

ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΑΙΧΜΗΣ ΓΙΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΤΟΧΩΝ ΕΡΓΟΥ

Ο στόχος του έργου είναι η παραγωγή ενέργειας και θερμότητας (συμπαραγωγή) από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (βιοαέριο, παραγόμενο στη μονάδα επεξεργασίας λυμάτων της Πάτρας) με πρωτοποριακές τεχνολογίες (κυψελίδες καυσίμου - fuel cells), με τρόπο φιλικό προς το περιβάλλον. Το σύστημα έχει ονομαστική ηλεκτρική ισχύ 20 kWe και θερμική ισχύ 30kW. Είναι η πρώτη εφαρμογή στην Ελλάδα, καινοτόμων τεχνολογιών παραγωγής υδρογόνου και ενέργειας και θέτει τη βάση για την μερική απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και τη βελτίωση του περιβάλλοντος στο μέλλον. Η επιτυχής λειτουργία της πιλοτικής αυτής μονάδας θέτει τις βάσεις για τη μελλοντική επέκταση του ώστε να χρησιμοποιεί όλο το βιοαέριο που παράγεται στη μονάδα που δύναται να παράγει άνω των 150 kW ηλεκτρικής και 200 kW θερμικής ισχύος.

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το **βιοαέριο** είναι μείγμα αερίων που προκύπτει κατά την αναερόβια βακτηριακή αποικοδόμηση οργανικών ουσιών και αποτελεί, ως προϊόν της βιομάζας, ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Το βιοαέριο αποτελείται από μεθάνιο (40-70%), διοξείδιο του άνθρακα (60-30%) και μικρές ποσότητες άλλων αερίων (<5%) όπως υδρόθειο (1000-3000 ppm), αμμωνία (100-800 ppm), υδρατμούς, υδρογόνο, άζωτο, μονοξείδιο του άνθρακα, κ.λ.π. Η σημαντική περιεκτικότητα του βιοαερίου σε μεθάνιο το καθιστά κατάλληλο για χρήση σαν καύσιμο για παραγωγή ενέργειας (ηλεκτρικής και θερμικής). Η θερμιδική αξία του βιοαερίου είναι περίπου 6 kWh/m³.

Οι κυψελίδες καυσίμου (fuel cells) αποτελούν τεχνολογία αιχμής για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Τροφοδοτούνται με υδρογόνο το οποίο οξειδώνεται ηλεκτροχημικά με αέρα. Το μόνο απαέριο της διεργασίας είναι υδρατμοί και διοξείδιο του άνθρακα. Δεν παράγονται επιβλαβείς ενώσεις, όπως οξείδια του αζώτου, οξείδια του θείου, μονοξείδιο του άνθρακα ή πτητικοί υδρογονάνθρακες που

είναι τυπικά παραπροϊόντα των συμβατικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας. Είναι, δηλαδή, μία απόλυτα φιλική προς το περιβάλλον διεργασία που δύναται να χρησιμοποιηθεί σε ευαίσθητες περιοχές και γίνεται εύκολα αποδεκτή από το κοινωνικό σύνολο.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ

Τα βασικά στάδια της διεργασίας είναι τα ακόλουθα:

1. Προεπεξεργασία του βιοαερίου για την απομάκρυνση ανεπιθύμητων προσμίξεων.
2. Καταλυτική αναμόρφωση του βιοαερίου με ατμό για την παραγωγή αερίου ρεύματος πλούσιου σε υδρογόνο.
3. Καθαρισμός του παραπάνω αερίου ρεύματος από CO.
4. Παροχή του πλούσιου σε υδρογόνο, μίγματος σε κυψελίδα καυσίμου για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας.
5. Καταλυτική καύση των απαερίων της κυψελίδας καυσίμου.

Το σύστημα περιλαμβάνει όλους τους απαραίτητους αντιδραστήρες και περιφερειακά συστήματα για τη μέγιστη παραγωγή υδρογόνου και ενέργειας.

Το σύστημα είναι θερμικά ολοκληρωμένο παρέχοντας τη δυνατότητα παραγωγής ικανής ποσότητας θερμικής ενέργειας υπό μορφή ατμού ή ζεστού νερού, ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη. Η παραγόμενη θερμική ενέργεια εκτιμάται στα 30 kW.

ΕΠΙ ΜΕΡΟΥΣ ΣΤΑΔΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Καθαρισμός Βιοαερίου

Το βιοαέριο που προορίζεται για τη μονάδα παραγωγής ενέργειας περνά από φίλτρο ώστε να απομακρυνθούν τυχόν σωματίδια που περιέχει και συμπιέζεται στα 500 mbar περίπου ώστε να αντιμετωπιστεί η πτώση πίεσης στο σύστημα.

Αποθείωση

Το βιοαέριο που παράγεται και αποθηκεύεται κατά τη διεργασία της αναερόβιας χώνευσης περιέχει υδρόθειο σε περιεκτικότητα 1000-3000 ppm. Η απομάκρυνσή του πραγματοποιείται με χρήση ειδικών καταλυτικών υλικών υψηλής ικανότητας απομάκρυνσης θειούχων ενώσεων σε συνδυασμό με χρήση προσροφητικών μέσων ώστε να ελαχιστοποιηθεί η εξαγωγή ενώσεων θείου στο περιβάλλον. Το παραγόμενο αέριο είναι σε μεγάλο βαθμό απαλλαγμένο θειούχες ενώσεις. Οι θειούχες ενώσεις έχουν συγκέντρωση μικρότερη από 20 ppm.

Απομάκρυνση της αμμωνίας

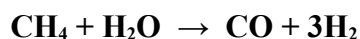
Το βιοαέριο περιέχει επίσης αμμωνία NH₃ σε ποσοστό 100-800 ppm. Η απομάκρυνση της αμμωνίας πραγματοποιείται με χρήση ειδικών προσροφητικών μέσων, όπως ρητίνες ιονο-ανταλλαγής, οι οποίες απομακρύνουν την αμμωνία σε ποσοστό 99% από το εισερχόμενο βιοαέριο. Το παραγόμενο βιοαέριο περιέχει ελάχιστη αμμωνία (NH₃ ≤ 20 ppm)

Καθαρισμός λοιπών προσμίξεων

Για τις υπόλοιπες ενώσεις που ενδέχεται να υπάρχουν στο αρχικό αέριο μίγμα (πχ αλογονούχες ενώσεις, siloxanes) παρεμβάλλεται κατάλληλο φίλτρο (π.χ. ενεργού άνθρακα) ώστε να επιτυγχάνεται μείωση αυτών σε ποσοστά <5 ppm στο παραγόμενο ρεύμα.

Αναμόρφωση βιοαερίου

Ο επεξεργαστής καυσίμου λαμβάνει το βιοαέριο που προκύπτει από τα στάδια καθαρισμού και εξάγει αέριο ρεύμα πλούσιο σε υδρογόνο. Το βασικότερο μέρος του συστήματος παραγωγής είναι ο αντιδραστήρας αναμόρφωσης του βιοαερίου. Το βιοαέριο μαζί με ατμό θα εισάγεται σε ειδικό καταλυτικό αντιδραστήρα όπου γίνεται η μετατροπή του βιοαερίου σε μίγμα CO και H₂ σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 750°C κατά την αντίδραση



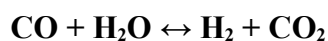
Χρησιμοποιείται τεχνολογία καταλυτικών αντιδραστήρων που μεγιστοποιεί την απόδοση της αντίδρασης ενώ η θερμότητα που απαιτείται για την ολοκλήρωσή της δεν προέρχεται από συνήθη καύση με χρήση φλόγας ($T > 1400^{\circ}\text{C}$, αυξημένο κόστος και επικινδυνότητα) αλλά από καταλυτική καύση ($T < 1000^{\circ}\text{C}$, ασφαλής λειτουργία). Το όλο σύστημα είναι κατασκευασμένο από ανοξείδωτο χάλυβα υψηλής ποιότητας ενώ σε σημεία αυξημένης θερμοκρασίας χρησιμοποιούνται ειδικά πυρίμαχα κράματα για διασφάλιση της σωστής, ασφαλούς και απρόσκοπτης λειτουργίας.

Το σύστημα τροφοδοσίας των αντιδρώντων περιλαμβάνει: ηλεκτροβαλβίδες ακριβείας για την παροχή του βιοαερίου, αντλίες ακριβείας για την παροχή του νερού στα διάφορα στάδια της διεργασίας, βαλβίδες αντεπιστροφής στα απαραίτητα σημεία του συστήματος, μετρητές πίεσης και θερμοκρασίας καθώς επίσης και διατάξεις εναλλαγής θερμότητας για τη θερμική ολοκλήρωση των διαφόρων σταδίων της διεργασίας.

Απομάκρυνση του CO

Αντιδραστήρες μετατόπισης του CO με ατμό (WGS)

Από τις αντιδράσεις αναμόρφωσης παράγεται CO. Το CO είναι ανεπιθύμητο γιατί παρεμποδίζει ή δηλητηριάζει τους καταλύτες ευγενών μετάλλων που χρησιμοποιούνται σε ορισμένους τύπους κυψελίδων καυσίμου. Η συγκέντρωσή του μειώνεται με την αντίδραση μετατόπισης με ατμό (WGS):

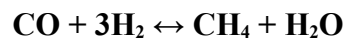


Επιπλέον υδρογόνο παράγεται από το νερό. Η αντίδραση WGS είναι αρκετά γρήγορη στις υψηλές θερμοκρασίες και πετυχαίνει μεγάλες μετατροπές αλλά δεν ευνοείται από την θερμοδυναμική ισορροπία η οποία απαιτεί χαμηλότερες θερμοκρασίες. Για το λόγο αυτό γίνεται σε δύο αντιδραστήρες. Ο πρώτος αντιδραστήρας λειτουργεί σε θερμοκρασίες $350\text{-}400^{\circ}\text{C}$ ώστε η αντίδραση να προχωρήσει με γοργούς ρυθμούς. Ο δεύτερος αντιδραστήρας λειτουργεί σε θερμοκρασίες $220\text{-}280^{\circ}\text{C}$ ώστε η αντίδραση να ευνοηθεί από τις μεγαλύτερες μετατροπές που επιτρέπει η θερμοδυναμική σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Το αποτέλεσμα των δύο αντιδράσεων είναι ένα αέριο

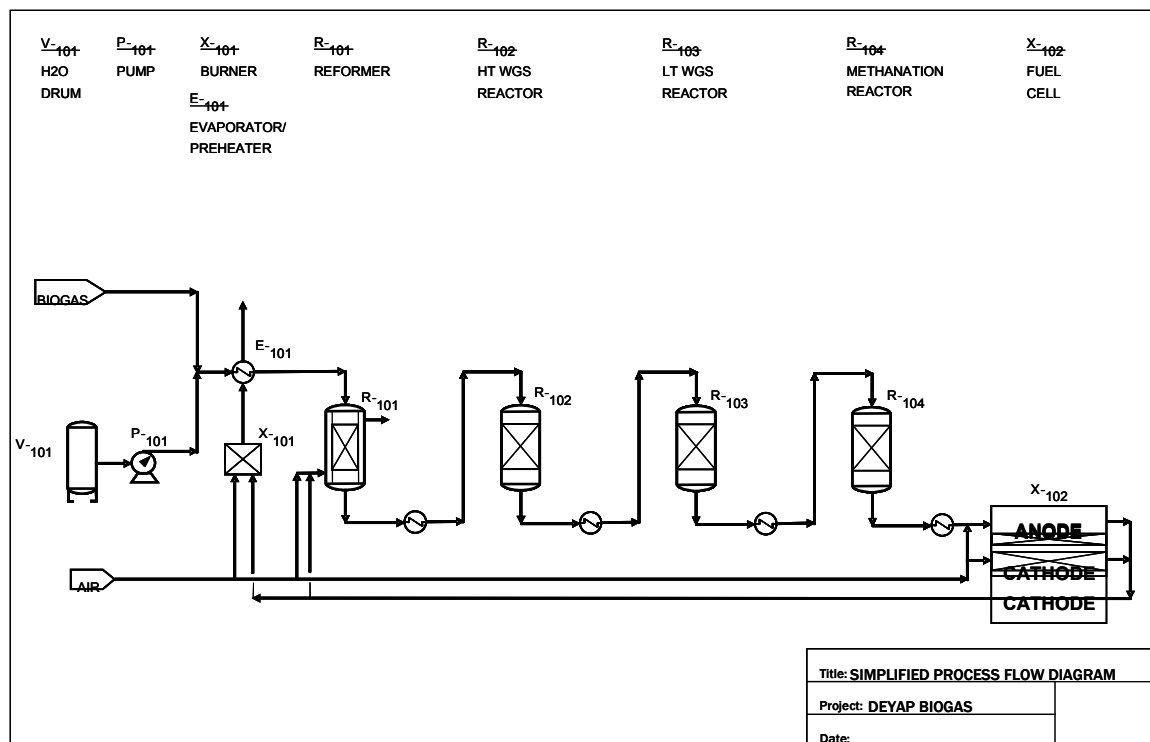
ρεύμα που περιέχει κυρίως υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα με τη συγκέντρωση του μονοξειδίου του άνθρακα να έχει μειωθεί **κάτω του 1%**.

Αντιδραστήρες μεθανιοποίησης του CO (Methanation reactor)

Για την ελαχιστοποίηση του CO περιλαμβάνεται αντιδραστήρας μετατροπής του CO σε μεθάνιο με χρήση ενός κατάλληλου καταλύτη και σε χαμηλή θερμοκρασία (150-220°C) ώστε να περιορίζεται η συγκέντρωσή του κάτω από τα 50ppm.



Το τελικό προϊόν είναι ένα μίγμα υδρογόνου και διοξειδίου του άνθρακα με ελάχιστο μονοξείδιο του άνθρακα που μπορεί να τροφοδοτήσει οποιαδήποτε κυψέλη καυσίμου.



ΣΧΗΜΑ 1

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας γίνεται μέσω στοιχείου καυσίμου κατάλληλου να διαχειριστεί το προϊόν της μονάδας παραγωγής υδρογόνου. Έχει

ονομαστική ισχύ 20 kWe ενώ είναι αναγκαίο να μπορεί να λειτουργήσει σε σημαντικά μικρότερες δυναμικότητες (turn-down ratio) μέχρι το 50% της ονομαστικής. Το στοιχείο καυσίμου συνοδεύεται από πλήρη ηλεκτρικό πίνακα για την μετατροπή του παραγόμενου συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο τριφασικό (380 VAC, 50 Hz) και τα κατάλληλα πεδία για σύνδεση με καταναλωτές (αντλίες) των χωνευτών. Το πλεόνασμα του αερίου ρεύματος που δεν μετατρέπεται στην κυψέλη καυσίμου οδηγείται στον καυστήρα που είναι ενσωματωμένος στον αντιδραστήρα αναμόρφωσης όπου καίγεται παρέχοντας θερμότητα που απαιτείται για τις αντιδράσεις αναμόρφωσης.

Μετρήσεις - Έλεγχος της μονάδας.

Η μονάδα περιλαμβάνει όλα τα ηλεκτρονικά όργανα για την παρακολούθηση των μεγεθών που είναι απαραίτητα για την ασφαλή λειτουργία. Όλα τα όργανα είναι αντικρηκτικού τύπου με τις κατάλληλες φραγές στον ηλεκτρικό πίνακα σύνδεσης.

Οι μετρήσεις ποιότητας που δεν γίνονται ηλεκτρονικά, γίνονται με κατάλληλες δειγματοληψίες εργαστηριακά.

Η λειτουργίες της μονάδας ελέγχονται αυτόματα από PLC SIMATIC S7 ώστε να είναι συμβατό με το υπόλοιπο σύστημα της εγκατάστασης και περιλαμβάνει όλα τα υλικά και λογισμικό που είναι απαραίτητα για την πλήρη λειτουργία και διασύνδεση με το υπόλοιπο δίκτυο.

Η εποπτεία της μονάδας και η καταγραφή όλων των μεταβλητών που επιτηρούνται γίνεται στο υφιστάμενο σύστημα SCADA της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων.

Ασφάλεια

Έχουν ληφθεί όλα τα απαραίτητα μέτρα για την ασφαλή λειτουργία της μονάδας σε επίπεδο υλικών, ελέγχου υλικών, σχεδιασμού, επιτήρησης και λειτουργία. Θα υποβληθεί πλήρης έκθεση εκτίμηση κινδύνου και αντιμετώπισης αστοχιών με πλήρη εξασφάλιση του προσωπικού.

Τεχνικές Προδιαγραφές Συστήματος

Μέση Παραγόμενη Ηλ. Ισχύς	15 kW
Μέγιστη Παραγόμενη Ηλ. Ισχύς	20 kW
Ονομαστική ισχύς Στοιχείου Καυσίμου	20 kW _e

Προδιαγραφές βιοαερίου μετά τον καθαρισμό

Κατανάλωση Βιοαερίου	190-250 Nm ³ /d
Πίεση παροχής βιοαερίου	0,5 barg
Συνολικό θείο	< 20 ppm
Αμμωνία	< 20 ppm
Αλογονούχες ενώσεις	< 5 ppm
Βαρείς υδρογονάνθρακες (>C3)	< 2%
Σωματίδια	μηδενικά

Προδιαγραφές ρεύματος εισόδου στο Στοιχείο Καυσίμου

H ₂ (κύριο προϊόν)	> 50%
CO (κύριο παραπροϊόν, σταθερή λειτουργία)	< 50 ppm
CO (κύριο παραπροϊόν, μεταβατική λειτουργία)	< 200 ppm
Μεθάνιο	< 8%
Υδρογονάνθρακες	< 0,5%
CO ₂	υπόλοιπο

Το έργο κατασκευάστηκε από την εταιρία **Morphic Helbio S.A.** [www.helbio.com] ενώ ο αυτοματισμός της μονάδας υλοποιήθηκε από την εταιρία **AKATT A.E.** [www.akatt.gr], ελληνικές εταιρίες, στελεχωμένες με έλληνες μηχανικούς.

Το έργο, προϋπολογισμού 450.000 €, χρηματοδοτήθηκε από τη Δ.Ε.Υ.Α. Πάτρας κατά 50% και το ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ «ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ» του Υπουργείου Ανάπτυξης κατά 50%, με διοίκηση του χρηματοδοτικού πακέτου από την ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΗ ΕΥΡΩΠΑΪΚΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ - ΗΠΕΙΡΟΥ-ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ.