

“Τεχνολογίες Παραγωγής και Αξιοποίησης του Βιοαερίου”

Δρ. Χαράλαμπος Μαλαματένιος
(Μηχανολόγος Μηχανικός ΕΜΠ)

**Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και
Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ)**
Υπεύθυνος του Τμήματος Εκπαίδευσης

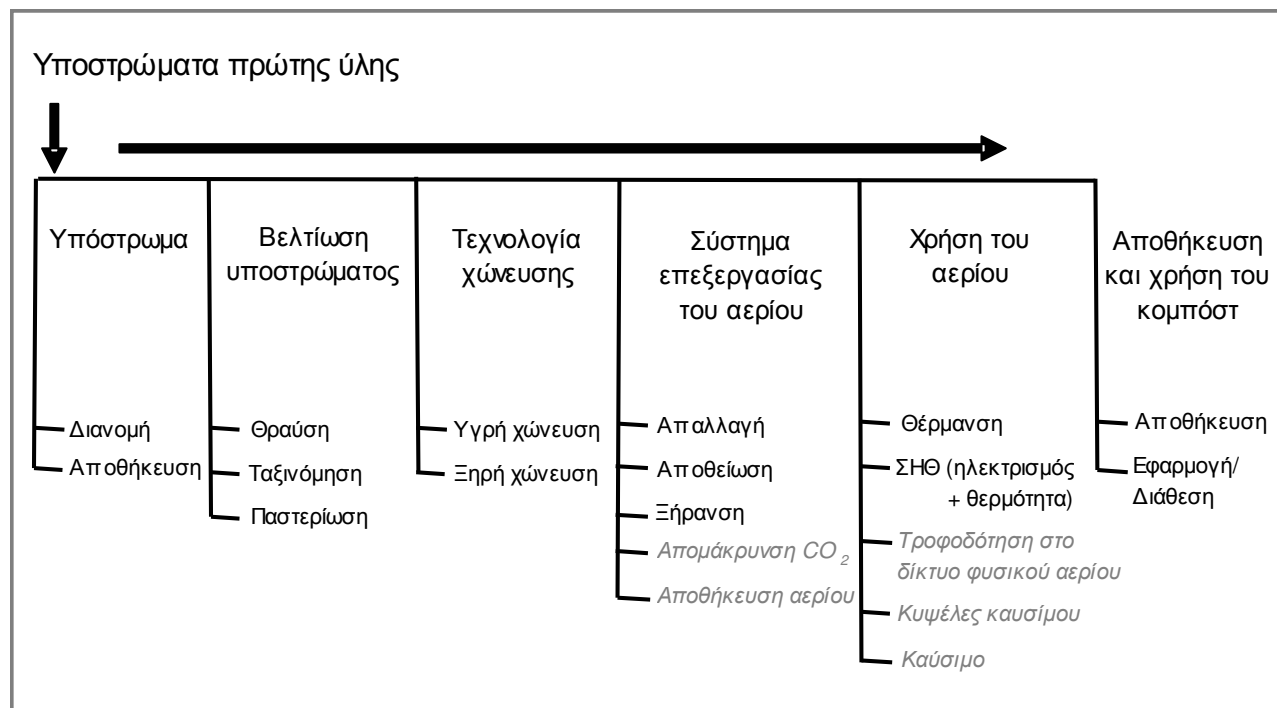
Περιεχόμενα

- **Τεχνολογίες παραγωγής του βιοαερίου**
 - *Μονάδα παραλαβής της πρώτης ύλης*
 - *Αποθήκευση και βελτίωση της πρώτης ύλης*
 - *Σύστημα τροφοδοσίας*
 - *Παρελκόμενα και σωληνώσεις*
 - *Χωνευτές (είδη, θέρμανση της πρώτης ύλης, κλπ.)*
 - *Τεχνολογίες ανάδευσης*
 - *Αποθήκευση του βιοαερίου*
 - *Καθαρισμός του βιοαερίου*
 - *Αποθήκευση του χωνεμένου υπολείμματος*
 - *Κεντρικός έλεγχος*
- **Τεχνολογίες αξιοποίησης του βιοαερίου**
 - *Άμεση καύση και χρήση της θερμότητας*
 - *Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού & Θερμότητας (ΣΗΘ)*
 - *Αναβάθμιση του βιοαερίου (βιομεθάνιο)*

Εισαγωγή

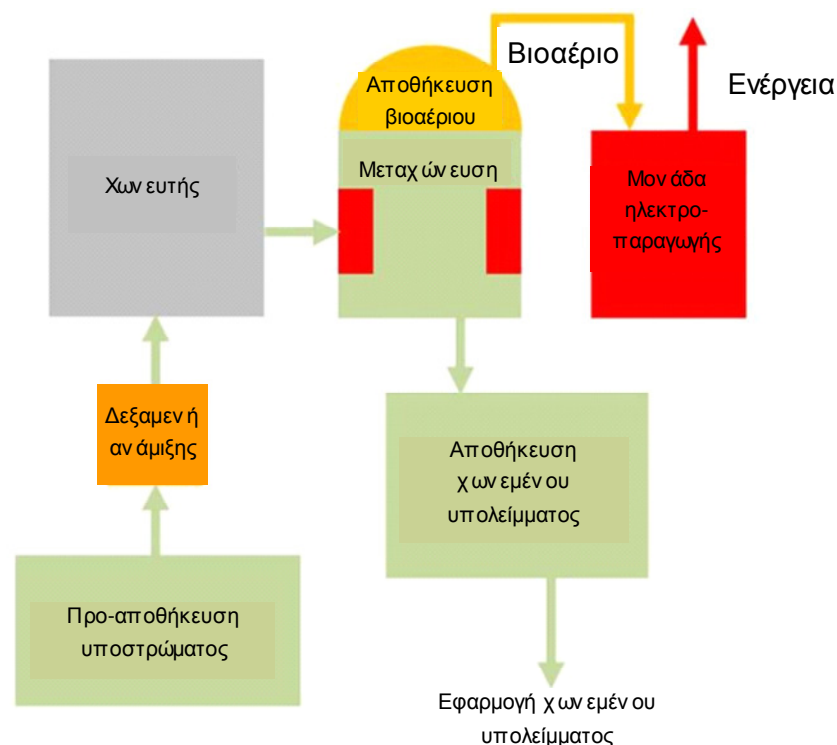
- Μια μονάδα βιοαερίου είναι μια σύνθετη μονάδα, αποτελούμενη από ένα μεγάλο αριθμό συνιστωσών.
- Η διάταξη μιας τέτοιας μονάδας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τους **τύπους** και τις **ποσότητες** της παρεχόμενης πρώτης ύλης.
- ✓ Καθώς υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι πρώτης ύλης (διαφορετικής προέλευσης) που είναι κατάλληλοι για χώνευση σε μονάδες βιοαερίου, αντίστοιχα υπάρχουν διάφορες τεχνικές για τον χειρισμό τους, αλλά και διαφορετικές κατασκευές χωνευτών και συστήματα λειτουργίας.
- Ανάλογα με τον τύπο, το μέγεθος και τις συνθήκες λειτουργίας της κάθε μονάδας βιοαερίου, μπορούν να εφαρμοστούν διάφορες τεχνολογίες για τη βελτίωση, την αποθήκευση και τη χρήση του βιοαερίου.
- Αυτό που κυρίως ενδιαφέρει σχετικά με την αποθήκευση και τη χρήση του χωνεμένου υπολείμματος είναι η χρήση του ως εδαφοβελτιωτικό και τα απαραίτητα μέτρα για την προστασία του περιβάλλοντος που σχετίζονται με αυτό.

- Τα κύρια βήματα της διεργασίας σε μια μονάδα βιοαερίου:



- Τα βήματα της διεργασίας που περιγράφονται με πλάγιους χαρακτήρες δεν αποτελούν τυπικές πρακτικές για τις αγροτικές μονάδες βιοαερίου.
- Το όριο μεταξύ της υγρής και της ξηρής χώνευσης καθορίζεται από την «αντλησιμότητα» της πρώτης ύλης. Περιεχόμενο ξηρής ουσίας (ΞΟ) άνω του 15% σημαίνει ότι το υλικό δεν είναι «αντλήσιμο» και η ΑΧ σε αυτήν την περίπτωση ορίζεται ως «ξηρή χώνευση». Η τροφοδοσία σχετικά ξηρής πρώτης ύλης (π.χ. χορτονομή) στον χωνευτή αυξάνει την περιεκτικότητα σε ΞΟ του μίγματος πρώτης ύλης.

- Η κύρια συνιστώσα μιας μονάδας βιοαερίου είναι ο **χωνευτής** (δηλ. η δεξαμενή του αντιδραστήρα της ΑΧ).



- Το μέγεθος των μονάδων βιοαερίου προκύπτει από το μέγεθος των χωνευτών:
- ✓ ποικίλλει από λίγα m³ στις μικρές οικιακές εγκαταστάσεις έως μερικές χιλιάδες m³ στις μεγάλες εμπορικές εγκαταστάσεις με πολλούς χωνευτές.

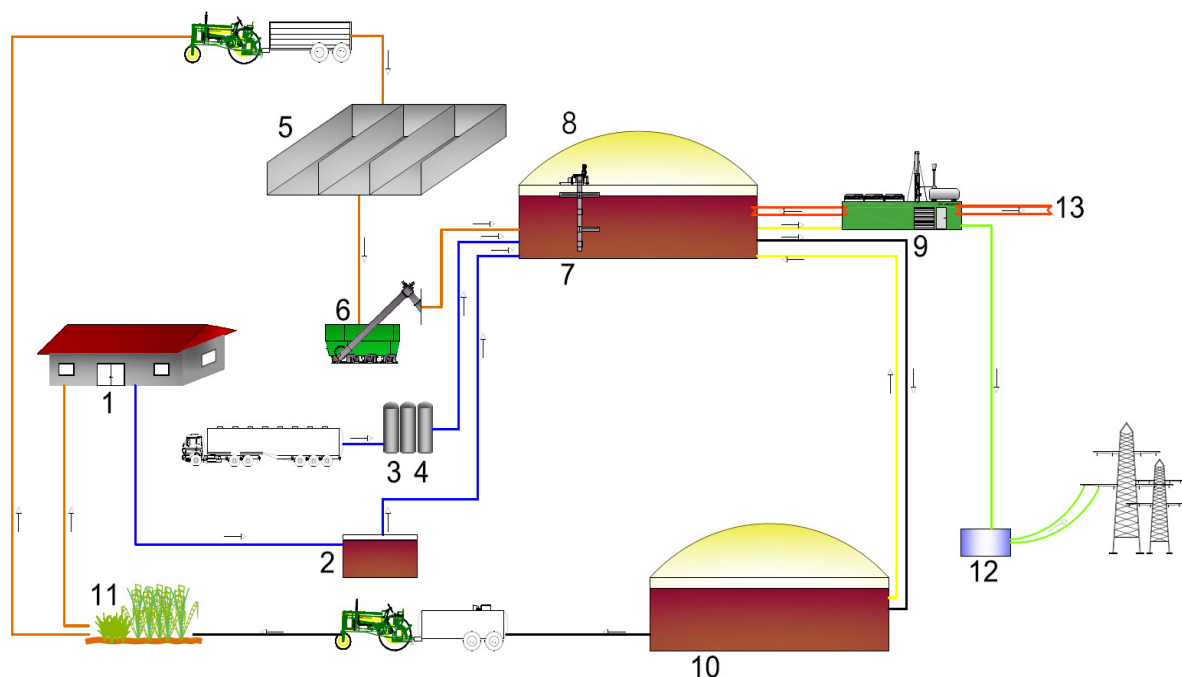
Τεχνολογίες παραγωγής του βιοαερίου

ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ ΕΡΓΩΝ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ
Πικέρμι, 23 Απριλίου 2012

- Οι αγροτικές μονάδες βιοαερίου λειτουργούν συνήθως με 4 διαφορετικά στάδια διεργασίας:

1. Μεταφορά, παράδοση, αποθήκευση και προεπεξεργασία της πρώτης ύλης. (2 - 6)
2. Παραγωγή βιοαερίου (ΑΧ). (7)
3. Αποθήκευση του βιοαερίου, βελτίωση και χρήση. (8, 9 & 12, 13)
4. Αποθήκευση του χωνεμένου υπολείμματος, ενδεχόμενη βελτίωση και χρήση. (10, 11)

Απεικόνιση μιας τυπικής αγροτικής μονάδας ομο-χώνευσης



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

- Όταν κατασκευάζεται μία μονάδα βιοαερίου, η επιλογή του τύπου και του σχεδιασμού της πρωτίστως εξαρτώνται από:
- ✓ Την **ποσότητα της πρώτης ύλης**, που καθορίζει το μέγεθος του χωνευτή, την δυναμικότητα αποθήκευσης και την δυναμικότητα της μονάδας ΣΗΘ.
- ✓ Την **ποιότητα της πρώτης ύλης** (περιεχόμενο ΞΟ , δομή, προέλευση κλπ.), η οποία καθορίζει την τεχνολογία της διεργασίας.
- Ανάλογα με τη σύνθεση της πρώτης ύλης, μπορεί να απαιτείται:
 - να διαχωριστούν τα προβληματικά υλικά,
 - να τεμαχιστεί η πρώτη ύλη, ή
 - να προστεθεί νερό, προκειμένου να μετατραπεί σε ένα μίγμα ικανό να αντληθεί.
- Εάν η παρεχόμενη πρώτη ύλη είναι επιρρεπής σε μολύνσεις, είναι απαραίτητο να συμπεριληφθεί ένα βήμα **υγιεινής** στη γενική διάταξη της μελλοντικής μονάδας.

- Στην περίπτωση της «υγρής ΑΧ», συνήθως χρησιμοποιούνται μονοβάθμιες εγκαταστάσεις ΑΧ που λειτουργούν ως «μέσω της ροής» (flow-through).
- Στη διεργασία διπλής βαθμίδας, πριν από τον κύριο χωνευτή τοποθετείται ένας προ-χωνευτής:
 - Αυτός δημιουργεί τις βέλτιστες συνθήκες για τα πρώτα δύο βήματα της διεργασίας της ΑΧ (υδρόλυση και σχηματισμός οξέων).
 - Μετά τον προ-χωνευτή, η πρώτη ύλη εισάγεται στον κύριο χωνευτή, όπου πραγματοποιούνται τα επόμενα βήματα της ΑΧ.
- Το χωνεμένο υπόλειμμα αντλείται από το χωνευτή και αποθηκεύεται.
- ✓ Οι δεξαμενές αποθήκευσης πρέπει να καλύπτονται με αεροστεγείς μεμβράνες, όπου μπορεί να συνεχιστεί η παραγωγή και συλλογή του βιοαερίου σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (μετα-χώνευση).
- ✓ Εναλλακτικά, το χωνεμένο υπόλειμμα μπορεί να αποθηκευτεί σε ανοικτά δοχεία με φυσικό ή τεχνητό "επιπλέον στρώμα".
- Το παραγόμενο βιοαέριο αποθηκεύεται, υφίσταται βελτίωση και χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας (ΣΗΘ).

Μονάδα παραλαβής της πρώτης ύλης

- Είναι πολύ σημαντικός ο **σταθερός** και **συνεχής ανεφοδιασμός** με πρώτη ύλη στην κατάλληλη ποιότητα και ποσότητα.
- ✓ Εγγυημένος ανεφοδιασμός με υψηλής ποιότητας πρώτη ύλη → Όταν ο χειριστής της μονάδας είναι μαζί και παραγωγός της πρώτης ύλης.
- Συνήθως οι μονάδες βιοαερίου δέχονται πρόσθετες πρώτες ύλες που προέρχονται από άλλα αγροκτήματα, βιομηχανίες ή νοικοκυριά.
- Απαιτείται η εφαρμογή διαδικασία διαχείρισης ποιότητας της πρώτης ύλης, προκειμένου να αναγνωριστεί, να ελεγχθεί και να υπολογιστεί το παρεχόμενο υλικό.
- ✓ Σε πρώτη φάση, είναι απαραίτητο να γίνεται οπτικός έλεγχος κάθε φορτίου πρώτης ύλης.
- ✓ Κατόπιν, πρέπει να καταγράφονται το βάρος και τα λοιπά στοιχεία (προμηθευτής, ημερομηνία, τύπος, προέλευση, ποιότητα).
- Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται όσον αφορά στους τύπους πρώτης ύλης που ταξινομούνται ως **απόβλητα**, για τα οποία μπορεί να πρέπει να ακολουθηθούν ειδικοί κανονισμοί (ανάλογα με την κατηγορία).

Αποθήκευση και βελτίωση της πρώτης ύλης

- Η **αποθήκευση** της πρώτης ύλης:
 - ✓ χρησιμεύει πρωτίστως στο να αντισταθμιστούν οι εποχιακές διακυμάνσεις του ανεφοδιασμού με πρώτη ύλη,
 - ✓ διευκολύνει την ανάμιξη των διαφορετικών ομο-υποστρωμάτων για συνεχή εφαρμογή στο χωνευτή.
- Ο **τύπος** των εγκαταστάσεων αποθήκευσης εξαρτάται από την πρώτη ύλη:
 - Αποθήκες τύπου σιλό για την στερεή πρώτη ύλη (π.χ. χορτονομή αραβόσιτου) και
 - Δεξαμενές αποθήκευσης της υγρής πρώτης ύλης (υδαρής κοπριά).
 - Συνήθως, τα σιλό αποθήκευσης έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν πρώτη ύλη για παραπάνω από ένα έτος
 - Οι δεξαμενές αποθήκευσης κοπριάς έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν πρώτη ύλη για αρκετές ημέρες.
- Σε μερικές περιπτώσεις, μπορεί να χρησιμοποιούνται κάθετα κυλινδρικά σιλό.

Αποθήκευση και βελτίωση της πρώτης ύλης

- Η διαστασιολόγηση των εγκαταστάσεων αποθήκευσης καθορίζεται από:
 - ✓ τις ποσότητες που πρόκειται να αποθηκευτούν,
 - ✓ τις περιόδους παράδοσης, και
 - ✓ τις ποσότητες που καθημερινά τροφοδοτούνται στον χωνευτή.



Αποθήκες τύπου σιλό (επάνω)

Αποθήκευση χορτονομής καλαμποκιού –
σωρός καλυπτόμενος από χορτάρι (δεξιά)



Αποθήκες τύπου σιλό για ενεργειακές καλλιέργειες

- Οι αποθήκες σιλό αναπτύχθηκαν αρχικά για την αποθήκευση της χορτονομής για ζωοτροφή έτσι ώστε να μπορεί να ρυθμιστεί η εποχιακή διαθεσιμότητά της.
- Αυτή η πρακτική χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο για την αποθήκευση της πρώτης ύλης σε μονάδες βιοαερίου, συγκεκριμένα των **ενεργειακών καλλιεργειών**.
- Η χορτονομή πρέπει να προέρχεται από φυτικό ιστό με την κατάλληλη περιεκτικότητα σε υγρασία (55-70%, ανάλογα με το μέσο αποθήκευσης, τον βαθμό συμπίεσης και την περιεκτικότητα σε νερό που θα χαθεί κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης).
- Η χορτονομή περνά από μια διεργασία ζύμωσης και τα ζυμωτικά βακτήρια χρησιμοποιούν ενέργεια για την παραγωγή πτητικών λιπαρών οξέων (VFA, δηλ. οξικό άλας, λακτόζη, βουτυρικό άλας, κλπ.), τα οποία συντηρούν τη χορτονομή.
- Ως αποτέλεσμα, η χορτονομή έχει χαμηλότερη ενέργεια απ' ό,τι ο αρχικός φυτικός ιστός, καθώς τα ζυμωτικά βακτήρια χρησιμοποιούν μερικούς από τους υδατάνθρακες για να παράγουν τα VFA.

Αποθήκευση και βελτίωση της πρώτης ύλης

Δεξαμενές αποθήκευσης για αντλήσιμη πρώτη ύλη

- Η αντλήσιμη πρώτη ύλη γενικά αποθηκεύεται σε σφραγισμένες, υδατοστεγείς και κατασκευαζόμενες από ενισχυμένο σκυρόδεμα δεξαμενές μέσα στο έδαφος (όμοιες με αυτές που χρησιμοποιούνται στην κτηνοτροφία για την αποθήκευση της υγρής κοπριάς).
- Οι δεξαμενές έχουν ικανοποιητική χωρητικότητα αποθήκευσης πρώτης ύλης για μία έως δύο ημέρες.
- Για την αποτροπή εκπομπών, οσμών, κλπ. οι δεξαμενές πρέπει να είναι καλυμμένες.
- Πρέπει να αποφεύγονται:
 - η απόφραξη,
 - η ιζηματογένεση,
 - η δημιουργία επιπλεόντων στρωμάτων, και
 - ο διαχωρισμός φάσης του μίγματος της πρώτης ύλης.
- Για τον λόγο αυτό, οι δεξαμενές αποθήκευσης εξοπλίζονται με **αναδευτήρες** που συχνά συνδυάζονται με εργαλεία απόσχισης και κοπής για τη θραύση της πρώτης ύλης.

Βελτίωση της πρώτης ύλης

- Η **βελτίωση** της πρώτης ύλης επηρεάζει σημαντικά την ροή και την αποδοτικότητα της διεργασίας της ΑΧ.
- Στόχος είναι:
 - να **εκπληρωθούν οι απαιτήσεις υγιεινής** και
 - να **αυξηθεί η δυνατότητα χώνευσης** (επομένως και η παραγωγή βιοαερίου).
- Υπάρχουν διάφορες δυνατότητες για βελτίωση της πρώτης ύλης και βελτιστοποίηση του οργανικού φορτίου της μονάδας, όπως είναι:
 - ✓ η μηχανική σύνθλιψη,
 - ✓ οι διεργασίες αποσύνθεσης (χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία των λυμάτων), και
 - ✓ το στάδιο της ανάντη υδρόλυσης.

Ταξινόμηση και διαχωρισμός της πρώτης ύλης

- Η ανάγκη για ταξινόμηση και διαχωρισμό των ακαθαρσιών και των την προέλευση και τη σύνθεσή της.
- Σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιείται μια δεξαμενή προ-αποθήκευσης, εξοπλισμένη με ειδικές σχάρες για να συγκρατεί τις πέτρες και άλλες φυσικές ακαθαρσίες, πριν αντληθεί η πρώτη ύλη μέσα στην κύρια δεξαμενή αποθήκευσης.
- Η χορτονομή είναι μεταξύ των καθαρότερων υλικών πρώτης ύλης.
- Η στερεή κοπριά και τα απόβλητα των νοικοκυριών μπορεί να περιέχουν πέτρες και άλλες φυσικές ακαθαρσίες.
 - Αυτά συνήθως διαχωρίζονται με ιζηματογένεση στις δεξαμενές αποθήκευσης (για την περίπτωση της άμμου, ακόμη και μέσα στους χωνευτές) και πρέπει να αφαιρούνται από το κατώτατο σημείο των δεξαμενών ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

Ταξινόμηση και διαχωρισμός της πρώτης ύλης

- Τα απόβλητα από τα νοικοκυριά, τις υπηρεσίες εστίασης και τα τρόφιμα μπορούν να περιέχουν διάφορες **ακαθαρσίες**: υπολείμματα συσκευασίας ή περιτυλίγματος από πλαστικό, μέταλλο, ξύλο, γυαλί και άλλα μη βιοδιασπάσιμα υλικά, που μπορούν να βλάψουν τις αντλίες και να φράξουν τους σωλήνες και τους χωνευτές.
- Αυτές οι ακαθαρσίες μπορούν να αφαιρεθούν με τη βοήθεια ενός ξεχωριστού συστήματος συλλογής ή από τα χύδην συλλεγόμενα απόβλητα με μηχανικές, μαγνητικές και χειρωνακτικές μεθόδους.



Σύστημα τροφοδοσίας για καθαρισμένα αστικά στερεά απόβλητα (αριστερά) και «προβληματικό υλικό» που έχει διαχωριστεί από απόβλητα σίτισης (δεξιά)

Υγειονομική επεξεργασία

- Πριν αντληθεί η πρώτη ύλη στο χωνευτή, πρέπει να γίνεται αποστείρωση υπό πίεση ή/και παστερίωση.
- Στόχος είναι η αποφυγή μόλυνσης ολόκληρου του φορτίου της πρώτης ύλης.
- Η υγειονομική επεξεργασία γίνεται συνήθως σε θερμαινόμενες δεξαμενές από ανοξείδωτο χάλυβα, συνδεδεμένες με το σύστημα τροφοδοσίας του χωνευτή.
- Οι χαρακτηριστικές παράμετροι ελέγχου για την υγιεινή είναι:
 - α) η θερμοκρασία,
 - β) ο χρόνος παραμονής (ΕΕΧΠ),
 - γ) η πίεση και
 - δ) ο όγκος.
- SOS: Η θερμοκρασία του υλικού μετά την υγειονομική επεξεργασία είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία της διεργασίας της ΑΧ.

Θραύση

- Η θραύση της πρώτης ύλης προετοιμάζει τις επιφάνειες των σωματιδίων για τη βιολογική διεργασία της αποσύνθεσης και την εν συνεχεία παραγωγή μεθανίου.
- Γενικός κανόνας: *«η διεργασία της αποσύνθεσης είναι γρηγορότερη όταν το μέγεθος των σωματιδίων είναι μικρότερο»*.
- Πάντως, το μέγεθος των σωματιδίων επηρεάζει μόνο το χρόνο της χώνευσης, και δεν αυξάνει απαραίτητα την παραγωγή μεθανίου.
- Η θραύση της πρώτης ύλης συνήθως συνδέεται άμεσα με το σύστημα τροφοδοσίας.
- Και τα δύο συστήματα μπορούν να τροφοδοτηθούν από έναν ηλεκτρικό κινητήρα ή από τον άξονα κίνησης ενός τρακτέρ.

Πολτοποίηση / ομογενοποίηση

- Μπορεί να είναι απαραίτητη η **πολτοποίηση** προκειμένου να ληφθεί πρώτη ύλη με σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε νερό, η οποία μπορεί έπειτα να τροφοδοτηθεί στο χωνευτή μέσω αντλιών.
- Η πολτοποίηση πραγματοποιείται στις δεξαμενές αποθήκευσης ή τους προ-χωνευτές, πριν αντληθεί το υλικό στον κύριο χωνευτή.
- Τα υγρά που χρησιμοποιούνται για την πολτοποίηση είναι συνήθως ακατέργαστη υγρή κοπριά, χωνεμένο υπόλειμμα, νερό διεργασιών ή ακόμα και γλυκό νερό.
- Το πλεονέκτημα της χρήσης του χωνεμένου υπολείμματος για την πολτοποίηση έγκειται στη μείωση της κατανάλωσης γλυκού νερού και στον εμποτισμό του υποστρώματος με μικροοργανισμούς ΑΧ από τον χωνευτή.
- Πρέπει να λαμβάνονται προφυλάξεις εάν χρησιμοποιείται νερό από διεργασίες καθαρισμού, δεδομένου ότι τα απολυμαντικά μπορούν να έχουν αρνητική επίδραση στους μικροοργανισμούς της ΑΧ.
- Πρέπει να αποφεύγεται η χρήση πόσιμου νερού (λόγω κόστους).

- Μετά από την αποθήκευση και την προεπεξεργασία, η πρώτη ύλη της ΑΧ τροφοδοτείται στον χωνευτή.
- Η τεχνική **τροφοδοσίας** εξαρτάται από τον τύπο της πρώτης ύλης και την ικανότητα άντλησής της.
- ✓ Οι **αντλήσιμες πρώτες ύλες** - υδαρείς ζωικές κοπριές και μεγάλος αριθμός υγρών οργανικών αποβλήτων (επιπλέουσα ιλύς, απόβλητα γαλακτοκομίας, ιχθυέλαια, κλπ.) - μεταφέρονται με **αντλίες** από τις δεξαμενές αποθήκευσης στον χωνευτή.
- ✓ Οι **μη αντλήσιμοι τύποι πρώτης ύλης** (ινώδη υλικά, χορτονομή αραβοσίτου, χλόη, στερεή κοπριά με υψηλή περιεκτικότητα σε άχυρο, κλπ.) μπορούν να μεταφερθούν από έναν φορτωτή στο σύστημα τροφοδοσίας και έπειτα να διοχετευθούν στον χωνευτή.
- Από μικροβιολογικής άποψης, η ιδανική κατάσταση για μια σταθερή διεργασία ΑΧ είναι μια συνεχής ροή της πρώτης ύλης στο χωνευτή.
- Στην πράξη, η πρώτη ύλη προστίθεται στο χωνευτή σε αρκετές δόσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας (εξοικονομείται ενέργεια καθώς δεν λειτουργούν συνεχώς τα συστήματα τροφοδοσίας).

- Προσοχή χρειάζεται η **θερμοκρασία της πρώτης ύλης** που τροφοδοτείται στο χωνευτή:
- ✓ Μπορούν να εμφανίζονται μεγάλες διαφορές μεταξύ της θερμοκρασίας της νέας πρώτης ύλης και της θερμοκρασίας λειτουργίας του χωνευτή, 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 μικροβιολογία της διεργασίας, προκαλώντας απώλεια στην παραγωγή αερίου, και πρέπει να αποφεύγονται.

- Δύο κύριοι τύποι αντλιών χρησιμοποιούνται: οι **φυγοκεντρικές αντλίες** και οι **αντλίες μετατόπισης**.
- ✓ Οι φυγοκεντρικές (περιστροφικές) αντλίες είναι συχνά βυθιζόμενες, αλλά μπορούν επίσης να τοποθετούνται δίπλα στο χωνευτή (σε στεγνό χώρο).
 - Χρησιμοποιούν περιστρεφόμενα στροφεία για την αύξηση της ταχύτητας του ρευστού.
- ✓ Οι αντλίες μετατόπισης (αντλίες περιστρεφόμενου εμβόλου ή έκκεντρου κοχλίας) είναι ανθεκτικότερες από τις περιστροφικές, αναρροφούν από μόνες τους, λειτουργούν σε δύο κατευθύνσεις και επιτυγχάνουν σχετικά μεγάλες πιέσεις, με μειωμένη όμως ικανότητα μεταβίβασης.
- Λόγω της χαμηλότερης τιμής τους, οι φυγοκεντρικές αντλίες επιλέγονται συχνότερα από τις αντλίες μετατόπισης.
- Για ειδικές εφαρμογές διατίθενται οι αντλίες κοπής, οι οποίες χρησιμοποιούνται για υλικά με μακριές ίνες (άχυρο, περισσεύματα τροφών, κουρεμένη χλόη).

- Η στοιβάσιμη πρώτη ύλη (χλόη, χορτονομή αραβοσίτου, στερεή κοπριά με υψηλό περιεχόμενο σε άχυρο, φυτικά υπολείμματα κλπ.) κατ' αρχήν μεταφέρεται με φορτωτές ή τρακτέρ από τη μονάδα αποθήκευσης (σιλό) σε ένα σύστημα τροφοδοσίας του χωνευτή.



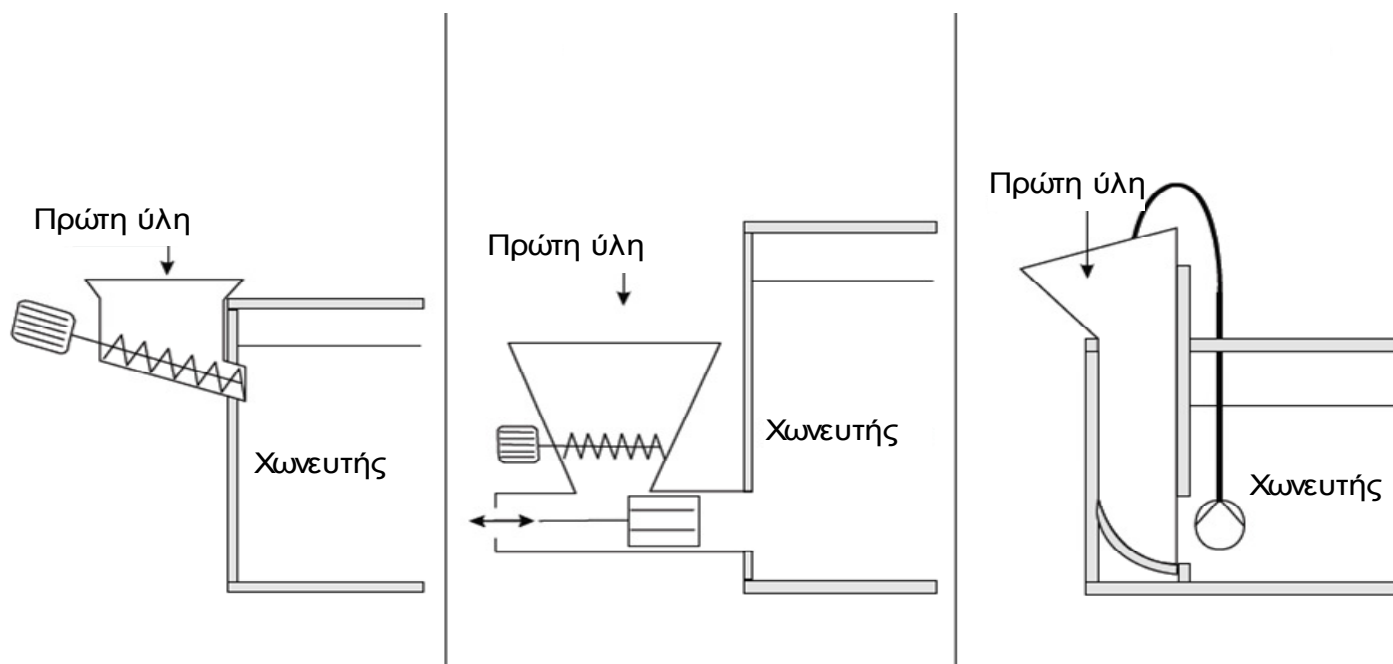
- Γενικά, το **σύστημα τροφοδοσίας** περιλαμβάνει:
 - ✓ ένα κιβώτιο όπου φορτώνεται η στοιβάσιμη πρώτη ύλη, και
 - ✓ ένα σύστημα μεταφοράς, το οποίο την τροφοδοτεί στο χωνευτή.
- Η εισαγωγή της πρώτης ύλης στο χωνευτή πρέπει να γίνεται αεροστεγώς ώστε να μην επιτρέπεται η διαρροή βιοαερίου.
- ✓ Το σύστημα τροφοδοσίας εισάγει την πρώτη ύλη **κάτω** από την επιφάνεια του στρώματος του χωνεμένου υπολείμματος.

Σύστημα τροφοδοσίας - Στοιβάσιμη πρώτη ύλη

ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ ΕΡΓΩΝ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Πικέρμι, 23 Απριλίου 2012

- Συνήθως χρησιμοποιούνται τρία συστήματα:
- ✓ φρεάτια απόπλυσης,
- ✓ έμβολα τροφοδοσίας και
- ✓ μεταφορικοί κοχλίες.



Συστήματα εισαγωγής της πρώτης ύλης μέσα στον χωνευτή: μεταφορικοί κοχλίες, έμβολα τροφοδοσίας και φρεάτια απόπλυσης (FAL 2006)

Έμβολα τροφοδοσίας

- Η πρώτη ύλη εισάγεται άμεσα στο χωνευτή από υδραυλικούς κυλίνδρους, οι οποίοι ωθούν την πρώτη ύλη μέσω ενός ανοίγματος στον τοίχο του χωνευτή (κάτω μέρος).
- Υφίστανται αντίθετα περιστρεφόμενοι κύλινδροι μίξης, οι οποίοι μεταφέρουν τα υλικά στους χαμηλότερους οριζόντιους κυλίνδρους και, συγχρόνως, συνθλίβουν τα υλικά με μακριές ίνες.



Μεταφορικοί κοχλίες

- Το υλικό τροφοδοτείται υπό πίεση κάτω από το επίπεδο του υγρού στο χωνευτή, με τη χρήση σφηνοειδών κοχλίων.
- Τοποθετείται ένα οδοντωτό έλασμα στο χωνευτή ώστε να απατείται μόνο ένας κοχλίας παρεμβολής.



Παρελκόμενα και σωληνώσεις

- Τα παρελκόμενα και οι σωληνώσεις που χρησιμοποιούνται για τα συστήματα παραγωγής βιοαερίου πρέπει να είναι αντιδιαβρωτικά και κατάλληλα για τον χειρισμό υλικών αυτού του είδους (βιοαέριο και βιομάζα).
- Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τις σωληνώσεις εξαρτώνται από το μεταφερόμενο φορτίο και το επίπεδο της πίεσης
- ✓ PVC, HDPE, χάλυβας ή ανοξείδωτος χάλυβας.
- Τα παρελκόμενα, όπως είναι οι ζεύξεις, οι ατμοσύρτες, οι βαλβίδες τύπου πεταλούδας, τα ανοίγματα καθαρισμού και τα μανόμετρα, πρέπει να είναι προσπελάσιμα (για λόγους συντήρησης) και προστατευμένα από τον παγετό.
- Για την ασφαλή λειτουργία των μονάδων βιοαερίου πρέπει να είναι εγγυημένες οι ελάχιστες απαιτήσεις για τις σωληνώσεις και τα παρελκόμενα, όσον αφορά τις ιδιότητες των υλικών τους, τα χαρακτηριστικά ασφάλειας και την στεγανότητά τους.
- Σε μερικές περιπτώσεις είναι απαραίτητη η μόνωση των σωλήνων.

- Ο πυρήνας μιας μονάδας βιοαερίου είναι ο **χωνευτής**: *«αεροστεγής αντιδραστήρας όπου πραγματοποιείται η αποσύνθεση της πρώτης ύλης, απουσία οξυγόνου, και παράγεται το βιοαέριο».*
- Κοινά χαρακτηριστικά των χωνευτών *πέραν της αεροστεγανότητας*: διαθέτουν σύστημα τροφοδοσίας της πρώτης ύλης, και συστήματα εξαγωγής του βιοαερίου και του χωνεμένου υπολείμματος.
- Στις Ευρωπαϊκές κλιματικές συνθήκες οι αναερόβιοι χωνευτές πρέπει να μονώνονται και να θερμαίνονται.
- Υπάρχουν διάφοροι τύποι χωνευτών βιοαερίου:
 - ✓ κατασκευαζόμενοι από σκυρόδεμα, χάλυβα, τούβλο ή πλαστικό,
 - ✓ διαμορφούμενοι ως σιλό, σκάφες, λεκάνες ή λιμνούλες, και
 - ✓ τοποθετούμενοι υπόγεια ή επιφανειακά.
- Η επιλογή του σχεδίου και ο τύπος του χωνευτή καθορίζονται από το περιεχόμενο σε νερό του χωνευόμενου υποστρώματος.
- Από την άποψη της εισαγωγής της πρώτης ύλης, υπάρχουν δύο βασικοί τύποι χωνευτών: **ασυνεχούς** και **συνεχούς** τύπου.

Χωνευτές - Ασυνεχούς τύπου

- Η ιδιαιτερότητα στη λειτουργία των χωνευτών ασυνεχούς τύπου είναι ότι βασίζεται στην πλήρωση με ένα μέρος (παρτίδα) νωπής πρώτης ύλης, το οποίο αφήνεται να χωνευθεί και έπειτα αφαιρείται εντελώς.
- Ένα νέο μέρος (νέα παρτίδα) τροφοδοτείται κατόπιν στο χωνευτή και η διεργασία επαναλαμβάνεται.
- Οι χωνευτές ασυνεχούς τύπου είναι απλοί στην κατασκευή τους και χρησιμοποιούνται συνήθως για **ξηρή χώνευση**.
- Τέτοιοι είναι οι χωνευτές τύπου «γκαράζ», οι οποίοι κατασκευάζονται από σκυρόδεμα και χρησιμοποιούνται για επεξεργασία των διαχωριζόμενων στην πηγή αποβλήτων από τα νοικοκυριά, της κουρεμένης χλόης, της στερεής κοπριάς και των ενεργειακών καλλιεργειών.
- Η ικανότητα επεξεργασίας κυμαίνεται από 2.000 έως 50.000 τόνους/έτος.



Χωνευτές - Ασυνεχούς τύπου

- Ο συνεχής εμβολιασμός της πρώτης ύλης με βακτηριακή βιομάζα γίνεται μέσω της επανακυκλοφορίας του υγρού διήθησης, το οποίο ψεκάζεται επάνω από το υπόστρωμα στο χωνευτή.
- Αντίθετα από την υγρή χώνευση, η ξηρή χώνευση δεν χρειάζεται ανάδευση ή ανάμιξη του υποστρώματος ΑΧ κατά τη διάρκειά της.
- Η θερμοκρασία της διεργασίας και του υγρού διήθησης ρυθμίζεται μέσα στο χωνευτή, από ένα ενσωματωμένο στο δάπεδο σύστημα θέρμανσης και έναν εναλλάκτη θερμότητας, ο οποίος λειτουργεί ως δεξαμενή για το υγρό διήθησης.
- **Πλεονεκτήματα** της σταδιακής χώνευσης έναντι των άλλων συστημάτων: χαμηλότερο κόστος της διεργασίας και του αναγκαίου μηχανολογικού εξοπλισμού.
- **Μειονεκτήματα:** μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας για τη διεργασία και υψηλότερες δαπάνες συντήρησης.
- Μια πολλά υποσχόμενη εναλλακτική λύση για την πλήρως ξηρή ΑΧ είναι η χρήση πλαστικών σάκων (αυτοί που χρησιμοποιούνται και για αποθήκευση) ή σωλήνων από φύλλα αλουμινίου.

Χωνευτές - Συνεχούς τύπου

- Σε ένα χωνευτή συνεχούς τύπου τα υποστρώματα της πρώτης ύλης τροφοδοτούνται στο χωνευτή συνεχώς.
- Το υλικό κινείται μέσα στο χωνευτή είτε μηχανικά είτε υπό την πίεση του νεο-τροφοδοτούμενου υποστρώματος που εξωθεί το χωνευμένο υλικό.
- Αντίθετα από τους χωνευτές ασυνεχούς τύπου, οι συνεχείς χωνευτές παράγουν βιοαέριο χωρίς διακοπή για τη φόρτωση νέας πρώτης ύλης και την εκφόρτωση των χωνευμένων υπολειμμάτων.
- ✓ Η παραγωγή βιοαερίου είναι **σταθερή** και **προβλέψιμη**.
- Υπάρχουν τρία βασικά είδη των συνεχών χωνευτών:
 - ✓ κατακόρυφοι,
 - ✓ οριζόντιοι και
 - ✓ συστήματα πολλαπλών δεξαμενών.

Χωνευτές - Συνεχούς τύπου

- Ανάλογα με τη λύση που επιλέγεται για την ανάδευση του υποστρώματος ΑΧ, οι χωνευτές συνεχούς τύπου ταξινομούνται σε:
 - ✓ χωνευτές πλήρους ανάμιξης και
 - ✓ χωνευτές στρωτής ροής.

Χωνευτές πλήρους ανάμιξης	Χωνευτές στρωτής ροής
Κυκλικοί, κατασκευή μονής δεξαμενής, κατακόρυφοι	Επιμήκεις, οριζόντια δεξαμενή
Πλήρης μίξη	Κατακόρυφης ανάμειξης
Κατάλληλοι για πρώτη ύλη (υγρή κοπριά)	Κατάλληλοι για δύσκολες πρώτες ύλες (στερεή κοπριά)
Τμήματα μη χωνεμένης πρώτης ύλης μπορεί να φθάσουν στην εκροή	Κανονικά καμία σύνδεση μεταξύ εισροής και εκροής-εξασφαλισμένη υγιεινή
Θερμοκρασία διεργασίας 20° - 37° C	Θερμοκρασία διεργασίας 35° - 55° C
Χρόνος παραμονής 30 - 90 ημέρες	Χρόνος παραμονής 15 - 30 ημέρες

- Οι χωνευτές πλήρους ανάμιξης είναι κυρίως κατακόρυφοι και οι χωνευτές στρωτής ροής οριζόντιοι.

Κατακόρυφοι χωνευτές

- Στην πράξη, οι περισσότεροι χωνευτές είναι κατακόρυφοι:
- ✓ κατασκευάζονται επιτόπου,
- ✓ αποτελούνται από στρογγυλές δεξαμενές από χάλυβα ή ενισχυμένο σκυρόδεμα, συχνά με ένα κωνικό πυθμένα για εύκολη ανάδευση και εκκένωση των ιζημάτων άμμου.
- ✓ είναι αεροστεγείς, μονωμένοι, θερμαινόμενοι και εξοπλίζονται με αναδευτήρες ή αντλίες.
- Καλύπτονται από μια οροφή από σκυρόδεμα ή χάλυβα και το παραγόμενο βιοαέριο διοχετεύεται με σωλήνες και αποθηκεύεται σε μια μονάδα εξωτερικής αποθήκευσης, κοντά στο χωνευτή.
- Σε άλλες περιπτώσεις, η οροφή μπορεί να είναι μια αεροστεγής μεμβράνη.
- ✓ Αυτή διογκώνεται από το παραγόμενο βιοαέριο ή μπορεί να είναι στερεωμένη σε έναν κεντρικό ιστό.



Κατακόρυφοι χωνευτές

- Οι χωνευτές που κατασκευάζονται από ενισχυμένο σκυρόδεμα είναι αρκετά αεροστεγείς λόγω του κορεσμού σε νερό του σκυροδέματος από την υγρασία που έχει η πρώτη ύλη και το βιοαέριο.
- Οι δεξαμενές από σκυρόδεμα μπορούν να τοποθετηθούν πλήρως ή μερικώς μέσα στο έδαφος.
- Η λάθος κατασκευή μπορεί να οδηγήσει σε ραγίσματα, διαρροές, διάβρωση και, σε ακραίες περιπτώσεις, στην κατάρρευση του χωνευτή.
- Οι χαλύβδινοι χωνευτές εγκαθίστανται σε μια βάση από σκυρόδεμα και πάντοτε επάνω στο έδαφος.
- Οι χαλύβδινες πλάκες είτε συγκολλούνται είτε συρράβονται μεταξύ τους και οι ραφές πρέπει να στεγανοποιούνται.
- Το πλεονέκτημα των κατακόρυφων χωνευτών είναι ότι μπορούν να μετατραπούν εύκολα σε χωνευτές βιοαερίου (με την προσθήκη μόνωσης και συστήματος θέρμανσης) οι δεξαμενές στερεής κοπριάς που υπάρχουν ήδη στα αγροκτήματα.

Οριζόντιοι χωνευτές

- Αυτός ο τύπος χωνευτή συνήθως κατασκευάζεται και μεταφέρεται στη μονάδα βιοαερίου ως ένα ενιαίο κομμάτι, οπότε υπάρχουν περιορισμοί ως προς το μέγεθος και τον όγκο.
- Ο κλασικός τύπος αφορά μία οριζόντια δεξαμενή από χάλυβα των 50-150 m³, που χρησιμοποιείται ως κύριος χωνευτής για μικρότερες μονάδες βιοαερίου ή ως προ-χωνευτής για μεγαλύτερες εγκαταστάσεις.
- Υπάρχει μια εναλλακτική λύση από σκυρόδεμα, ο χωνευτής τύπου καναλιού, που επιτρέπει μεγαλύτερους όγκους μέχρι και 1.000 m³.
- Οι οριζόντιοι χωνευτές μπορούν επίσης να λειτουργούν παράλληλα, προκειμένου να επιτευχθούν μεγαλύτερες τιμές ρυθμαπόδοσης.
- Η πρώτη ύλη ρέει αργά από την πλευρά εισόδου στην πλευρά εκκένωσης, διαμορφώνοντας μια στρωτή ροή μέσω του χωνευτή.
- ✓ Ελαχιστοποίηση του κινδύνου εκκένωσης μη χωνεμένου υποστρώματος και εξασφάλιση συγκεκριμένου χρόνου παραμονής (15-30 ημερών) για όλο το υπόστρωμα μέσα στο χωνευτή.

Οριζόντιοι χωνευτές

- Οι οριζόντιοι χωνευτές συνεχούς ροής συνήθως χρησιμοποιούνται για πρώτες ύλες όπως είναι η στερεή κοπριά πουλερικών, η χλόη, η χορτονομή αραβοσίτου ή η στερεή κοπριά με υψηλή περιεκτικότητα σε άχυρο.
- Ο χωνευτής είναι εξοπλισμένος με σύστημα θέρμανσης, θόλο αερίου, σωλήνες τροφοδοσίας και αναδευτήρα.
- Η στάθμη πλήρωσης του χωνευτή φθάνει πάντα στο ίδιο ύψος και αλλάζει μέσα στο θόλο αερίου κατά τη διάρκεια της πλήρωσης και της ανάδευσης. Η στάθμη ρυθμίζεται από ένα σιφόνι στην εκροή.
- Οι χωνευτές από χάλυβα και ανοξείδωτο χάλυβα κατασκευάζονται πάντα επάνω στο έδαφος, τοποθετούνται σε μία βάση από σκυρόδεμα και στερεώνονται σε αυτή.



Συστήματα πολλαπλών δεξαμενών

- Οι μεγάλες εγκαταστάσεις συγχώνευσης κλίμακας αγροκτήματος αποτελούνται συνήθως από έναν αριθμό συστημάτων πολλαπλών δεξαμενών.
- Κανονικά χρησιμοποιούνται ως ένα σύστημα συνεχούς ροής.
- Περιλαμβάνουν έναν ή περισσότερους κύριους χωνευτές και μετα-χωνευτές.
- Οι χωνευτές μπορεί να είναι μόνο κατακόρυφοι ή συνδυασμός από κατακόρυφους και οριζόντιους χωνευτές.
- Οι δεξαμενές αποθήκευσης του χωνεμένου υπολείμματος λειτουργούν επίσης ως μετα-χωνευτές και θα πρέπει πάντα να καλύπτονται με αεροστεγή μεμβράνη.

Αφαίρεση των ιζημάτων από το χωνευτή

- Στο εσωτερικό των χωνευτών συνεχούς τύπου μπορεί να συσσωρευτούν ιζήματα βαρέων υλικών, όπως άμμος ή άλλα μη χωνευόμενα υλικά.
- Τα περισσότερα από αυτά τα υλικά μπορούν να αφαιρεθούν κατά τη διάρκεια της προ-αποθήκευσης ή κατά την τροφοδοσία.
- Η **άμμος** προσκολλάται πολύ στενά στις οργανικές ουσίες και είναι δύσκολο να διαχωριστεί πριν από την χώνευση. Απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια της βιολογικής διεργασίας ΑΧ στο χωνευτή:
- ✓ Η συσσώρευση της άμμου μέσα στις δεξαμενές και τους χωνευτές μειώνει τον ενεργό όγκο τους.
- ✓ Η παρουσία άμμου στη ροή της βιομάζας επιβαρύνει σημαντικά τα συστήματα ανάδευσης, τις αντλίες και τους εναλλάκτες θερμότητας, προκαλώντας ρύπανση, αποφράξεις και σημαντική φθορά.
- Η συνεχής αφαίρεση των στρωμάτων ιζήματος από τους χωνευτές μπορεί να γίνει με τη χρήση αυλακίων ή επιδαπέδιου οχετού.

Αφαίρεση των ιζημάτων από το χωνευτή

- Τα στρώματα ιζήματος σκληραίνουν εάν δεν αφαιρούνται ανά τακτά χρονικά διαστήματα και τότε μπορούν να αφαιρεθούν μόνο με χρήση βαρέως εξοπλισμού.
- Τα προβλήματα που προκαλούνται από τα ιζήματα μπορούν να ελαχιστοποιηθούν εάν ληφθούν μερικά βασικά μέτρα:
 - ✓ Τακτική εκκένωση των δεξαμενών προ-αποθήκευσης/αποθήκευσης.
 - ✓ Εγκατάσταση δεξαμενής προ-αποθήκευσης μεγάλης χωρητικότητας.
 - ✓ Επαρκής μέθοδος ανάδευσης.
 - ✓ Σωστή τοποθέτηση των βάσεων των σωλήνων άντλησης, προκειμένου να αποφευχθεί η κυκλοφορία της άμμου.
 - ✓ Αποφυγή των πρώτων υλών με υψηλή περιεκτικότητα σε άμμο.
 - ✓ Χρήση ειδικά αναπτυγμένων μεθόδων εκκένωσης της άμμου από τους χωνευτές.

Μέτρα κατά των στρωμάτων αφρού

- Η δημιουργία στρωμάτων αφρού και υλικών που επιπλέουν εξαρτάται από τους τύπους της παρεχόμενης πρώτης ύλης ή μπορεί να προκληθεί από αστάθεια της διαδικασίας.
- Η παρουσία τους στην επιφάνεια του χωνευτή μπορεί να προκαλέσει την απόφραξη των γραμμών του αερίου.
- ✓ Οι γραμμές του αερίου πρέπει να εγκαθίστανται όσο το δυνατόν πιο ψηλά μέσα στο χωνευτή.
- Οι παγίδες αφρού μπορούν να αποτρέψουν τη διείσδυση του αφρού στους σωλήνες προς τον μετα-χωνευτή ή τις λεκάνες αποθήκευσης.
- Μπορεί να εγκατασταθεί ένας αισθητήρας αφρού στο επάνω μέρος του χωνευτή, για να αρχίσει αυτόματα να ψεκάζει ένα επιβραδυντή αφρού στο χωνευτή, εάν υπάρχει πολύς αφρός στην επιφάνεια της δεξαμενής.
- Επιβραδυντές αφρού πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο σε έκτακτη ανάγκη, δεδομένου ότι συνήθως είναι ενώσεις πυριτικών αλάτων που μπορούν να προκαλέσουν ζημιά στις εγκαταστάσεις ΣΗΘ.

Χωνευτές - Σύστημα θέρμανσης

- **Σταθερή θερμοκρασία** της διεργασίας $\Rightarrow$ Σταθερή λειτουργία της μονάδας και υψηλή παραγωγή βιοαερίου.
- Πρέπει να κρατηθούν όσο το δυνατόν χαμηλότερες οι διακυμάνσεις στη θερμοκρασία, περιλαμβανομένων των χρονικών (λόγω εποχής και καιρικών συνθηκών) και των τοπικών διακυμάνσεων (σε διαφορετικές θέσεις του χωνευτή).
- Οι μεγάλες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας μπορούν να οδηγήσουν σε αστάθεια της διεργασίας της ΑΧ και, ίσως, στη διακοπή της.
- Αιτίες των διακυμάνσεων της θερμοκρασίας:
 - Προσθήκη νέας πρώτης ύλης, με διαφορετική θερμοκρασία από αυτήν της διεργασίας.
 - Σχηματισμός θερμοκρασιακών στρωμάτων ή ζωνών λόγω ανεπαρκούς μόνωσης, λανθασμένης διαστασιολόγησης του συστήματος θέρμανσης ή ανεπαρκούς ανάδευσης.
 - Λάθος τοποθέτηση των θερμαντικών στοιχείων.
 - Ακραίες θερμοκρασίες εξωτερικού περιβάλλοντος.
 - Αποτυχία της δυναμικής αλληλουχίας.

Χωνευτές - Σύστημα θέρμανσης

- Προκειμένου να επιτευχθεί και να διατηρηθεί σταθερή θερμοκρασία διεργασίας οι χωνευτές πρέπει να μονώνονται και να θερμαίνονται από εξωτερικές πηγές θέρμανσης.
- Η συνηθέστερα χρησιμοποιούμενη πηγή είναι η απορριπτόμενη θερμότητα από τη μονάδα ΣΗΘ.
- Η θέρμανση της πρώτη ύλης μπορεί να γίνεται είτε κατά τη φάση της τροφοδοσίας (προθέρμανση) μέσω εναλλακτών θερμότητας, ή μέσα στο χωνευτή, με τη βοήθεια θερμαντικών στοιχείων, καυτού ατμού κλπ.
- Πολλές μονάδες βιοαερίου χρησιμοποιούν ένα συνδυασμό και των δύο μεθόδων.



- Το περιεχόμενο του χωνευτή πρέπει να αναδεύεται αρκετές φορές ημερησίως προκειμένου να αναμιχθεί η νέα πρώτη ύλη με το υπάρχον υπόστρωμα μέσα στο χωνευτή.
- Η ανάδευση αποτρέπει το σχηματισμό κρούστας και ιζημάτων, ενώ διευκολύνει τη μεταφορά των βακτηριδίων (μικροοργανισμών) στα σωματίδια της νέας πρώτης ύλης, την ανοδική ροή των φυσαλίδων αερίου και την ομογενοποίηση της κατανομής της θερμότητας και των θρεπτικών ουσιών.
- Η ελάχιστη δυνατή ανάδευση της βιομάζας μέσα στο χωνευτή γίνεται με **παθητικό τρόπο**.
- ✓ Προκαλείται 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.
- Η παθητική ανάδευση δεν επαρκεί για τη βέλτιστη λειτουργία του χωνευτή, οπότε πρέπει να εφαρμοσθεί **ενεργητική ανάδευση** με χρήση μηχανικού, υδραυλικού ή πνευματικού εξοπλισμού.
- Στο 90% των μονάδων βιοαερίου γίνεται **μηχανική ανάδευση**.

Μηχανική ανάδευση

- Η μηχανική ανάδευση των χωνευτών πραγματοποιείται με τη χρήση αναδευτήρων, οι οποίοι ταξινομούνται ως: *ταχέως περιστρεφόμενοι, μέσης ταχύτητας περιστροφής και αργά περιστρεφόμενοι.*
- Στους κατακόρυφους χωνευτές ως επί το πλείστον χρησιμοποιούνται οι **αναδευτήρες έλικα** με βυθιζόμενο μοτέρ.
- ✓ Οδηγούνται από ηλεκτρικά μοτέρ χωρίς γρανάζια, με υδατοστεγή κουβούκλια και αντιδιαβρωτικά επιχρίσματα, τα οποία ψύχονται από το περιβάλλον ρευστό.
- ✓ Βυθίζονται εντελώς στην πρώτη ύλη και συνήθως έχουν δύο ή τρεις πτερωτές (με γεωμετρικά βελτιστοποιημένες έλικες).
- ✓ Λόγω του συστήματος οδήγησής τους, που αποτελείται από ένα ικρίωμα, ένα βαρούλκο καλωδίων και την οδηγό διάταξη, μπορούν να προσαρμόζονται ως προς το ύψος, την κλίση και ως προς την κατεύθυνση.



Μηχανική ανάδευση

- Οι **αναδευτήρες με πτερύγια** (paddle) έχουν οριζόντιο, κατακόρυφο ή διαγώνιο άξονα.
- ✓ Το μοτέρ τους βρίσκεται εξωτερικά του χωνευτή.



- Άλλη περίπτωση είναι οι **αξονικοί αναδευτήρες**, που συνήθως λειτουργούν συνεχώς.
- ✓ Τοποθετούνται συνήθως σε άξονες που εγκαθίστανται κεντρικά στην οροφή του χωνευτή. Το μοτέρ είναι έξω από το χωνευτή.

Πνευματική ανάδευση

- Η πνευματική ανάδευση χρησιμοποιεί το βιοαέριο που αναβλύζει από τον πυθμένα του χωνευτή μέσω της μάζας της πρώτης ύλης βιομάζας.
- ✓ Οι φυσαλίδες του ανερχόμενου αερίου προκαλούν μια κατακόρυφη μετακίνηση και έτσι αναδεύουν την πρώτη ύλη.
- Το πλεονέκτημα είναι ότι ο απαραίτητος εξοπλισμός (αντλίες και συμπιεστές) τοποθετείται στην εξωτερική πλευρά του χωνευτή, οπότε η φθορά είναι μικρότερη.
- Η τεχνολογία δεν είναι κατάλληλη για την αποδόμηση των επιπλεόντων στρωμάτων και μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για λεπτή υγρή πρώτη ύλη με χαμηλή τάση δημιουργίας επιπλέοντος στρώματος.
- Η πνευματική ανάδευση της πρώτης ύλης ΑΧ δεν χρησιμοποιείται συχνά στις αγροτικές μονάδες βιοαερίου.

Υδραυλική ανάδευση

- Η πρώτη ύλη συμπιέζεται από αντλίες, και οριζόντια ή επιπρόσθετα κατακόρυφα στρεφόμενα ανοίγματα, στο χωνευτή.
- Η αναρρόφηση και η εκκένωση της πρώτης ύλης ΑΧ πρέπει να σχεδιαστούν κατά τέτοιο τρόπο ώστε το περιεχόμενο του χωνευτή να αναδεύεται όσο το δυνατόν περισσότερο.
- Τα συστήματα υδραυλικής ανάδευσης έχουν το πλεονέκτημα ότι τα μηχανικά μέρη των αναδευτήρων είναι τοποθετημένα εξωτερικά του χωνευτή, οπότε υφίστανται λιγότερη φθορά και μπορούν να συντηρηθούν εύκολα.
- Η υδραυλική ανάδευση είναι περιστασιακά μόνο κατάλληλη για την αποδόμηση των επιπλέοντων στρωμάτων και χρησιμοποιείται μόνο για λεπτή υγρή πρώτη ύλη με χαμηλή τάση δημιουργίας επιπλέοντος στρώματος (όπως και η πνευματική ανάδευση).

Αποθήκευση του βιοαερίου

- Μέσα στο χωνευτή, το βιοαέριο σχηματίζεται σε κυμαινόμενες ποσότητες και με αιχμές απόδοσης.
- Η ζήτηση για βιοαέριο, π.χ. σε μια μονάδα ΣΗΘ, μπορεί και αυτή να μεταβάλλεται.
- ✓ Για να αντισταθμιστούν αυτά, είναι απαραίτητο να αποθηκεύεται προσωρινά το παραγόμενο βιοαέριο σε κατάλληλες εγκαταστάσεις αποθήκευσης.
- Η πιο απλή λύση είναι η αποθήκευση του βιοαερίου να γίνεται στο επάνω μέρος των χωνευτών με τη χρήση μιας ειδικής μεμβράνης (χρησιμοποιείται και ως κάλυμμα του χωνευτή).
- Στις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις συνήθως κατασκευάζονται ξεχωριστές δεξαμενές αποθήκευσης του βιοαερίου.
- Οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης πρέπει να είναι αεροστεγείς και ανθεκτικές στην πίεση, και, στην περίπτωση που δεν είναι προστατευμένες μέσα σε κτήρια, πρέπει να είναι ανθεκτικές στη θερμοκρασία, τις καιρικές συνθήκες και την υπεριώδη ακτινοβολία (UV).

Αποθήκευση του βιοαερίου

- Πριν από την εκκίνηση της μονάδας, οι δεξαμενές αποθήκευσης του αερίου πρέπει να ελεγχθούν ως προς τη στεγανότητά τους.
- ✓ Για λόγους ασφάλειας πρέπει να είναι εξοπλισμένες με βαλβίδες ασφαλείας (για υποπίεση και υπερπίεση) ώστε να αποτραπούν οι ζημίες και άλλοι κίνδυνοι.
- ✓ Πρέπει επίσης να είναι εγγυημένη η προστασία από έκρηξη και απαιτείται η ύπαρξη ενός πυρσού έκτακτης ανάγκης.
- Η δεξαμενή πρέπει να έχει την ικανότητα να αποθηκεύει τουλάχιστον το ένα τέταρτο της ημερήσιας παραγωγής βιοαερίου.
- Προτείνεται μία δυναμικότητα αποθήκευσης της παραγωγής διάρκειας μίας ή δύο ημερών.
- Οι εγκαταστάσεις αποθήκευσης του βιοαερίου μπορούν να λειτουργούν σε χαμηλή, μέση ή υψηλή πίεση.

Δεξαμενές χαμηλής πίεσης

- Οι συχνότερα χρησιμοποιούμενες δεξαμενές χαμηλής πίεσης λειτουργούν σε υπερπίεση από 0,05 έως 0,5 mbar και κατασκευάζονται από ειδικές μεμβράνες που πρέπει να πληρούν μια σειρά απαιτήσεων ασφάλειας.
- Οι δεξαμενές μεμβράνης εγκαθίστανται ως εξωτερικοί ταμιευτήρες αερίου ή ως θόλοι / καλύμματα αερίου επάνω από το χωνευτή.
- Οι δεξαμενές χαμηλής πίεσης μπορούν να σχεδιαστούν με τη μορφή μαξιλαριών από μεμβράνη.
- Τα μαξιλάρια από μεμβράνη τοποθετούνται εντός κτηρίων για προστασία από τα καιρικά φαινόμενα.



Αποθήκευση 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 χαρακτηρίζονται από υψηλή κατανάλωση ενέργειας:
- ✓ Για τις δεξαμενές αερίου μέχρι 10 bar πρέπει να υπολογιστούν απαιτήσεις σε ενέργεια έως 0,22 kWh/m³.
- ✓ Για τις δεξαμενές υψηλής πίεσης από 200 έως 300 bar, η ανάγκη σε ενέργεια είναι της τάξης των 0,31 kWh/m³.
- Λόγω του μεγάλου κόστους τους, αυτά τα είδη αποθήκευσης του βιοαερίου χρησιμοποιούνται σπάνια στις αγροτικές μονάδες βιοαερίου.

Πυρσοί βιοαερίου

- Υπάρχουν περιπτώσεις όπου παράγεται περισσότερο βιοαέριο απ' ό,τι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας.
- Αυτό μπορεί να συμβεί λόγω ενός εξαιρετικά υψηλού ρυθμού παραγωγής αερίου ή εξαιτίας της διακοπής λειτουργίας (π.χ. λόγω συντήρησης) του συστήματος ανάκτησης της ενέργειας.
- Τότε είναι απαραίτητη η ύπαρξη εφεδρικών λύσεων, όπως η πρόσθετη αποθήκευση βιοαερίου ή πρόσθετα συστήματα παραγωγής ενέργειας.
- Η αποθήκευση του βιοαερίου για μικρές χρονικές περιόδους είναι δυνατή χωρίς συμπίεση, αλλά για μερικές ώρες γενικά δεν είναι εφικτή, λόγω του μεγάλου όγκου του αερίου.
- Τα «πρόσθετα» συστήματα παραγωγής ενέργειας (ΣΗΘ) κοστίζουν.
- Όταν υπάρχει περίσσεια βιοαερίου που δεν μπορεί να αποθηκευτεί ή χρησιμοποιηθεί, η ανάφλεξη είναι η τελευταία λύση, απαραίτητη για την εξάλειψη οιονδήποτε κινδύνων ασφάλειας και για την προστασία του περιβάλλοντος ⇒ Κάθε μονάδα βιοαερίου είναι εξοπλισμένη με έναν “πυρσό” βιοαερίου.

Πυρσοί βιοαερίου

- Η φλόγα του πυρσού ρυθμίζεται από τα πρότυπα εκπομπών και τα κριτήρια απόδοσης του εκάστοτε χρησιμοποιούμενου πυρσού.
- Δύο παράμετροι διαμορφώνουν τις προδιαγραφές απόδοσης στους σύγχρονους πυρσούς:
 - ✓ η θερμοκρασία (850-1.200°C) και
 - ✓ ο χρόνος παραμονής (το ελάχιστο 0,3 sec).
- Η ασφαλής και αξιόπιστη λειτουργία του πυρσού απαιτεί την ύπαρξη διάφορων συνιστωσών, πέραν του καυστήρα και του θαλάμου, όπως είναι ένας αναστολέας φλόγας, μια βαλβίδα ασφαλείας και σύστημα ανάφλεξης με ενσωματωμένο ανιχνευτή φλόγας.
- Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι πυρσών βιοαερίου: οι **ανοικτοί** και οι **εσώκλειστοι**.



Πυρσοί βιοαερίου

- Οι **ανοικτοί πυρσοί** είναι ουσιαστικά απλοί καυστήρες, με έναν μικρό ανεμοφράκτη για να προστατεύεται η φλόγα.
- Ο έλεγχος του αερίου είναι στοιχειώδης - σε πολλές περιπτώσεις, γίνεται με μια κοινή χειροκίνητη βαλβίδα.
- Το πλούσιο σε αέριο μίγμα, η έλλειψη μόνωσης και η φτωχή ανάμιξη οδηγούν σε ατελή καύση και μια φωτεινή φλόγα, η οποία συχνά είναι εμφανής επάνω από τον ανεμοφράκτη.
- Οι **εσώκλειστοι πυρσοί** συνήθως τοποθετούνται στο έδαφος, σε μόνιμες εγκαταστάσεις που στεγάζουν ένα μόνο καυστήρα ή μια σειρά καυστήρων οι οποίοι εσωκλείονται μέσα σε ένα κυλινδρικό περίβλημα που καλύπτεται από πυρίμαχο υλικό.
- Το περίβλημα αποτρέπει τη διακοπή της καύσης και, κατά συνέπεια, η καύση είναι πιο ομοιόμορφη και οι εκπομπές χαμηλές.
- Ο έλεγχος της διεργασίας είναι σχετικά απλός και περιλαμβάνει τον συνεχή έλεγχο της θερμοκρασίας, των υδρογονανθράκων και του μονοξειδίου του άνθρακα.

Βελτίωση του αερίου

- Όταν το βιοαέριο εξέρχεται από το χωνευτή είναι διαποτισμένο με υδρατμούς και περιέχει, εκτός από μεθάνιο (CH_4) και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), ποσότητες υδρόθειου (H_2S).
- Το υδρόθειο είναι τοξικό, με μία ιδιαίτερη / δυσάρεστη οσμή, και συνδυαζόμενο με τους υδρατμούς στο βιοαέριο δημιουργεί θειικό οξύ.
- Το θειικό οξύ είναι διαβρωτικό και μπορεί να προκαλέσει φθορές στις μηχανές ΣΗΘ, τις σωληνώσεις του αερίου, τις καμινάδες, κλπ.
- Οι κατασκευαστές των μονάδων ΣΗΘ παρέχουν τις απαιτούμενες προδιαγραφές για τις ιδιότητες του αερίου καυσίμου.
- Οι ιδιότητες της καύσης πρέπει να είναι εγγυημένες προκειμένου να αποτραπεί η φθορά των μηχανών. Αυτό ισχύει και για τη χρήση του βιοαερίου.
- Είναι απαραίτητη η **αποθείωση** και η **ξηράνση** του βιοαερίου.

Αποθείωση

- Το ξηρό βιοαέριο από την ΑΧ της ζωικής στερεής κοπριάς έχει ένα μέσο περιεχόμενο σε H_2S 1.000 – 3.000 ppm.
- Όταν το βιοαέριο χρησιμοποιείται σε μηχανές αερίου για ΣΗΘ, το περιεχόμενο σε υδρόθειο πρέπει να είναι κάτω από 700 ppm, προκειμένου να αποφευχθεί η υπερβολική διάβρωση και η ταχύτατη και δαπανηρή φθορά του λιπαντέλαιου.
- Η αφαίρεση του υδρόθειου (H_2S) από το βιοαέριο (αποθείωση) μπορεί να γίνει:
 - ✓ με διάφορες μεθόδους βιολογικές ή χημικές, και
 - ✓ στο εσωτερικό ή εξωτερικά του χωνευτή.

Αποθείωση

- Η **βιολογική αποθείωση** συνήθως λαμβάνει χώρα **μέσα στο χωνευτή** και είναι μία οικονομικά αποδοτική μέθοδος.
- Χρειάζονται οξυγόνο και *οξειδωτικά σουλφοβακτηρίδια*, για τη μετατροπή του υδρόθειου σε στοιχειακό θείο παρουσία οξυγόνου.
- ✓ Τα *οξειδωτικά σουλφοβακτήρια* είναι παρόντα μέσα στο χωνευτή.
- ✓ Το οξυγόνο παρέχεται με έγχυση αέρα στο επάνω μέρος του χωνευτή. Αυτό μπορεί να γίνει με έναν πολύ μικρό συμπιεστή.
- Η βιολογική αποθείωση μπορεί να γίνει **έξω από τον χωνευτή**, σε στήλες αποθείωσης.
- Η αποθείωση μπορεί να γίνει με την προσθήκη μιας χημικής ουσίας (**χημική αποθείωση**) στο μίγμα της πρώτης ύλης, **μέσα στο χωνευτή**. Έτσι, το θείο δεσμεύεται χημικά κατά τη διάρκεια της ΑΧ και δεν χάνεται, αλλά παραμένει στο χωνεμένο υπόλειμμα.
- Η χημική αποθείωση μπορεί να λάβει χώρα **έξω από το χωνευτή**, χρησιμοποιώντας π.χ. μία βάση (συνήθως υδροξείδιο του νατρίου). Για τη μέθοδο αυτή απαιτείται ειδικός εξοπλισμός.

Ξήρανση

- Η σχετική υγρασία του βιοαερίου μέσα στο χωνευτή είναι 100% (το αέριο είναι διαποτισμένο με υδρατμούς).
- Για να προστατευθούν οι μονάδες ΣΗΘ από τη διάβρωση και από ενδεχόμενες βλάβες, πρέπει να αφαιρείται το νερό από το βιοαέριο.
- Ένα μέρος των υδρατμών μπορεί να συμπυκνωθεί με την ψύξη του αερίου. Αυτό γίνεται συχνά στις σωληνώσεις που μεταφέρουν το βιοαέριο από το χωνευτή στη μονάδα ΣΗΘ.
- ✓ Το νερό συμπυκνώνεται στα τοιχώματα των κεκλιμένων σωλήνων και μπορεί να συλλεχθεί σε έναν διαχωριστή συμπυκνώματος, στο χαμηλότερο σημείο της σωλήνωσης.
- ✓ Προϋπόθεση για την αποτελεσματική ψύξη του βιοαερίου στις σωληνώσεις είναι το ικανοποιητικό μήκος τους.
- Εκτός από τους υδρατμούς, η συμπύκνωση αφαιρεί μερικές από τις ανεπιθύμητες ουσίες, όπως υδροδιαλυτά αέρια και αερολύματα.

- Το χωνεμένο υπόλειμμα αντλείται έξω από το χωνευτή και μεταφέρεται μέσω αγωγών στις εγκαταστάσεις αποθήκευσης που βρίσκονται κοντά στον χωνευτή, όπου αποθηκεύεται προσωρινά.
- Όταν το χωνεμένο υπόλειμμα χρησιμοποιείται ως εδαφοβελτιωτικό, μεταφέρεται από τη μονάδα βιοαερίου μέσω σωληνώσεων ή με ειδικά βυτιοφόρα και αποθηκεύεται σε δεξαμενές που βρίσκονται π.χ. στα αγροκτήματα όπου εφαρμόζεται το χωνεμένο υπόλειμμα.
- ✓ Η συνολική χωρητικότητα αυτών των δεξαμενών πρέπει να είναι αρκετή για την αποθήκευση του παραγόμενου χωνεμένου υπολείμματος για αρκετούς μήνες.
- ✓ Σύμφωνα με την υφιστάμενη νομοθεσία σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες, απαιτούνται έξι έως εννέα μήνες αποθηκευτικής ικανότητας για την κοπριά και το χωνεμένο υπόλειμμα, προκειμένου να εξασφαλισθεί η βέλτιστη και αποδοτική χρήση τους ως λιπάσματος και να αποφευχθεί η εφαρμογή τους κατά τη χειμερινή περίοδο.
- Χρησιμοποιούνται δεξαμενές από σκυρόδεμα ή τεχνητές λίμνες, οι οποίες καλύπτονται από φυσικά ή τεχνητά επιπλέοντα στρώματα ή από μεμβράνες.

Κεντρικός έλεγχος

- Η μονάδα βιοαερίου είναι μια σύνθετη μονάδα με αλληλεξαρτήσεις μεταξύ όλων των τμημάτων της.
- Η αυτοματοποιημένη παρακολούθηση και ο κεντρικός έλεγχος αποτελούν ένα σημαντικό τμήμα της λειτουργίας της μονάδας που πρέπει να εγγυάται την επιτυχία της.
- Η *διεργασία ελέγχου* περιλαμβάνει τη συλλογή και ανάλυση χημικών και φυσικών παραμέτρων:
 - ✓ 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 πλήρωσης του χωνευτή ή και των δεξαμενών αερίου.
- Για τη βελτιστοποίηση της διεργασίας της ΑΧ και την αποφυγή της ανάσχεσης ή αστοχίας της παραγωγής βιοαερίου απαιτείται επίσης η διενέργεια συνήθων εργαστηριακών δοκιμών.

Ποσότητα εισροής της πρώτης ύλης

- Η ποσότητα της αντλούμενης πρώτης ύλης που εισάγεται στο χωνευτή μπορεί να καθοριστεί χρησιμοποιώντας κατάλληλα όργανα μέτρησης της ροής που ονομάζονται **ροόμετρα**.
- Για την εισρέουσα στερεή πρώτη ύλη χρησιμοποιείται κατάλληλος εξοπλισμός ζύγισης, ο οποίος επιτρέπει τη ρύθμιση της δόσης των στερεών.

Επίπεδο πλήρωσης του χωνευτή

- Η παρακολούθηση του επιπέδου πλήρωσης στους χωνευτές και τις δεξαμενές αποθήκευσης γίνεται εφαρμόζοντας τεχνικές υπερήχων ή ραντάρ, οι οποίες μετρούν την υδροστατική πίεση στο πάτωμα του χωνευτή ή την απόσταση έως την επιφάνεια του υγρού.

Επίπεδο πλήρωσης των δεξαμενών αερίου

- Η μέτρηση του επιπέδου πλήρωσης των δεξαμενών αερίου είναι σημαντική (π.χ. για τη λειτουργία των εγκαταστάσεων ΣΗΘ) και γίνεται συνήθως με αισθητήρες πίεσης.

Θερμοκρασία της διεργασίας

- Η θερμοκρασία μέσα στο χωνευτή πρέπει να διατηρείται σταθερή και επομένως παρακολουθείται συνεχώς.
- Υπάρχουν διάφορα σημεία μέτρησης στο χωνευτή για τον έλεγχο της θερμοκρασίας ολόκληρης της διεργασίας.
- Οι μετρούμενες τιμές αποστέλλονται σε καταγραφικό δεδομένων μέσω υπολογιστή και μπορούν να απεικονιστούν γραφικά.
- Έτσι γίνεται και ο αυτόματος έλεγχος του κύκλου θέρμανσης.

Τιμή του pH

- Η τιμή του pH παρέχει σημαντικές πληροφορίες για την απόδοση της διεργασίας της ΑΧ.
- Η παρακολούθηση του pH γίνεται σε αντιπροσωπευτικό δείγμα από το περιεχόμενο του χωνευτή, το οποίο λαμβάνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα.
- Το pH μετριέται κατά μη αυτόματο τρόπο, χρησιμοποιώντας τα συνήθη pH-μέτρα που είναι διαθέσιμα στην αγορά.

Προσδιορισμός των λιπαρών οξέων

- Η παρακολούθηση των λιπαρών οξέων διευκολύνει την αξιολόγηση της διεργασίας της ΑΧ.
- Μετριοούνται το φάσμα και η συγκέντρωση των λιπαρών οξέων βραχείας αλυσίδας.
- Είναι δύσκολη η συνεχής μέτρηση επιτόπου λόγω των δύσκολων μεθόδων ανάλυσης.

Ποσότητα του αερίου

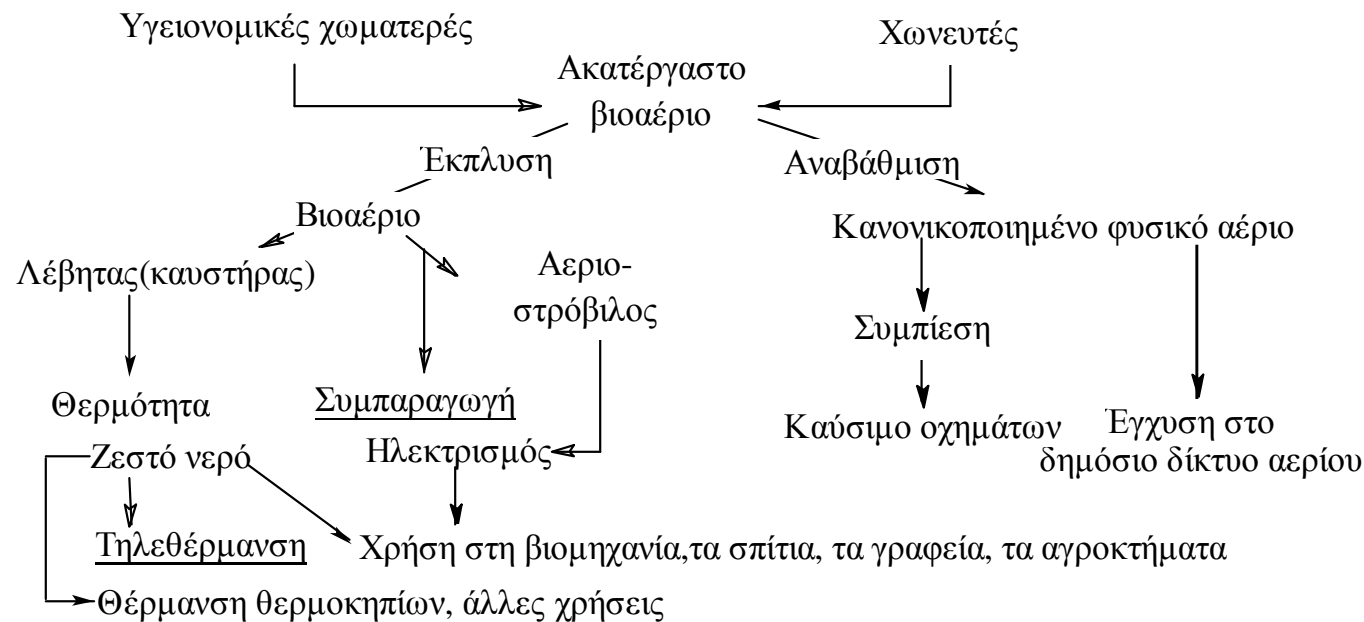
- Οι ανωμαλίες στην παραγωγή του αερίου μπορούν να υποδείξουν διαταραχές στη διεργασία ⇒ Διευκολύνονται οι ρυθμίσεις.
- Χρησιμοποιούνται ροόμετρα που εγκαθίστανται κατευθείαν στις γραμμές αερίου.

Σύνθεση του αερίου

- Αισθητήρες που βασίζονται στη θερμική αλλαγή της σύστασης ενός μετάλλου, τη μεταφορά θερμότητας, την απορρόφηση υπέρυθρης ακτινοβολίας (συγκεντρώσεις μεθανίου και CO₂) ή την ηλεκτροχημική ανίχνευση (περιεκτικότητα σε H₂, O₂ και υδρόθειο).

- Το βιοαέριο έχει πολλές ενεργειακές χρήσεις, ανάλογα με την τοπική ζήτηση για μια συγκεκριμένη μορφή ενέργειας.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμότητας μέσω άμεσης καύσης, παραγωγή ηλεκτρισμού από κυψέλες καυσίμου ή μικροστροβίλους, συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού (ΣΗΘ) ή ως καύσιμο οχημάτων.

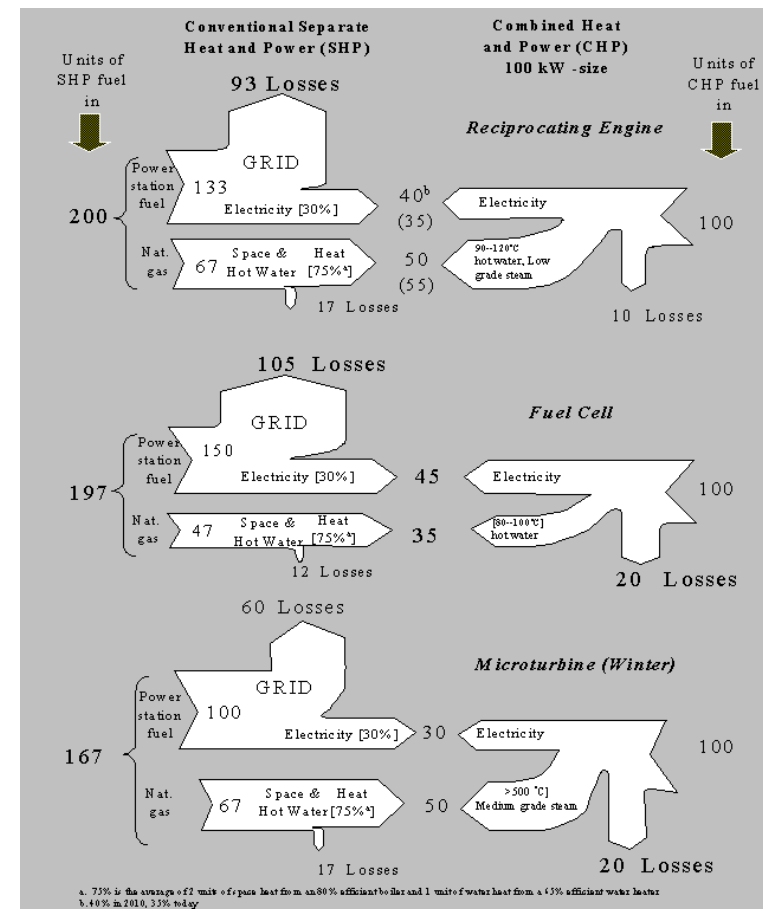
Τελικές χρήσεις βιοαερίου



- Ο απλούστερος τρόπος χρήσης του βιοαερίου είναι η άμεση καύση του σε λέβητες / καυστήρες αερίου.
- Αυτό γίνεται κατά κόρον με το βιοαέριο που παράγεται από μικρούς οικογενειακούς χωνευτές.
- 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, ενώ δεν περιορίζει την χρήση του αερίου το επίπεδο “μόλυνσής” του τόσο όσο στην περίπτωση άλλων εφαρμογών.
- Πάντως, το βιοαέριο πρέπει να υποβληθεί σε συμπύκνωση και αφαίρεση των σωματιδίων, συμπίεση, ψύξη και ξήρανση.



- Η συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ) είναι η τυπική εφαρμογή του βιοαερίου από την ΑΧ σε πολλές χώρες.
- Θεωρείται ως μια πολύ αποδοτική χρήση του βιοαερίου για την παραγωγή ενέργειας.
- Μια μονάδα ΣΗΘ που χρησιμοποιεί μηχανή εσωτερικής καύσης έχει αποδοτικότητα μέχρι 90% και παράγει 35% ηλεκτρική ενέργεια και 65% θερμότητα.
- Πριν από τη μετατροπή της ΣΗΘ, το βιοαέριο πρέπει να έχει αποξηρανθεί.
- Οι περισσότερες μηχανές αερίου έχουν μέγιστα όρια για τα επίπεδα του υδρόθειου, των αλογονικών υδρογονανθράκων και των ενώσεων οργανοπυριτίου στο βιοαέριο.



Συμπαγωγή (ΣΗΘ)

- Η συνηθέστερη εφαρμογή των μονάδων ΣΗΘ είναι οι θερμικές εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής τύπου **συστοιχίας**, με μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ) που συνδέονται με μια γεννήτρια.
- Οι ΜΕΚ μπορεί να είναι τύπου Otto, Ντίζελ ή προέγχυσης.
- ✓ 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.
- Εναλλακτικές τεχνολογίες που είναι ακόμα σε στάδιο ανάπτυξης είναι οι μικροί αεριοστρόβιλοι (μικροστρόβιλοι), οι μηχανές Stirling και οι κυψέλες καυσίμου.
- Η παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια από το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιτόπου στη μονάδα για τον ηλεκτρικό εξοπλισμό, όπως είναι οι αντλίες, τα συστήματα ελέγχου και οι αναδευτήρες.
- Σε πολλές χώρες με υψηλά τιμολόγια αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, όλη η παραχθείσα ηλεκτρική ενέργεια πωλείται στο δίκτυο και η ηλεκτρική ενέργεια της διεργασίας αγοράζεται από το ίδιο το εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο.

Συμπαγωγή (ΣΗΘ)

- Οι τιμές της βιομάζας (π.χ. καλαμπόκι) έχουν αυξηθεί και δεν είναι πλέον αρκετή μόνο η πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας για την επίτευξη οικονομικής βιωσιμότητας μιας μονάδας βιοαερίου.
- Σημαντικό ζήτημα για την ενεργειακή και οικονομική αποδοτικότητα των εγκαταστάσεων του βιοαερίου είναι η **χρήση** της παραχθείσας **θερμότητας**.
- ✓ Ένα μέρος της θερμότητας χρησιμοποιείται συνήθως για τη θέρμανση των χωνευτών (θερμότητα διεργασίας).
- ✓ Περίπου τα 2/3 της παραχθείσας θερμικής ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εξωτερικές χρήσεις.
- ✓ Η θερμότητα της ΣΗΘ μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε βιομηχανικές διεργασίες, σε γεωργο-κτηνοτροφικές δραστηριότητες ή για τη θέρμανση κτηρίων.
- ❖ Ο καταλληλότερος χρήστης της θερμότητας είναι η βιομηχανία, δεδομένου ότι η ζήτηση εκεί είναι σταθερή καθόλη τη διάρκεια του έτους ⇒ Σημαντικό ζήτημα για τις βιομηχανικές εφαρμογές είναι η ποιότητα της θερμότητας (ύψος θερμοκρασίας)!

Συμπαγωγή (ΣΗΘ)

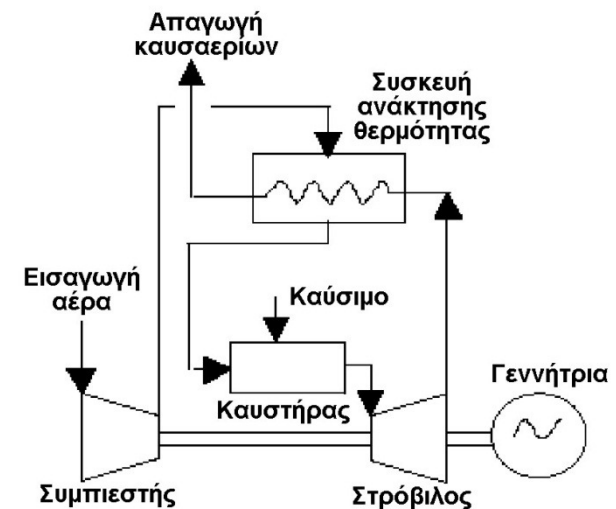
- ❖ Η θερμότητα από βιοαέριο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την ξήρανση προϊόντων, τεμαχίων ξύλου ή για το διαχωρισμό και την περαιτέρω επεξεργασία του χωνεμένου υπολείμματος.
- ❖ Άλλη επιλογή είναι η χρήση της θερμότητας από βιοαέριο για τη θέρμανση κτιρίων και νοικοκυριών (μίνι-δίκτυο ή τηλεθέρμανση), αν και αυτή η εφαρμογή έχει χαμηλή ζήτηση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και πολύ υψηλή κατά τη διάρκεια του χειμώνα.
- Η θερμότητα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμένα συστήματα «ηλεκτρισμού, θερμότητας, δροσισμού».
- ✓ Η ενέργεια εισαγωγής είναι θερμότητα, η οποία μετατρέπεται σε ψύξη μέσω ενός κύκλου απορρόφησης.
- ✓ Μία διεργασία γνωστή από τα ψυγεία τύπου κάμπινγκ που χρησιμοποιείται π.χ. για την ψυχρή αποθήκευση τροφίμων ή τον κλιματισμό χώρων.
- ✓ 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 ψύξης με συμπίεση.

Μηχανές Stirling

- Η μηχανή Stirling είναι «μηχανή εσωτερικής καύσης».
- Τα έμβολα της μηχανής κινούνται λόγω της διαστολής ενός εσώκλειστου αερίου, ως αποτέλεσμα της έγχυσης θερμότητας από μια εξωτερική πηγή ενέργειας.
- Η απαραίτητη θερμότητα μπορεί να παρασχεθεί από διάφορες πηγές, όπως ένας καυστήρας αερίου που λειτουργεί με βιοαέριο.
- Είναι απαραίτητη κάποια τεχνική προσαρμογή τους εάν πρόκειται χρησιμοποιηθούν για το βιοαέριο.
- Λόγω της εξωτερικής καύσης, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί βιοαέριο με χαμηλότερη περιεκτικότητα σε μεθάνιο.
- Η ηλεκτρική αποδοτικότητα κυμαίνεται μεταξύ 24 και 28%.
- Οι θερμοκρασίες των καυσαερίων είναι μεταξύ 250 και 300°C.
- Η δυναμικότητα των μηχανών Stirling είναι μικρότερη από 50 kWel.
- Λόγω της χαμηλής φθοράς των τμημάτων της μηχανής Stirling, οι δαπάνες συντήρησης είναι χαμηλές.

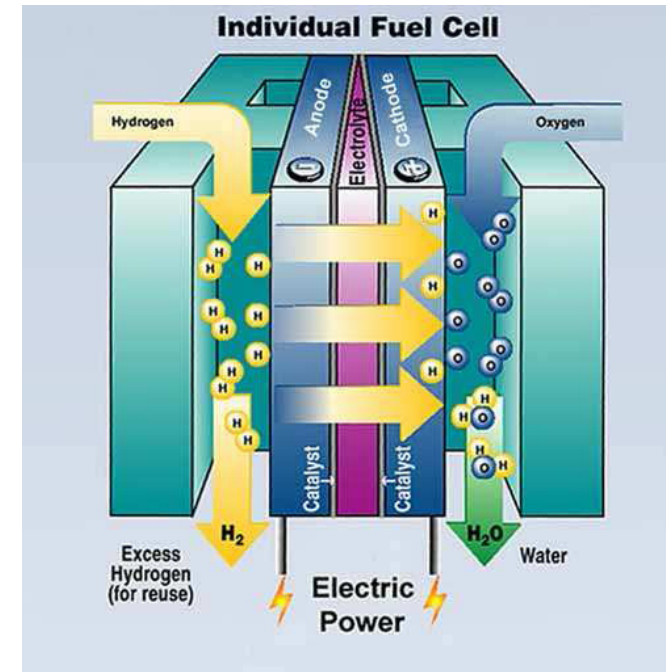
Μικροστρόβιλοι βιοαερίου

- Στους μικροστρόβιλους βιοαερίου, ο αέρας συμπιέζεται 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 καυσαέρια απελευθερώνονται μέσω ενός στροβίλου, ο οποίος συνδέεται με την ηλεκτρογεννήτρια.
- Οι ηλεκτρικές δυναμικότητες των μικροστροβίλων είναι εν γένει κάτω από 200 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.



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.
- Το αέριο καύσιμο (π.χ. βιοαέριο) τροφοδοτείται συνεχώς στο διαμέρισμα της ανόδου (αρνητικό ηλεκτρόδιο) και ένα οξειδωτικό (π.χ. οξυγόνο από τον αέρα) τροφοδοτείται συνεχώς στο διαμέρισμα της καθόδου (θετικό ηλεκτρόδιο).
- Στα ηλεκτρόδια λαμβάνει χώρα μια ηλεκτροχημική αντίδραση που παράγει ηλεκτρικό ρεύμα.



- Το βιοαέριο μπορεί:
 - ✓ να διανεμηθεί μέσω των υπάρχοντων δικτύων φυσικού αερίου και να χρησιμοποιηθεί για τους ίδιους σκοπούς όπως το φυσικό αέριο ή
 - ✓ να συμπιεστεί και να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο οχημάτων.
- Πριν από τη χρησιμοποίησή του για έγχυση στο δίκτυο φυσικού αερίου ή ως καύσιμο οχημάτων, το βιοαέριο πρέπει να υποστεί μία διαδικασία **αναβάθμισης**:
 - ✓ Αφαιρούνται όλοι οι μολυσματικοί παράγοντες και το CO₂.
 - ✓ Ενισχύεται το περιεχόμενό του σε μεθάνιο, από το συνηθισμένο 50-75% σε πάνω από 95%.
- Η αφαίρεση του CO₂ πρέπει να γίνεται προκειμένου να επιτευχθεί ο απαιτούμενος δείκτης Wobbe του αερίου.
- Το αναβαθμισμένο βιοαέριο ονομάζεται **“βιομεθάνιο”**.

- Κατά την αφαίρεση του διοξειδίου του άνθρακα από το βιοαέριο, αφαιρούνται επίσης και μικρές ποσότητες μεθανίου (CH_4).
- Το μεθάνιο είναι ένα αέριο του θερμοκηπίου 23 φορές ισχυρότερο από το CO_2 , (δηλ. ένα μόριο μεθανίου είναι 23 φορές πιο αποδοτικό ως προς τη δέσμευση της θερμότητας από τη γη από ένα μόριο CO_2).
- ❖ Είναι σημαντικό να κρατηθούν σε χαμηλά επίπεδα οι απώλειες μεθανίου, τόσο για οικονομικούς όσο και για περιβαλλοντικούς λόγους.
- Δύο είναι οι συνήθεις μέθοδοι για την αφαίρεση του διοξειδίου του άνθρακα:
 - ✓ η απορρόφηση (καθαρισμός μέσω ύδατος ή οργανικού διαλύτη) και
 - ✓ η προσρόφηση (προσρόφηση με μετάπτωση πίεσης, PSA).
- Άλλες τεχνικές, λιγότερο συνηθισμένες, είναι ο διαχωρισμός μέσω μεμβρανών και ο κρυογενής διαχωρισμός, ενώ μία σχετικά νέα μέθοδος (υπό ανάπτυξη τελευταία) είναι η αναβάθμιση εσωτερικά στη διεργασία.

- Το συνολικό κόστος για τον καθαρισμό και την αναβάθμιση του βιοαερίου προέρχεται:
 - από το κόστος της επένδυσης,
 - από τη λειτουργία της μονάδας και
 - τη συντήρηση του εξοπλισμού.
- Στην περίπτωση των δαπανών επένδυσης, ένας σημαντικός παράγοντας είναι το μέγεθος της μονάδας:

*«Οι συνολικές δαπάνες επένδυσης αυξάνονται με την αύξηση της δυναμικότητας, αλλά το κόστος επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος είναι χαμηλότερο για τις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις σε σχέση με τις μικρές **(οικονομία κλίμακας)**».*
- Στην περίπτωση των λειτουργικών δαπανών, το πιο δαπανηρό μέρος της επεξεργασίας είναι η αφαίρεση του CO₂.

Το βιοαέριο ως καύσιμο οχημάτων

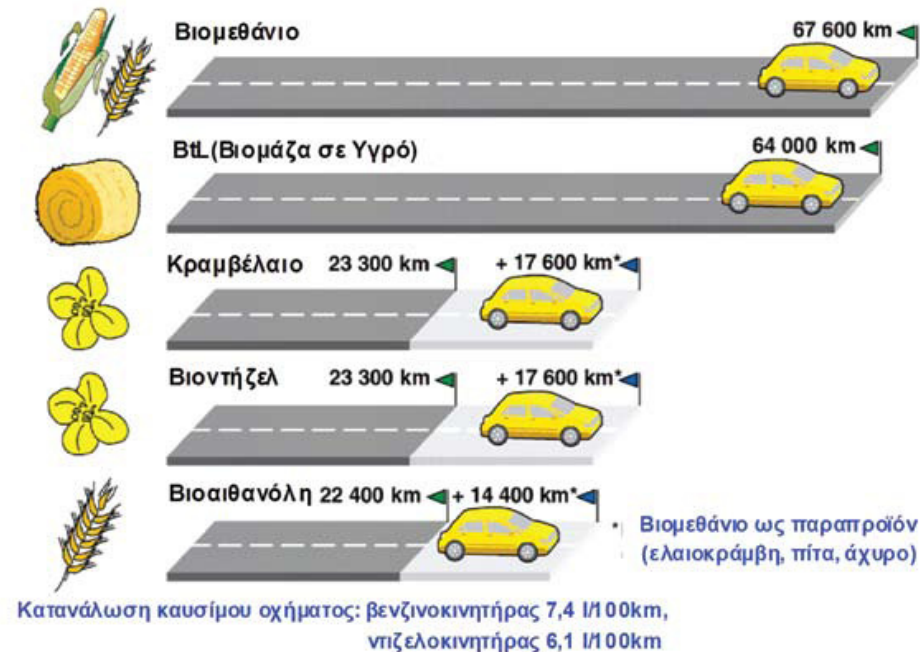
- Η χρήση του βιομεθανίου στον τομέα των μεταφορών είναι μια τεχνολογία με μεγάλο δυναμικό και σημαντικά κοινωνικοοικονομικά οφέλη.
- Το βιοαέριο χρησιμοποιείται ήδη ως καύσιμο οχημάτων σε χώρες όπως η Σουηδία, η Γερμανία και η Ελβετία.
- ✓ Αυξάνεται σημαντικά ο αριθμός των επιβατικών αυτοκινήτων, των οχημάτων δημοσίων μεταφορών, και των φορτηγών που κινούνται με αέριο (π.χ. ένας αυξανόμενος αριθμός Ευρωπαϊκών πόλεων αλλάζουν τα πετρελαιοκίνητα λεωφορεία τους με άλλα που τροφοδοτούνται με βιομεθάνιο).
- Το βιομεθάνιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο με τον ίδιο τρόπο (και στα ίδια οχήματα) όπως το φυσικό αέριο.
- Τα περισσότερα Ι.Χ. οχήματα που κινούνται με αέριο έχουν υποστεί μετατροπή, κατά την οποία τοποθετείται στο χώρο αποσκευών μία δεξαμενή συμπιεσμένου αερίου και το σύστημα ανεφοδιασμού με αέριο (επιπλέον του συστήματος συμβατικού καυσίμου).

Το βιοαέριο ως καύσιμο οχημάτων

- Υπάρχουν και ειδικής κατασκευής οχήματα που βελτιστοποιούνται για καλύτερη απόδοση και πιο βολική τοποθέτηση των φιαλών αερίου, χωρίς απώλειες στο χώρο των αποσκευών.
- Το αέριο αποθηκεύεται σε 200 έως 250 bar, σε δοχεία πίεσης που είναι φτιαγμένα από χάλυβα ή σύνθετα υλικά αλουμινίου.
- Σήμερα, περισσότεροι από 50 κατασκευαστές παγκοσμίως προσφέρουν περίπου 250 μοντέλα ελαφρών και βαρέων οχημάτων μετατρεπόμενων σε καύσιμο αέριο.
- Τα βαρέα οχήματα μπορούν να μετατραπούν ώστε να τροφοδοτούνται μόνο με αέριο μεθάνιο, αλλά σε μερικές περιπτώσεις επίσης χρησιμοποιούνται οι μηχανές διπλού καυσίμου.
- ✓ Μια μηχανή διπλού καυσίμου χρησιμοποιεί ένα σύστημα έγχυσης ντίζελ και το αέριο αναφλέγεται με την έγχυση μιας μικρής ποσότητας πετρελαίου ντίζελ.
- ✓ Αυτές απαιτούν λιγότερη ανάπτυξη του κινητήρα και διατηρούν την ίδια οδηγική ικανότητα με ένα πετρελαιοκίνητο όχημα.

Το βιοαέριο ως καύσιμο οχημάτων

- Το αναβαθμισμένο βιοαέριο (βιομεθάνιο) θεωρείται ότι έχει το υψηλότερο δυναμικό ως καύσιμο οχημάτων, συγκρινόμενο με άλλα βιοκαύσιμα.



Σύγκριση των βιοκαυσίμων μεταφορών σε σχέση με την απόσταση που καλύπτεται από ένα αυτοκίνητο (εμβέλεια) κινούμενο με το αντίστοιχο βιοκαύσιμο, το οποίο παράγεται από πρώτη ύλη βιομάζας προερχόμενης από 1 εκτάριο καλλιεργήσιμης γης.

- ❖ Το δυναμικό του βιομεθανίου είναι ακόμα υψηλότερο εάν ως πρώτη ύλη χρησιμοποιούνται απόβλητα αντί ενεργειακών καλλιεργειών.

Βιομεθάνιο για έγχυση στο δίκτυο

- Το αναβαθμισμένο βιοαέριο (βιομεθάνιο) μπορεί να εγχυθεί και να διανεμηθεί μέσω του δικτύου του φυσικού αερίου, αφού έχει συμπίεστεί στην αντίστοιχη πίεση των αγωγών.
- Σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες, η πρόσβαση στο δίκτυο του αερίου είναι εγγυημένη για όλους τους προμηθευτές βιοαερίου.
- Το πιο σημαντικό πλεονέκτημα χρήσης του δικτύου αερίου για τη διανομή του βιομεθανίου είναι ότι το δίκτυο συνδέει την περιοχή παραγωγής του βιομεθανίου (συνήθως σε αγροτικές περιοχές) με τις πιο πυκνοκατοικημένες περιοχές. Αυτό επιτρέπει στο αέριο να φθάσει στους νέους πελάτες.
- Είναι επίσης δυνατό να αυξηθεί η παραγωγή του βιοαερίου σε μια απομακρυσμένη περιοχή, χωρίς ανησυχίες για τη χρήση της περίσσειας θερμότητας.
- Η έγχυση στο δίκτυο σημαίνει ότι η μονάδα βιοαερίου χρειάζεται μόνο μία μικρή μονάδα ΣΗΘ για την παραγωγή της ενέργειας διεργασίας ή έναν καυστήρα βιοαερίου.

Βιομεθάνιο για έγχυση στο δίκτυο

- Χώρες όπως η Σουηδία, η Ελβετία, η Γερμανία και η Γαλλία διαθέτουν πρότυπα (σύστημα πιστοποίησης) για την έγχυση του βιοαερίου στο δίκτυο του φυσικού αερίου.
- ✓ Τα πρότυπα, που προκαθορίζουν τα όρια για συστατικά όπως το θείο, το οξυγόνο, τα σωματίδια και το σημείο δρόσου του ύδατος, έχουν ως στόχο την αποφυγή της μόλυνσης του δικτύου του αερίου ή των τελικών χρηστών.
- ✓ Τα πρότυπα στις περισσότερες περιπτώσεις είναι εύκολα επιτεύξιμα μέσω των υφιστάμενων διεργασιών αναβάθμισης.
- Τα κύρια εμπόδια για την έγχυση του βιομεθανίου είναι τα υψηλά κόστη της αναβάθμισης και της σύνδεσης στο δίκτυο.
- Η έγχυση στο δίκτυο περιορίζεται από τη θέση των κατάλληλων περιοχών παραγωγής και αναβάθμισης του βιομεθανίου, οι οποίες πρέπει να είναι κοντά στο δίκτυο του φυσικού αερίου.



ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΑΣ

ΚΑΤΕ

www.cres.gr

Χαράλαμπος Μαλαματένιος
malam@cres.gr

