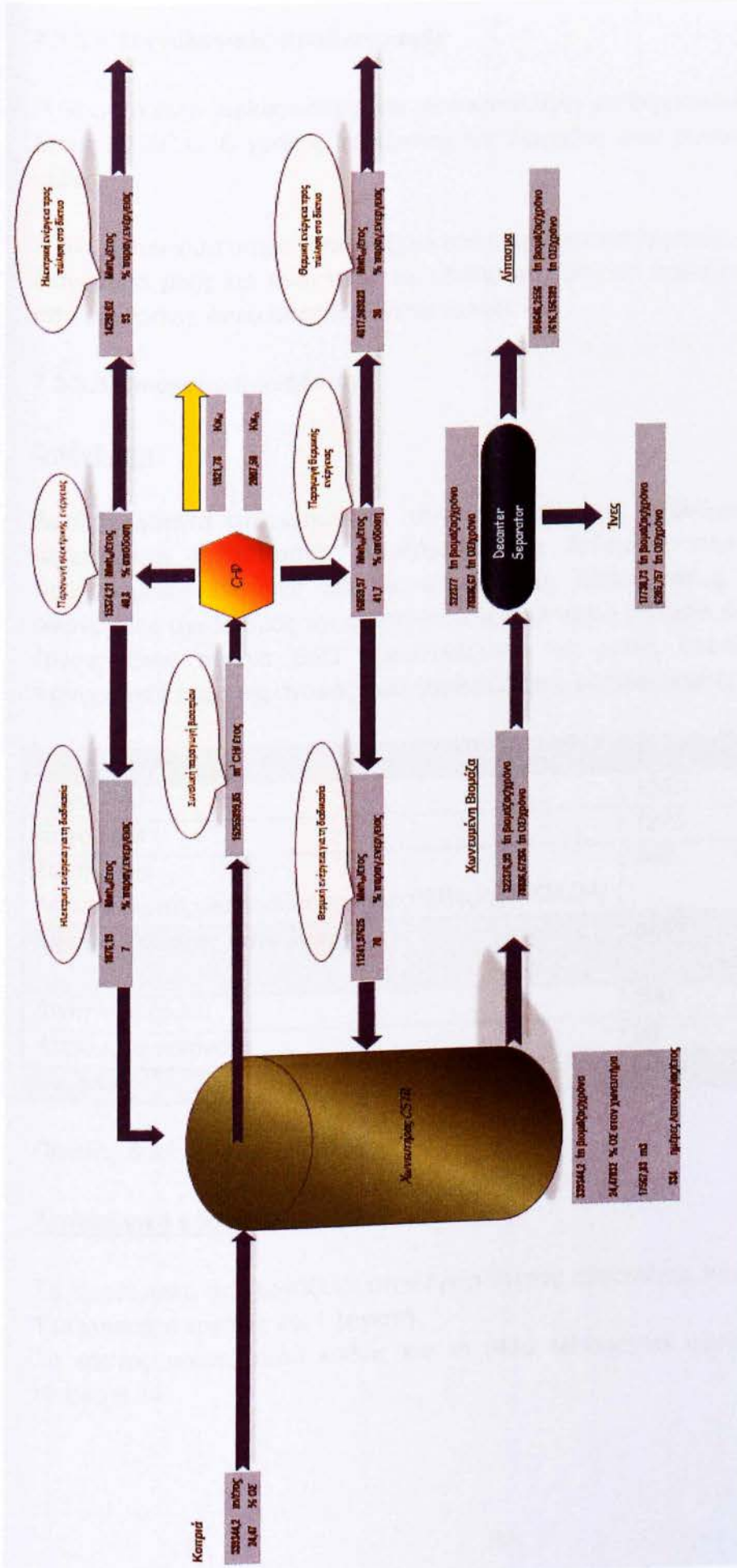
Πίνακας 6.21: Ποσότητα αποβλήτων και παραγωγή CH<sub>4</sub>

Η συνολική ποσότητα παραγωγής CH<sub>4</sub> είναι 9.300.000 m<sup>3</sup>. Σε αυτήν την περίπτωση το βιοαέριο «καίγεται» μέσα σε μια μονάδα συμπαραγωγής CHP για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προς πώληση και παραγωγή θερμικής ενέργειας. Η θερμότητα χρησιμοποιείται κυρίως για τη διαδικασία και θεωρείται ότι δεν υπάρχουν πωλήσεις θερμότητας (παρόλα αυτά υπάρχει η δυνατότητα για πώληση θερμικής ενέργειας). Η μονάδα συμπαραγωγής CHP που χρησιμοποιείται αποτελείται από δύο MEK ισχύος 1063 kW. Η ακόλουθη παραγωγή ενέργειας αναμένεται (πίνακας 6.22):

|                               |                     |  |
|-------------------------------|---------------------|--|
| Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας | 15.500.000 kWh/έτος | $\eta_e=40,8\%$<br>9% του χρόνου εκτός λειτουργίας |
| Παραγωγή θερμικής ενέργειας   | 16.000.000 kWh/έτος | $\eta_{th}=41,7\%$                                 |
| Για τη διεργασία              | 11.000.000 kWh/έτος | Θέρμανση στους 50° C                               |
| Για άλλη χρήση                | 5.000.000 kWh/έτος  |  |

Πίνακας 6.22: Παραγωγή ενέργειας στην μονάδα συμπαραγωγής CHP.

Η χωνευμένη βιομάζα οδηγείται στον φυγοκεντρικό διαχωριστή όπου χωρίζεται σε στερεή και υγρή κοπριά. Τα ισοζύγια μάζας και η διεργασία παρουσιάζεται αναλυτικά στο παρακάτω διάγραμμα ροής.



Σχήμα 6.17: Διάγραμμα ροής



### 7.3.3.2 Τεχνολογικές προδιαγραφές

Η βιομάζα είναι κυρίως κοπριά και είναι κατάλληλη για θερμοφιλική αναερόβια χώνευση στους 50-52° C. Ο χρόνος παραμονής της βιομάζας στον χωνευτήρα είναι περίπου 16 μέρες.

Ο όγκος του χωνευτήρα υπολογίζεται στο υπολογιστικό εργαλείο, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα ροής και είναι περίπου 18.000 m<sup>3</sup>. Όλο το παραγόμενο βιοαέριο περνάει από μεμβράνη, όπου απομακρύνεται το H<sub>2</sub>S.

### 7.3.3.3 Οικονομική ανάλυση

#### Επένδυση

Αυτή η ενότητα επικεντρώνεται στην ανάπτυξη μιας οικονομικής ανάλυσης για την μελετούμενη εγκατάσταση βασιζόμενοι στα δεδομένα που αναπτύχθηκαν στις προηγούμενες ενότητες και σε τεχνολογικές λύσεις όπως προαναφέρθηκαν. Ο οικονομικός σχεδιασμός της εγκατάστασης είναι κύριο στοιχείο για την βιωσιμότητα του έργου. Στον πίνακα 6.23 παρουσιάζονται τα κόστη επένδυσης βασισμένα σε πραγματικές τιμές της αγοράς που λήφθηκαν από κατασκευαστές. [39]

| <b>Κόστος επένδυσης</b>                                     | <b>Τιμή (€/kW)</b> | <b>Κόστος (€)</b>  |
|---|--------------------|--------------------|
| Έργα Π/Μ  | 1350               | 2.600.000          |
| Έργα Η/Μ  | 1270               | 2.400.000          |
| Σύστημα<br>Ασφαλείας, παρακολούθησης, τηλεεπίβλεψης (SCADA) | 240                | 460.000            |
| <b>Σύνολο (Κόστος επένδυσης)</b>                            | <b>2860</b>        | <b>5.460.000 €</b> |
| Ανάπτυξη έργου  | 200                | 400.000            |
| Απρόοπτα γεγονότα   | 20                 | 40.000             |
| <b>Σύνολο</b>   | <b>3080</b>        | <b>5.900.000 €</b> |

Πίνακας 6.23: Κόστος επένδυσης

#### Λειτουργικά κόστη

Το προσωπικό που εργάζεται στην εγκατάσταση αποτελείται από: 1 Product manager, 1 μηχανικό, 4 εργάτες και 1 λογιστή.

Το κόστος προσωπικού καθώς και τα άλλα λειτουργικά κόστη υπολογίζονται στον πίνακα 6.24.

| Λειτουργικό κόστος                           | Κόστος (€/έτος)  |
|--|------------------|
| Προσωπικό                                    | 190.000          |
| Συντήρηση                                    | 270.000          |
| Αναλώσιμα                                    | 138.000          |
| Ιδιοκατανάλωση                               | 215.000          |
| Επεξεργασία λιπάσματος (fertiliser disposal) | 138.000          |
| Μεταφορικά                                   | 1.700.000        |
| Αβεβαιότητα                                  | 70.000           |
| <b>Σύνολο</b>                                | <b>2.700.000</b> |

Πίνακας 6.24: Κόστος επένδυσης

Τέλος το ετήσιο ύψος του χρεωλυσίου (Annuity) ανέρχεται σε **700.000 €/έτος**.

### Έσοδα

Τα ετήσια έσοδα από την λειτουργία της εγκατάστασης συνοψίζονται στον πίνακα 6.25.

| Πωλήσεις                      | Έσοδα (€/έτος)   |
|-------------------------------|------------------|
| Πωλήσεις ηλεκτρικής ενέργειας | 3.600.000        |
| Πωλήσεις θερμικής ενέργειας   | 0                |
| Πωλήσεις κομπόστ              | 200.000          |
| <b>Σύνολο</b>                 | <b>3.800.000</b> |

Πίνακας 6.25: Έσοδα εγκατάστασης

### Κέρδος (προ φόρων, χρεολυσίων)

Το κέρδος προ φόρων και χρεολυσίων ανέρχεται σε **1.080.000 €/έτος**.

### Οικονομική αξιολόγηση του έργου

Στον πίνακα 6.26 παρουσιάζεται η οικονομική αξιολόγηση του έργου μέσω της ΚΠΑ, του IRR και του χρόνου αποπληρωμής.

|                                     |             |
|-------------------------------------|-------------|
| Επιτόκιο αναγωγής                   | 6%          |
| NPV (15 έτη)                        | 6.500.000 € |
| IRR (15 έτη)                        | 17%         |
| Χρόνος αποπληρωμής (payback period) | 15 χρόνια   |

Πίνακας 6.26 Οικονομική αξιολόγηση έργου

Η εγκατάσταση αυτή είναι συμφέρουσα αλλά χειρότερη από την προηγούμενη. Ο χρόνος αποπληρωμής της είναι μεγάλος ενώ έχει και μικρότερο IRR από τις παραπάνω. Ακόμα υπάρχει πρόβλημα όσον αφορά τα εισερχόμενα απόβλητα ημερησίως που ανέρχονται σε 1.020 tn.

## Συγκριτικός Πίνακας Περιπτώσεων

|                                     | Μελέτη περίπτωσης 1 | Μελέτη περίπτωσης 2 | Μελέτη περίπτωσης 3 |
|-------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Επιτόκιο αναγωγής                   | 6%                  | 6%                  | 6%                  |
| NPV (15 έτη)                        | 4.400.000 €         | 5.300.000           | 6.500.000 €         |
| IRR (15 έτη)                        | 35%                 | 20%                 | 17%                 |
| Χρόνος αποπληρωμής (payback period) | 4,5 χρόνια          | 12 χρόνια           | 15 χρόνια           |

Στον παραπάνω πίνακα φαίνεται ξεκάθαρα ότι από οικονομικής απόψης η «Μελέτη περίπτωσης 1» είναι η πιο συμφέρουσα.

## Κεφάλαιο 8: Επίλογος – Συμπεράσματα

Ο ενεργειακός τομέας στην Ελλάδα αντιμετωπίζει τα τελευταία χρόνια σημαντικές αλλαγές λόγω των Ευρωπαϊκών και Εθνικών πολιτικών σε ότι αφορά στην ενέργεια και το περιβάλλον (πχ. πλήρης απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας, προστασία του περιβάλλοντος). Σαν αποτέλεσμα η επίδραση και τα αποτελέσματα των πολιτικών αυτών δεν είναι ακόμη ορατά και ειδικότερα σε μεσο-μακροπρόθεσμο ορίζοντα (πχ. τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας, ενεργειακό μίγμα). Ο λιγνίτης, η κύρια εγχώρια ενεργειακή πηγή της χώρας διαφαίνεται ότι θα συνεχίζει να παίζει κυρίαρχο ρόλο στο ενεργειακό μίγμα της Ελλάδας και για τα επόμενα χρόνια, αλλά η περαιτέρω διεξόδυση των ΑΠΕ παραμένει επιτακτική.

Η υλοποίηση έργων βιοαερίου απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό, αφού ληφθούν υπόψη τεχνολογικοί, κοινωνικοί (ενημέρωση εμπλεκομένων), περιβαλλοντικοί και οικονομικοί παράγοντες. Μερικές φορές είναι δύσκολο να αναπτυχθούν πολλά έργα λόγω της ιδιομορφίας των περιοχών και της διαθεσιμότητας της πρώτης ύλης. Στις περισσότερες όμως των περιπτώσεων τα μη τεχνολογικά εμπόδια αναφέρονται ως τα πιο σημαντικά για την υλοποίηση ενός έργου.

Αν και η κοινωνική πίεση, οι οικονομικές συνθήκες και η νομοθεσία έχουν βελτιώσει το πλαίσιο για την παραγωγή βιοαερίου, υπάρχουν ακόμη εμπόδια που πρέπει να ξεπεραστούν στην Ελλάδα, ειδικότερα σε ότι αφορά στην υλοποίηση μονάδων μικρής κλίμακας. Τα κύρια εμπόδια σχετίζονται με την κοινωνική στάση, ενημέρωση και εμπειρία, κυρίως σε έργα αγροτικά και βιομηχανικά, η απουσία αγοράς θερμικής ενέργειας, το υψηλό κόστος επένδυσης, τα χρηματοοικονομικά μεγέθη και τα κέρδη, η αδειοδοτική διαδικασία.

Ο νέος νόμος για τις ΑΠΕ (3851/2010) προσανατολισμένος στην περαιτέρω προώθηση των ΑΠΕ θέτει ένα νέο περιβάλλον στην ηλεκτροπαραγωγή και μεταξύ άλλων αυξάνει κατά πολύ την εγγυημένη τιμή (Η τιμή για το βιοαέριο τίθεται στα 220€/MWh για εγκαταστάσεις βιοαερίου προερχόμενο από κτηνοτροφικά απόβλητα και αγροτοβιομηχανικά οργανικά υπολείμματα με εγκατεστημένη ισχύ  $\leq 3$  MW, και στα 200 €/MWh με εγκατεστημένη ισχύ  $> 3$  MW).

Έτσι όπως προκύπτει και από την πτυχιακή εργασία, ο νέος νόμος καθιστά συμφέρουσες εγκαταστάσεις που τα προηγούμενα χρόνια δεν ήταν, και επιταχύνει τις εξελίξεις στις επενδύσεις εγκαταστάσεων βιοαερίου.

Συμφέρουσες εγκαταστάσεις όπως παρατίθεται παραπάνω με αριθμούς είναι οι εγκαταστάσεις μικρής κλίμακας που θα ενισχύσουν την τοπική κοινωνία και θα αντιμετωπίσουν το πρόβλημα της ρύπανσης από τα κτηνοτροφικά απόβλητα.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Biogashandbuch Bayern "Materialband Bayerisches Landesamt für Umwelt" (LfU), <http://www.lfu.bayern.de/abfall/fachinformationen/biogashandbuch/index.htm>, 2007.
- [2] B. Linke, Institut für Agrartechnik Bornim
- [3] Batstone, D.J., P.F. Pind, and I. Angelidaki. "Kinetic of thermophilic, anaerobic oxidation of straight and branched chain butyrate and valerate", 2003.
- [4] Baere, L.D. "Anaerobic digestion of solid waste: state-of-the-art." *Water Science and Technology*, 41:3, 283-290, 2000.
- [5] Σιούλας Κωνσταντίνος, Teodorita Al Seadi, Domink Rutz "Εγχειρίδιο βιοαερίου", 2008.
- [6] Biogashandbuch Bayern Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (STMUGV), - [www.ustmugv.bayern.de](http://www.ustmugv.bayern.de), 2004.
- [7] Al Seadi, T.: "Good practice in quality management of AD residues from biogas production." Report made for the International Energy Agency, Task 24- Energy from Biological Conversion of Organic Waste. Published by IEA Bioenergy and AEA Technology Environment, Oxfordshire, United Kingdom, 2001.
- [8] Biothane, "Biothane Anaerobic Systems". <http://www.biothane.com/>, 2006
- [9] Brummeler-ten, E. "Full scale experience with the BIOCEL process." *Water Science and Technology*, 41:3, 299-304, 2000.
- [10] [BTA: "Biotechnische Abfallverwertung GmbH & Co. The BTA-Process." <http://www.bta-technologie.de/>, 2006.
- [11] De Mes, T.Z.D., Stams, A.J.M., Reith, J.H. and Zeeman, G. "Methane production by anaerobic digestion of wastewater and solid wastes." In *Bio-Methane & Bio-Hydrogen: Status and Perspectives of Biological Methane and Hydrogen Production*, pp. 58-102. Edited by J.H. Reith, R.H. Wijffels and H. Barten. Netherlands, 2003.
- [12] FNR – "Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e.V." (Hrsg.), 2005. "Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung." Gülzow. 2005.
- [13] Ghosh, S., Henry, M.P., Sajjad, A., Mensinger, M.C. and Arora, J.L. "Pilot-scale gasification of municipal solid wastes by high-rate and two-phase anaerobic digestion (TPAD)." *Water Science and Technology*, 41:3, 101-110, 2000.
- [14] Henze, M. and Harremoës, P. "Anaerobic treatment of wastewater in fixed film reactors - a literature review." *Water Science and Technology*, 15, 1-101, 1983.
- [15] Hjort-Gregersen, K. "Sustainable Handling and Utilisation of Manure and Organic Waste Resources:" *The Centralised Biogas Plant Approach*. Danish Institute of Agricultural and Fisheries Economics, Denmark. <http://www.sjfi.dk/>, 2000.
- [16] <http://andrew.getux.com/2008/07/18/study-of-tofu-wastewater-digester-model-for-biogas-production-based-on-reduced-time/>
- [17] <http://enermac.com/Strabab-SEHL.htm>
- [18] <http://www.energysolutionscenter.org>
- [19] Karakashev, D., D. J. Batstone, and I. Angelidaki "Influence of environmental conditions on methanogenic compositions in anaerobic biogas reactors." *Appl. Environ. Microbiol.* 71:331-338, 2005.
- [20] Kompogas, "Mechanical Biological Waste Treatment." <http://www.kompogas.ch/>, 2006.
- [21] Lettinga, G. "Anaerobic digestion and wastewater treatment systems". *Antoni van Leeuwenhoek*, 67:1, 3-28., 2005.
- [22] Liu, T. and Ghosh, S. "Phase separation during anaerobic fermentation of solid substrates in an innovative plug-flow reactor." *Water Science and Technology*, 36:6-7, 303-310, 1997.

- [23] Oleszkiewicz, J.A. and Poggi-Varaldo, H.M. "High-solids anaerobic digestion of mixed municipal and industrial waste." *Journal of Environmental Engineering*, 123:11, 1087-1092, 1997.
- [24] Parkin G.F. and Owen W.F., "Fundamentals of anaerobic digestion of wastewater sludge's", *Journal Environmental Engineering Div. Amer. Soc. Civil Engineering*, 112, p. 867-920. 1986
- [25] Rutz D., Janssen R., Epp C., Helm P., Grmek M., Agrinz G., Prassl H., Sioulas K., Dzene I., Ivanov I., Dimitrova D., Georgiev K., Kulisic B., Finsterwalder T., Köttner M., Volk S., Kolev N., Garvanska S., Ofiteru A., Adamescu M., Bodescu F., Al Seadi T. "The Biogas Market in Southern and Eastern Europe: Promoting Biogas by Non-technical Activities." *Proceedings of the 16th European Biomass Conference and Exhibition*; Valencia, Spain; 2008.
- [26] Saint-Joly, C., Debois, S. and Lotti, J.P. Determinant "impact of waste collection and composition on anaerobic digestion performance: industrial results." *Water Science and Technology*, 41:3, 291-297, 2000.
- [27] Sotirios Karellas, Ioannis Boukis, Georgios Kontopoulos "Development of an investment decision tool for biogas production from agricultural waste" *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 14, Issue 4, Pages 1273-1282, May 2010.
- [28] Sutton P.M., "Anaerobic Treatment of High Strength Wastes: System Configuration and Selection", presented at *Anaerobic Treatment of High Strength Wastes*, December 3-4, University of Wisconsin-Milwaukee, Milwaukee, Wisconsin, 1990.
- [29] Waybright, R.C. "On-farm Utilization of Animal Wastes." *Philadelphia Society for Promoting Agriculture*, 1991.
- [30] Zeeman, G. and Sanders, W. "Potential of anaerobic digestion of complex waste (water)." *Water Science and Technology*, 44:8, 115-122, 2001.
- [31] Zeeman, G., Sanders, W. and Lettinga, G. Feasibility of the on-site treatment of sewage and swill in large buildings. *Water Science and Technology*, 41:1, 9-16, 2006.
- [32] Λυμπεράτος, Γ. "Εισαγωγή στη Βιοχημική Μηχανική." *Εκδόσεις Παν/μιου Πατρών*. 190 pp., 1998.
- [33] Σιούλας Κωνσταντίνος, Teodorita Al Seadi, Domink Rutz "Εγχειρίδιο βιοαερίου", 2008.
- [34] «Ανανεώσιμες μορφές ενέργειας V βιοαέρια & ενέργεια από βιομάζα» Π. Χαρώνη 1989
- [35] «Εισαγωγή στις τεχνολογίες της ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας» Γ. Βουρδούμπα Χανιά 2002
- [36] «Ειδικά πλαίσιο χωροταξικού σχεδιασμού και αιεφόρου ανάπτυξης για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας» ΥΠΕΧΩΔΕ 2007
- [37] ΣΕΛΚΑ 4Μ- ΤΕΚΔΟΤΙΚΗ 2006 : « Συμβατικές και ήπιες μορφές ενέργειας» Μπαλάρας Κ., Αργυρίου Α., Καραγιάννης Φ. Αθήνα 2006
- [38] BiG East, "Δυναμικό Βιοαερίου στην Ελλάδα", 2010.
- [39] «Μελέτη Περιβαλλοντική Επιπτώσεων εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης ενέργειας από βιομάζα στην θέση Βαμπούλου του Δ. Πιαλείων Ν Τρικάλων ισχύος 1,364ΜWe» 2010
- [40] «Φάκελος αίτησης χορήγησης άδειας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της εταιρίας Βιοενεργειακή Θεσσαλίας Α.Ε. για το παραπάνω έργο» 2008
- [41] Στοιχεία για το Βιοαέριο από τις εταιρίες Binova GmbH μέλος της BIOLAK group.
- [42] Στοιχεία από ΟΠΕΚΕΠΕ για το δυναμικό σε εκμεταλεύσεις και ζωικό κεφάλαιο στο Ν. Καρδίτσας.