



ΔΙΕΘΝΕΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

Μ.Π.Σ. - Εφαρμοσμένα Συστήματα Αυτοματοποίησης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Αξιοποίηση ζυμώσιμης βιομάζας για την παραγωγή βιοαιθανόλης
και σχεδιασμός βιώσιμης modular μονάδας
αποθήκευσης ενέργειας υγρού καυσίμου.**

Μεταπτυχιακός φοιτητής: Κουμπάκης Δημήτριος –Αριστοτέλης

A.M. : miem2021007

Επιβλέπων καθηγητής: Τζιουρτζιούμης Δημήτριος

Θεσσαλονίκη – Οκτώβριος 2023

Περίληψη

Η σύγχρονη πραγματικότητα στον τομέα της ενέργειας αντιμετωπίζει πολλές περίπλοκες προκλήσεις και μεταβολές. Καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να εξελίσσεται, οι πόροι, οι γεωπολιτικές στρατηγικές, το χρηματιστήριο ενέργειας, η τεχνητή νοημοσύνη και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν εισέλθει στο επίκεντρο της παραγωγής, αποθήκευσης και διαχείρισης της ενέργειας. Σε αυτό το πλαίσιο, ο πληθυσμός της Γης συνεχίζει να αυξάνεται, με ταυτόχρονη αύξηση των ενεργειακών αναγκών. Επομένως, είναι αναγκαίο να εκσυγχρονιστούν οι ενεργειακές τεχνολογίες βασιζόμενες στους υπάρχοντες τρόπους.

Είναι σημαντικό να γίνει κατανοητό ότι σε αυτόν τον αγώνα για την ενέργεια, δεν υπάρχει μία συγκεκριμένη τεχνολογία που μπορεί να επιλύσει το πρόβλημα. Αντίθετα, υπάρχουν πολλές διαφορετικές τεχνολογίες που μπορούν να εφαρμοστούν ανάλογα με τις συνθήκες και τις ανάγκες.

Οι ενεργειακές κρίσεις και οι έντονες και γρήγορες αλλαγές στον τομέα της ενέργειας αποτελούν την επιρροή για τη διεξαγωγή αυτής της διπλωματικής εργασίας. Στο πλαίσιο αυτό, ερευνώνται τρόποι και μέσα για την παραγωγή ενέργειας και τη διαχείρισή της μέσω του καυσίμου της βιοαιθανόλης. Παράλληλα, είναι σημαντικό ο αναγνώστης να συνειδητοποιήσει τις δυνατότητες που διαθέτει η Ελλάδα σε φυσικούς πόρους που δεν συνδέονται με τις συμβατικές πηγές ορυκτών καυσίμων.

Η εργασία εισάγει τον αναγνώστη πρακτικά στις έννοιες του "waste to energy" και του "zero waste". Εξετάζεται η modular σχεδίαση για τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών ή παράλληλη αξιοποίηση τριών τουλάχιστον ειδών βιομηχανιών: της ηλεκτρικής ενέργειας, των υγρών καυσίμων και των τροφίμων με το γνώμονα της κυκλικής οικονομίας και της αειφορίας της παραγωγής, με στόχο τη μείωση του κόστους, την προσέλκυση επενδύσεων, την ενίσχυση της ενεργειακής αυτονομίας της χώρας και την "υγεία" του πλανήτη.

Αυτή η εργασία αντιπροσωπεύει μια σημαντική προσπάθεια για την αντιμετώπιση των προκλήσεων του σύγχρονου ενεργειακού τοπίου με επιστημονική προσέγγιση και κατανόηση της σύνθετης δυναμικής που επηρεάζει την ενέργεια και το περιβάλλον.

Ευχαριστίες

Στον καθηγητή Τζιουρτζιούμη Δημήτριο για
την έμπνευση και την πολύτιμη βοήθειά του.
Ευχαριστίες θα πρέπει να εκφράσω και στους γονείς μου
που μου παρείχαν τη στήριξη για τη
διεξαγωγή της διπλωματικής μου εργασίας.

Περιεχόμενα

Περίληψη	3
Ευχαριστίες	4
1.1 Εισαγωγή	6
1.2 Παρουσίαση υπάρχοντος προβλήματος.....	7
1.3 Στόχοι μελέτης.....	9
2.1 Ανάλυση κατηγοριών βιομάζας	10
2.2 Συσχέτιση με ανθρώπινες συνήθειες	13
2.3 Υφιστάμενοι μέθοδοι διαχείρισης βιομάζας	14
2.4 Προοπτικές αξιοποίησης.....	16
2.5 Ενεργειακά φυτά.....	17
2.6 Ζυμώσιμη βιομάζα.....	21
2.7 Παγκόσμια επισκόπηση ζυμώσιμων καλλιεργειών	24
3.1 Ορισμός βιοαιθανόλης.....	25
3.2 Υπάρχουσες διατάξεις και τεχνολογίες.....	30
3.3 Διαδικασία παραγωγής.....	33
3.4 Διάφορες χρήσεις.....	38
3.5 Προοπτικές αξιοποίησης σε ΜΕΚ.....	40
3.6 Οικονομικό όφελος	42
3.7 Σύγκριση με τυπικά καύσιμα	43
Βιβλιογραφία.....	46
4.1 Case study.....	47
4.2 Διαστασιολόγηση και υπολογισμοί μελέτης	50
4.3 Σχεδιασμός παραγωγικής διαδικασίας.....	55
4.4 Αυτοματοποίηση της διαδικασίας	60
4.5 Συμπεράσματα	68
4.6 Προτάσεις.....	69
DIY Πειραματισμοί	70

1.1 Εισαγωγή

Η βιομάζα είναι αναγνωρισμένη ευρέως ως η παραδοσιακότερη μορφή ανανεώσιμης πηγής ενέργειας. Βέβαια η διαθέσιμη της μορφή δεν είναι πάντα βολική για χρήση στους μηχανολογικούς εξοπλισμούς. Ένα υλικό που ενσωματώνει χαρακτηριστικά που απαιτούν οι μηχανολογικοί εξοπλισμοί κατανάλωσης ενέργειας είναι η βιοαιθανόλη η οποία είναι είναι αιθανόλη προερχόμενη από βιομάζα.

Η βιοαιθανόλη έχει δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί σε κινητήρες εσωτερικής καύσης ως υποκατάστατο της βενζίνης μειώνοντας σημαντικά την εξάρτηση από τα αντίστοιχα ορυκτά καύσιμα. Με τις ιδιότητες της καθαρότερης καύσης και τον ουδέτερο χαρακτήρα ως αφορά τον κύκλο άνθρακα, η βιοαιθανόλη προσφέρει τη δυνατότητα να μειωθούν σημαντικά οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου συμβάλει στον μετριασμό της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής. Αυτή η εργασία σκοπεύει να εμβαθύνει στη χρήση της ζυμώσιμης βιομάζας για την παραγωγή βιοαιθανόλης και να διερευνήσει το σχεδιασμό μιας βιώσιμης μονάδας αποθήκευσης ενέργειας σε μορφή υγρού καυσίμου, βιοαιθανόλης.

Η βιομάζα, ως ανανεώσιμος πόρος υπάρχει σε αφθονία σχεδόν παντού στον κόσμο και γι' αυτό διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη βιώσιμη παραγωγή βιοενέργειας είτε ως πρωτογενής βιομάζα από καλλιέργειες, ή δευτερογενής, από παραπροϊόντα της. Ένα ευρύ φάσμα βιομάζας, όπως τα γεωργικά υπολείμματα, οι ενεργειακές καλλιέργειες και τα οργανικά απόβλητα, μπορεί να είναι κατάλληλα για παραγωγή βιοαιθανόλης μέσω της διαδικασίας της ζύμωσης. Η ζύμωση, ως βιολογική διαδικασία, μετατρέπει τους υδατάνθρακες που υπάρχουν στη βιομάζα σε βιοαιθανόλη. Αυτή η διαδικασία, που συχνά μεσολαβείται από ζυμομύκητες ή βακτήρια, είναι ένα σημαντικό συστατικό της παραγωγής βιοαιθανόλης δεύτερης γενιάς, η οποία χρησιμοποιεί κυρίως μη τροφικές πηγές βιομάζας.

Ωστόσο, υπάρχουν πολλές προκλήσεις στην αποτελεσματική αξιοποίηση της ζυμώσιμης βιομάζας για την παραγωγή βιοαιθανόλης. Παράγοντες όπως η μειωμένη δυνατότητα εύρεσης κατάλληλης βιομάζας ή η ανυπαρξία της, η αναποτελεσματική ενζυματική υδρόλυση, οι αναστολές ζύμωσης και η βελτιστοποίηση μικροβιακών στελεχών είναι όλα βασικά στοιχεία για την απόδοση της βιοαιθανόλης και τις οικονομικές τις διαδικασίες. Επιπλέον, η βιωσιμότητα της παραγωγής της εξαρτάται από το καθαρό ενεργειακό ισοζύγιο, το υδάτινο αποτύπωμα και την επίδραση στην επισιτιστική ασφάλεια και τη βιοποικιλότητα.

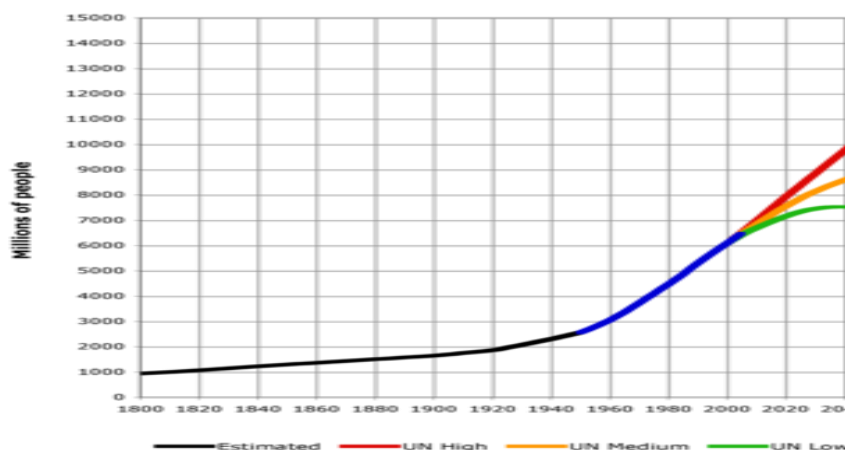
Αντιμετωπίζοντας αυτά τα ζητήματα, προτείνεται μέσω αυτής της εργασίας ο σχεδιασμός μιας βιώσιμης μονάδας αποθήκευσης ενέργειας σε μορφή υγρού καυσίμου βιοαιθανόλης. Αυτή η μονάδα στοχεύει στη βελτιστοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας ενσωματώνοντας προηγμένες τεχνολογίες και αρχές σχεδιασμού, λαμβάνοντας υπόψη την ανάλυση όλης της τεχνολογίας της παραγωγής βιοαιθανόλης από βιομάζα. Στόχος είναι να σχεδιαστεί μια μονάδα που να μεγιστοποιεί την ενεργειακή απόδοση, να ελαχιστοποιεί τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και να προάγει την οικονομική βιωσιμότητα.

Στις επόμενες ενότητες, θα περιγραφούν λεπτομερώς οι αρχές της αξιοποίησης της ζυμώσιμης βιομάζας, οι βασικές εκτιμήσεις στην παραγωγή βιοαιθανόλης και ο εννοιολογικός σχεδιασμός και λειτουργία μιας μονάδας βιώσιμης μονάδας υγρού καυσίμου. Τέλος, η μελέτη αυτή σκοπεύει να συμβάλει στην ανάπτυξη τεχνολογιών παραγωγής βιοαιθανόλης που μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στη μετάβασή προς ένα μέλλον αειφορικής και ανανεώσιμης ενέργειας.

1.2 Παρουσίαση υπάρχοντος προβλήματος

Τα προβλήματα που προσεγγίζονται σε αυτή την εργασία είναι συνδυαστικά, ενεργειακά και περιβαλλοντικά, εξετάζοντας τις δυνατότητες παραγωγής καυσίμων ως υποκατάστατα στην ακριβή και πιθανών προσεχώς σε έλλειψη βενζίνη που χρησιμοποιείται στα οχήματα, από προϊόντα που προέρχονται από βιομάζες απορριπτόμενες ως απόβλητα στο περιβάλλον. Η βενζίνη που χρησιμοποιείται ως καύσιμο στα αυτοκίνητα αποτελεί παράγωγο του αργού πετρελαίου μετά από την κλασματική απόσταξη του. Αυτή, όπως και άλλα καύσιμα θεωρούνται υπεύθυνα σε μεγάλο βαθμό για την ρύπανση του αστικού περιβάλλοντος, ενώ η αύξηση της ήδη υψηλής τιμής τους επηρεάζει το σύνολο της οικονομίας της Ελλάδας, της Ευρωπαϊκής Ένωσης και μεγάλο μέρος των χωρών του πλανήτη. Ο βαθμός αξιοποίησης της βενζίνης, δηλαδή η μετατροπής της αποθηκευμένης στην βενζίνη ενέργειας σε μηχανικό έργο με τους κινητήρες τύπου Όττο είναι κατά μέγιστο 28%. Αυτό σημαίνει ότι το υπόλοιπο 72% της ενέργειας της βενζίνης απορρίπτεται στο περιβάλλον. Το στοιχείο αυτό δείχνει την αναγκαιότητα εύρεσης και άλλων πηγών ενέργειας εκτός από το πετρέλαιο.

Η ιδέα για την αναζήτηση της επόμενης πηγής ενέργειας στα χωράφια δεν είναι καινοτόμα. Για χιλιάδες χρόνια τα χωράφια παρήγαγαν την τροφή, δηλαδή την ενέργεια, για τα ζωντανά (άλογα, γαϊδούρια, μουλάρια, βόδια κλπ) που χρησιμοποιούσε ο άνθρωπος στις βαριές ενεργοβόρες εργασίες και μεταφορές του. Η στροφή προς τα ορυκτά καύσιμα απελευθέρωσε εδάφη για την καλλιέργεια φυτών για την τροφή του ανθρώπινου πληθυσμού. Άρα η ιδέα για την παραγωγή ενέργειας για την τροφοδοσία των θερμικών κινητήρων από φυτική παραγωγή είναι κοινωνικά αποδεκτή και ήδη χρησιμοποιείται (π.χ. Βραζιλία). Η τιμή που λαμβάνουν οι αγρότες για τα προϊόντα τους που προορίζονται για την παραγωγή αυτής της ενέργειας είναι ικανοποιητική και έτσι μεγάλες επιφάνειες αγροτικής γης στρέφονται στην παραγωγή ενεργειακών φυτών, για βιομηχανική παραγωγή καυσίμων, αντί για την παραγωγή τροφής για ανθρώπους και ζώα. Αυτή η τάση των αγροτών παρουσιάζει μείωση της παραγωγής φυτικής τροφής για τον ανθρώπινο πληθυσμό και την αντίστοιχη αύξηση των τιμών της σε παγκόσμια κλίμακα και αυτό σε εποχή που ο πλανήτης έχει φτάσει τον πληθυσμό του στα 8 δισεκατομμύρια κατοίκους. (Srivastava & Mishra, 2022)



Εικόνα 1 Ο παγκόσμιος πληθυσμός από το 1800 έως το 2100, βασισμένος σε στοιχεία και προβλέψεις του 2004 από τον ΟΗΕ (μπλε και κόκκινο-πορτοκαλί-πράσινο αντίστοιχα), Στις 15 Νοεμβρίου 2022 ήδη ξεπέρασε τα 8 δισεκατομμύρια, σύμφωνα με τις επίσημες εκτιμήσεις του ΟΗΕ.

Υπάρχει συνεπώς ανάγκη να αντικατασταθούν τα ενεργειακά φυτά που καλλιεργούνται μόνο για την παραγωγή καυσίμου με βρώσιμα υποκατάστατα τους τα οποία επίσης έχουν τη δυνατότητα να αποφέρουν ενεργειακά υποπροϊόντα. Η Ευρωπαϊκή Ένωση πρόσφατα (το 2023) έλαβε απόφαση για παράταση της παραγωγής των θερμικών κινητήρων των αυτοκινήτων έως το 2035 ενώ ύστερα θα μπορούν να κυκλοφορούν μόνο με την προϋπόθεση ότι θα καταναλώνουν συνθετικά καύσιμα και όχι ορυκτής προέλευσης. Αυτή η απόφαση κάνει την εύρεση υποκατάστατων βενζίνης πιο επιτακτική. Η παγκόσμια ενεργειακή κρίση αντιπροσωπεύει ένα από τα πιο φλέγοντα ζητήματα της εποχής. Καθώς ο παγκόσμιος πληθυσμός προβλέπεται να φτάσει σχεδόν τα 10 δισεκατομμύρια έως το 2050, η ζήτηση για ενέργεια αυξάνεται σε εκθετικό ρυθμό. Αυτή η αυξανόμενη ζήτηση, σε συνδυασμό με τη μείωση των γνωστών αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων και τις δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις που συνδέονται με τη χρήση τους, υπογραμμίζει την επείγουσα ανάγκη για εναλλακτικές, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Τα ορυκτά καύσιμα, τα οποία περιλαμβάνουν άνθρακα, πετρέλαιο και φυσικό αέριο, ήταν η κύρια πηγή ενέργειας τους τελευταίους αιώνες της ανθρώπινης ιστορίας. Ωστόσο, αυτοί οι πόροι είναι πεπερασμένοι και η εξόρυξη και η καύση τους συμβάλλουν σημαντικά στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος και εν μέρει και στην κλιματική αλλαγή. Επιπλέον, τα γεωπολιτικά ζητήματα που αφορούν τους πόρους ορυκτών καυσίμων οδηγούν συνήθως σε αστάθεια των τιμών, διαταραχές του εφοδιασμού, προσθέτοντας άλλον ένα παράγοντα πολυπλοκότητας στην ενεργειακή κρίση αλλά και αιτίες πολεμικών συγκρούσεων.

Η βιοαιθανόλη που προέρχεται από τη ζυμώσιμη βιομάζα, προσφέρει μια πιθανή λύση σε αυτά τα προβλήματα. Ως ανανεώσιμη, βιώσιμη μορφή ενέργειας, η βιοαιθανόλη μπορεί να παραχθεί από μεγάλη ποικιλία βιομάζας, πολλές από τις οποίες θεωρούνται απόβλητα. Αυτά περιλαμβάνουν γεωργικά υπολείμματα όπως άχυρο και φλοιούς, υπολείμματα δασοκομίας όπως ροκανίδια και φλοιό ξύλου, ακόμη και οργανικά οικιακά απορρίμματα. Η χρήση αυτών των απορριμμάτων όχι μόνο συμβάλλει στη διαχείριση και τη μείωση των αποβλήτων, αλλά επίσης αποτρέπει τον ανταγωνισμό με τις καλλιέργειες τροφίμων, μια κριτική που ασκείται συχνά στα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς που προέρχονται από καλλιέργειες τροφίμων όπως το καλαμπόκι και το ζαχαροκάλαμο. Χρησιμοποιώντας μη εδώδιμη βιομάζα για την παραγωγή βιοαιθανόλης, μπορεί να επιτευχθεί μια βιώσιμη ισορροπία μεταξύ της επισιτιστικής ασφάλειας και της παραγωγής ενέργειας.

Οι δυνατότητες της ζυμώσιμης βιομάζας ως ανανεώσιμης πηγής ενέργειας είναι τεράστιες. Ωστόσο, για να αξιοποιηθεί αποτελεσματικά αυτό το δυναμικό, απαιτείται σημαντική πρόοδος στην τεχνολογία παραγωγής βιοαιθανόλης. Οι παρούσες διεργασίες παραγωγής συχνά διέπουν από αναποτελεσματικότητα στα στάδια της προεπεξεργασίας βιομάζας, ενζυματικής υδρόλυσης και ζύμωσης. Η υπέρβαση αυτών των προκλήσεων και η βελτίωση της συνολικής αποτελεσματικότητας και των οικονομικών διαδικασιών είναι ζωτικής σημασίας για την αξιοποίηση της βιομάζας.

Η ανάπτυξη μιας βιώσιμης μονάδας υγρού καυσίμου, όπως προτείνεται σε αυτή την εργασία, θα έδινε τη δυνατότητα αντιμετώπισης αυτών των ζητημάτων. Μία μονάδα που θα ενσωματώνει τεχνολογίες αιχμής για τη βελτιστοποίηση κάθε σταδίου της διαδικασίας παραγωγής βιοαιθανόλης, από την προεπεξεργασία της βιομάζας και την ενζυματική υδρόλυση έως τη ζύμωση και την απόσταξη της. Με αυτόν τον τρόπο, θα μπορούσε να ενισχύσει σημαντικά τη σκοπιμότητα και τη βιωσιμότητα της βιοαιθανόλης ως εναλλακτικής λύσης στα ορυκτά καύσιμα, ανοίγοντας το δρόμο για ένα καθαρότερο, πιο βιώσιμο ενεργειακό μέλλον.

1.3 Στόχοι μελέτης

Κεντρικός στόχος αυτής της μελέτης είναι η διερεύνηση της βιωσιμότητας της βιοαιθανόλης, που παράγεται με παραδοσιακές μεθόδους ζύμωσης, ως μια σύγχρονη ενεργειακή λύση για την παραγωγή θερμικής, ηλεκτρικής και κινητικής ενέργειας. Όσο η ανθρωπότητα αντιμετωπίζει τις αυξανόμενες προκλήσεις της παγκόσμιας ενεργειακής κρίσης και της κλιματικής αλλαγής, καθίσταται επιτακτική ανάγκη να εξετάζονται εναλλακτικές πηγές ενέργειας που μπορούν να συμβάλουν σε ένα βιώσιμο ενεργειακό μέλλον. Η βιοαιθανόλη, ένα ανανεώσιμο και καθαρότερο καύσιμο, προσφέρει σημαντικές δυνατότητες από αυτή την άποψη. Αυτή η έρευνα θα συνεπάγεται μια ολοκληρωμένη εξέταση της συμβατότητας της βιοαιθανόλης με σύγχρονους κινητήρες και συστήματα παραγωγής ενέργειας.

Ένας άλλος βασικός στόχος αυτής της έρευνας είναι η σύγκριση βιοαιθανόλης και βενζίνης, ενός συμβατικού ορυκτού καυσίμου, όσο αφορά την απόδοση, τα πρότυπα και το κόστος παραγωγής. Η ανάλυση απόδοσης θα εξετάσει την παραγωγή ενέργειας ανά μονάδα εισροής τόσο για βιοαιθανόλη όσο και για βενζίνη, καθώς αυτός είναι ένας κρίσιμος παράγοντας για την αξιολόγηση της πρακτικότητας οποιασδήποτε πηγής καυσίμου. Η σύγκριση προτύπων θα λάβει υπόψη διάφορους περιβαλλοντικούς κανονισμούς και κανονισμούς ασφάλειας που διέπουν τη χρήση αυτών των καυσίμων, καθώς και τις εκπομπές που παράγονται.

Η ανάλυση κόστους δεν θα επικεντρωθεί μόνο στο άμεσο οικονομικό κόστος της παραγωγής βιοαιθανόλης και βενζίνης, αλλά θα εξετάσει επίσης το έμμεσο και εξωτερικό κόστος, όπως η υποβάθμιση του περιβάλλοντος και οι επιπτώσεις στην υγεία. Αυτή η ολοκληρωμένη ανάλυση κόστους είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση του πραγματικού κόστους κάθε καυσίμου και θα παρέχει μια σαφέστερη εικόνα της αντίστοιχης οικονομικής σκοπιμότητας.

Ο τελικός και ίσως πιο καινοτόμος στόχος αυτής της μελέτης είναι να εξετάσει τις δυνατότητες για έναν αρθρωτό σχεδιασμό μιας μονάδας παραγωγής βιοαιθανόλης. Το Modularity, η αρχή σχεδιασμού όπου ένα σύστημα χωρίζεται σε μικρότερα μέρη ή μονάδες που μπορούν να λειτουργήσουν ανεξάρτητα αλλά μπορούν επίσης να ενσωματωθούν για να λειτουργήσουν ως σύνολο, μπορεί να προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα. Μπορεί να βελτιώσει την επεκτασιμότητα, την προσαρμοστικότητα και τη συντήρηση, τα οποία μπορούν να συμβάλουν στη βιωσιμότητα και την οικονομική αιεφορία της διαδικασίας παραγωγής.

Μια modular μονάδα παραγωγής βιοαιθανόλης θα μπορούσε να επιτρέψει την προσαρμογή της παραγωγής με βάση τις τοπικές συνθήκες, όπως η διαθεσιμότητα και ο τύπος της πρώτης ύλης βιομάζας, και θα μπορούσε επίσης να επιτρέψει την ευκολότερη επέκταση ή προσαρμογή καθώς σημειώνονται οι τεχνολογικές εξελίξεις. Αυτή η έννοια εξακολουθεί να είναι σχετικά ανεξερεύνητη στον τομέα της παραγωγής βιοαιθανόλης και αυτή η μελέτη στοχεύει να ρίξει φως στα πιθανά οφέλη και τις προκλήσεις της.

Συνοπτικά, αυτή η μελέτη θα διερευνήσει τις δυνατότητες της βιοαιθανόλης ως βιώσιμης και σύγχρονης ενεργειακής λύσης, θα παράσχει μια ολοκληρωμένη σύγκριση βιοαιθανόλης και βενζίνης και θα διερευνήσει τη νέα ιδέα μιας modular μονάδας παραγωγής βιοαιθανόλης. Μέσω αυτών των στόχων, η μελέτη ελπίζει να συμβάλει σημαντικά στην κατανόηση του ρόλου της βιοαιθανόλης στο μέλλον της παραγωγής ενέργειας.

2.1 Ανάλυση κατηγοριών βιομάζας

Η βιομάζα, ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, προέρχεται από ζωντανή ή πρόσφατα ζωντανή οργανική ύλη που μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας ως καύσιμο ή να μετατραπεί σε άλλες μορφές ύλης με σκοπό να αξιοποιηθεί σε κατάλληλους εξοπλισμούς για την παραγωγή θερμικής, μηχανικής και ηλεκτρική μορφή ενέργειας. Είναι ένας πόρος, με πολλαπλούς τύπους που ποικίλλουν ως προς τις φυσικές και χημικές τους ιδιότητες, τη διαθεσιμότητα και τις πιθανές εφαρμογές για την παραγωγή ενέργειας. Ένα από τα κοινά χαρακτηριστικά της βιομάζας όμως είναι η μεγάλη διασπορά της στην γη σε πολλές περιοχές και η εύκολη πρόσβαση της. Οι βασικές κατηγορίες βιομάζας περιλαμβάνουν:

Γεωργικά υπολείμματα: Αποτελούνται από υποπροϊόντα γεωργικών δραστηριοτήτων, συμπεριλαμβανομένων των υπολειμμάτων καλλιεργειών όπως κοτσάνια, άχυρο, φλοιοί και φύλλα. Είναι άφθονα, ιδιαίτερα σε περιοχές με εκτεταμένες γεωργικές δραστηριότητες, και μπορούν να αποτελέσουν μια οικονομική και φιλική προς το περιβάλλον πρώτη ύλη βιομάζας για την παραγωγή βιοενέργειας. Απαιτείται προσεκτική διαχείριση αυτής της βιομάζας για να διασφαλιστεί ότι η απομάκρυνση των γεωργικών υπολειμμάτων με την συμβατική τους διαχείριση, την υφιστάμενη, δεν θα επηρεάζει αρνητικά την υγεία και τη γονιμότητα του εδάφους. (Srivastava & Mishra, 2022)

Υπολείμματα δασοκομίας: Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει υπολείμματα υλοτόμησης (κλαδιά, κορυφές φλοιάς, μη εμπορεύσιμη ξυλεία), τα υπολείμματα των δασών από τις διαδικασίες αραίωση, κλάδεμα και πρόληψη πυρκαγιών. Η χρήση των δασικών υπολειμμάτων για την παραγωγή ενέργειας μπορεί να προσφέρει μια εναλλακτική διέξοδο για αυτά τα απόβλητα υλικά, αν και πρέπει να διατηρηθούν βιώσιμες δασικές πρακτικές για την προστασία της βιοποικιλότητας και της υγείας των δασών.

Υπολείμματα από βιομηχανίες επεξεργασίας ξύλου: Σε αυτήν την κατηγορία υπάγονται τα υποπροϊόντα των πριστηρίων, όπως είναι τα πριονίδια, και τα αποκόμματα από τους κορμούς των ξύλων που επεξεργάζεται η βιομηχανία που προορίζονται για πέταμα ή για κάψιμο, τα υποπροϊόντα βιομηχανιών κατασκευής επιφανειών LDF και MDF, βιομηχανιών επίπλων και άλλων.

Ενεργειακές καλλιέργειες: Πρόκειται για καλλιέργειες στις οποίες δραστηριοποιούνται οι αγρότες ειδικά για ενεργειακούς σκοπούς, όπως ο μίσχανθος, το switchgrass (είδος κεχριού) και οι πρεμνοφυτείες βραχείας αναγέννησης (π.χ. ιτιά, λεύκα). Οι ενεργειακές καλλιέργειες μπορούν να παρέχουν υψηλές αποδόσεις βιομάζας ανά μονάδα γης και συχνά μπορούν να καλλιεργηθούν σε οριακές εκτάσεις ακατάλληλες για καλλιέργειες τροφίμων. Επιβάλλεται στη σύγχρονη εποχή να λαμβάνονται υπόψη ζητήματα όπως η διαθεσιμότητα της γης, οι πιθανές επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα και ο ανταγωνισμός με τις καλλιέργειες τροφίμων.

Δημοτικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ): Αποτελούνται από αντικείμενα καθημερινής χρήσης που απορρίπτονται από τους πολίτες και τα νοικοκυριά του αστικού ιστού, όπως ξύλινες συσκευασίες (τελάρα), υπολείμματα τροφίμων, αποκόμματα χαρτιού, έπιπλα, τα κλαδέματα των δέντρων στους δρόμους των πόλεων, τα χρησιμοποιημένα χριστουγεννιάτικα δέντρα μετά την απόρριψη τους, τα απορρίμματα φυτικής προέλευσης των λαϊκών αγορών και των κεντρικών λαχαναγορών των μεγάλων πόλεων. Εδώ η πρόληψη, η ανακύκλωση και γενικά η αξιοποίηση αυτών των αποβλήτων μπορεί να αποτελεί προτεραιότητα για τις δημοτικές αρχές, όμως υπάρχει και η δυνατότητα

ανάκτησης της αποθηκευμένης σε αυτά ενέργειας από μη ανακυκλώσιμα κλάσματα αποβλήτων μέσω μεθόδων όπως η αναερόβια χώνευση, η καύση και η αποτέφρωση. Η συμβατική για την εποχή διαχείριση των **Αστικών Στερεών Αποβλήτων** σε χωματερές δεν είναι η βέλτιστη ούτε η φθηνότερη για τους δήμους οι οποίοι διαπιστώνουν ότι το κόστος διαχείρισης των Α.Σ.Α. συνέχεια αυξάνεται. (Μάνου, 2020) Έτσι προσανατολίζονται προς την άντληση του ενεργειακού περιεχομένου από τα Α.Σ.Α. με διάφορους τρόπους κατάλληλους για το αντίστοιχο είδος.

Ζωική κοπριά και άλλα γεωργικά απόβλητα: Αυτά τα υποπροϊόντα μπορεί να χρησιμοποιούνται ενεργειακά ως πρώτη ύλη τροφοδοτώντας αντιδραστήρες που λειτουργούν με τη μέθοδο της αναερόβιας χώνευσης, παράγοντας βιοαέριο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας ή να αναβαθμιστεί σε βιομεθάνιο για έγχυση στο δίκτυο αερίου ή χρήση ως καύσιμο σε κινητήρες αερίου. Η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης βασίζεται στην φυσική ιδιότητα της απορριπτόμενης αυτής βιομάζας να αποσυντίθεται και κάθε αποσύνθεση βιολογικής προέλευσης βιομάζας να καταλήγει σε μεθάνιο (CH_4), σε συνθήκες χωρίς οξυγόνο (O_2) δηλαδή άνευ αέρα, αναερόβιες. Σε αυτές δεν επιτρέπεται στο υδρογόνο (H_2) έρθει σε χημική αντίδραση με το οξυγόνο (O_2). Έτσι με την αναερόβια χώνευση επιτυγχάνεται η μετατροπή αυτής της απορριπτόμενης βιομάζας σε πρώτη ύλη για παραγωγή ενέργειας.

Βιομηχανικά απόβλητα και παραπροϊόντα: Πολλές βιομηχανίες παράγουν πλήθος οργανικών αποβλήτων που μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας. Τα παραδείγματα τέτοιων βιομηχανιών περιλαμβάνουν πολύ από τη βιομηχανία χαρτιού, υπολείμματα από τη βιομηχανία τροφίμων και ποτών (πυρήνες ελιάς, ροδάκινων, βερίκοκων, σταφυλιών κλπ), υπολείμματα εκκοκκιστηρίων, όπως και τα χρησιμοποιημένα δημητριακά από τις ζυθοποιείες. Τα υλικά αυτά έχουν σημαντικό ενεργειακό περιεχόμενο αφού αποτελούνται από διάφορες ενώσεις υδρογονανθράκων. Η αρνητική τους αξία για άλλη χρήση εκτός της ενεργειακής τους αξιοποίησης τα κάνει και οικονομικά ελκυστικά, εκτός του γεγονότος ότι με την αξιοποίησή τους επιλύεται και ένα σεβαστό περιβαλλοντικό πρόβλημα για τη διάθεση τους στο περιβάλλον.

Φύκια: Τα μικροφύκη και τα μακροφύκη είναι δυνητικές ενεργειακές καλλιέργειες που μπορούν να καλλιεργηθούν σε γλυκό ή θαλασσινό νερό, με αποτέλεσμα να μην ανταγωνίζονται για τους πόρους της γης. Έχουν υψηλές δυνατότητες απόδοσης και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή μιας σειράς βιοκαυσίμων. Παρόλα αυτά οι τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί τον τελευταίο καιρό χρειάζονται περισσότερη έρευνα για την ανάπτυξή και την εμπορική βιωσιμότητά τους. (Βασιλική, 2017)

Κάθε τύπος βιομάζας από τους παραπάνω έχει μοναδικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την καταλληλότητά του για διαφορετικές ενεργειακές εφαρμογές. Η σύνθεση της βιομάζας, συμπεριλαμβανομένης της περιεκτικότητάς της σε κυτταρίνη, ημικυτταρίνη, λιγνίνη και υγρασία, μπορεί να επηρεάσει σημαντικά το ενεργειακό της περιεχόμενο και την αποτελεσματικότητα της όσο αφορά την μετατροπή της σε βιοκαύσιμα ή άλλες μορφές ενέργειας. Επιπλέον, η γεωγραφική κατανομή αυτών των πόρων είναι άνιση, επηρεασμένη από παράγοντες όπως το κλίμα, τη διαθεσιμότητα της γης, τη μορφολογία του εδάφους όπως και τις τοπικές οικονομικές δραστηριότητες. Ως εκ τούτου, η επιλογή της πρώτης ύλης βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας συχνά χρειάζεται να λαμβάνει υπόψη τις τοπικές συνθήκες και πόρους.

Η βιωσιμότητα της χρήσης αυτών των τύπων βιομάζας για παραγωγή ενέργειας ποικίλλει επίσης. Είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη πτυχές όπως οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου στον κύκλο

ζωής, οι επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα, οι αλλαγές στη χρήση γης και ο πιθανός ανταγωνισμός με την παραγωγή τροφίμων. Η αειφόρος προμήθεια και χρήση βιομάζας είναι θεμελιώδεις για τη διασφάλιση ότι η βιοενέργεια θα συμβάλει πραγματικά στην μείωση της κλιματικής αλλαγής και στη βιώσιμη ανάπτυξη. Συνοπτικά, η κατανόηση της ποικιλομορφίας των τύπων βιομάζας είναι ζωτικής σημασίας για τη βελτιστοποίηση της χρήσης τους στην παραγωγή ενέργειας και το σχεδιασμό τεχνολογιών και συστημάτων που είναι προσαρμοσμένα στα χαρακτηριστικά των διαφορετικών πόρων βιομάζας. Για παράδειγμα, οι ξηρότεροι τύποι βιομάζας, όπως τα γεωργικά υπολείμματα και τα ροκανίδια ξύλου, ταιριάζουν περισσότερο σε διαδικασίες θερμοχημικής μετατροπής όπως η καύση, η πυρόλυση και η αεριοποίηση. Αντίθετα, οι πιο υγροί τύποι βιομάζας, όπως η ζωική κοπριά και ορισμένοι τύποι απορριμμάτων τροφίμων, ταιριάζουν περισσότερο σε διαδικασίες βιοχημικής μετατροπής, όπως είναι η αναερόβια χώνευση, η ζύμωση κλπ. (Μάνου, 2020)

Κάθε τύπος βιομάζας συνοδεύεται επίσης από τις συγκεκριμένες απαιτήσεις της εφοδιαστικής αλυσίδας, συμπεριλαμβανομένης της συγκομιδής ή της συλλογής, της αποθήκευσης, της μεταφοράς και της προεπεξεργασίας. Για παράδειγμα, οι ενεργειακές καλλιέργειες μπορεί να χρειάζονται ειδικά μηχανήματα συγκομιδής και εγκαταστάσεις αποθήκευσης για να διασφαλιστεί η διατήρηση της ποιότητας της βιομάζας, ενώ τα δασικά υπολείμματα μπορεί να χρειάζονται θρυμματισμό σε μορφή chips ή πελλετοποίηση για να διευκολυνθεί η μεταφορά και ο χειρισμός της. Είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπόψη και οι κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις από την χρήση των διαφορετικών τύπων βιομάζας. Για παράδειγμα, η καλλιέργεια ενεργειακών φυτών μπορεί να προσφέρει ευκαιρίες στους αγρότες να διαφοροποιήσουν το εισόδημά τους, αλλά ταυτόχρονα να συμβάλει στην αύξηση της τιμής των τροφίμων φυτικής προέλευσης ενώ η χρήση βιομηχανικών αποβλήτων ή αστικών στερεών αποβλήτων για παραγωγή ενέργειας μπορεί να συμβάλει σε τοπικές λύσεις διαχείρισης απορριμμάτων και στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας.

Είναι επίσης σημαντικό να αναφερθεί ότι οι σύγχρονες και καινοτόμες τεχνολογίες στοχεύουν στη χρήση πιο απαιτητικών τύπων βιομάζας. Για παράδειγμα, η λιγνοκυτταρινική βιομάζα, όπως το άχυρο ή το ξύλο, ήταν παραδοσιακά πιο δύσκολο να μετατραπεί σε βιοκαύσιμο λόγω της πολύπλοκης δομής της. Οι εξελίξεις στις τεχνολογίες προεπεξεργασίας της βιομάζας και η ενζυματική υδρόλυση της, καθιστούν δυνατή την αποτελεσματική μετατροπή αυτών των τύπων βιομάζας, ανοίγοντας νέες ευκαιρίες για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Ομοίως, υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για τις δυνατότητες των φυκιών για παραγωγή βιοκαυσίμων, λόγω της υψηλής παραγωγικότητάς τους ανά μονάδα επιφάνειας, της ικανότητάς τους να αναπτύσσονται σε μη καλλιεργήσιμες εκτάσεις και της δυνατότητας να απορροφούν διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) βιομηχανικών εκπομπών. Ωστόσο, τις προκλήσεις όπως το υψηλό κόστος συγκομιδής και επεξεργασίας τους οφείλει η σύγχρονη τεχνολογία να αντιμετωπίσει για την αξιοποίηση της άγλης ως βιοκαύσιμο.

Συμπερασματικά, η ποικιλομορφία των διαφόρων πόρων βιομάζας παρουσιάζει ευκαιρίες και προκλήσεις για τη χρήση τους στην παραγωγή ενέργειας. Η πλήρης κατανόηση των διαφορετικών τύπων βιομάζας, των ιδιοτήτων τους όπως και των επιπτώσεών τους στο περιβάλλον, είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη βιώσιμων και αποδοτικών λύσεων βιοενέργειας. Αυτή η κατανόηση είναι ο οδηγός που θα καθοδηγήσει επίσης την επιλογή των τεχνολογιών μετατροπής και το σχεδιασμό των αλυσίδων εφοδιασμού βιομάζας, διασφαλίζοντας ότι η βιομάζα μπορεί να διαδραματίσει κρίσιμο ρόλο στη μετάβασή προς ένα πιο πράσινο ενεργειακό μέλλον.

2.2 Συσχέτιση με ανθρώπινες συνήθειες

Οι διάφοροι τύποι βιομάζας και η διαθεσιμότητα τους σε κάθε περιοχή συχνά συνδέεται με τον τρόπο ζωής, τις συνήθειες και τις βιομηχανίες των κατοίκων της. Σε περιοχές όπου η γεωργία είναι κυρίαρχη επαγγελματική δραστηριότητα, δημιουργούνται σημαντικές ποσότητες γεωργικών υπολειμμάτων. Αυτά τα υπολείμματα μπορεί να διαφέρουν από τόπο σε τόπο, ανάλογα με τις καλλιέργειες της περιοχής. Οι περιοχές καλλιέργειας ρυζιού, διαθέτουν άφθονο φλοιό ρυζιού και άχυρο. Αντίστοιχα, περιοχές με κυρίαρχη καλλιέργεια το καλαμπόκι, η βιομάζα καλαμποκιού (φύλλα, μίσχοι και στάχυα που αφήνονται στο χωράφι μετά τη συγκομιδή) γίνεται η βασική πηγή παροχής. Στις γεωργικές σιτοπαραγωγικές περιοχές, εκμεταλλεύσιμη ύλη για ενεργειακή αξιοποίηση είναι συνήθως είναι το άχυρο σίτου, κριθαριού κλπ.

Σε περιοχές όπου η δασοκομία είναι μια σημαντική δραστηριότητα, αναμένεται αφθονία δασικών υπολειμμάτων, όπως κλαδιά, ρίζες και φλοιοί. Τα είδη των δέντρων που κυριαρχούν στην περιοχή καθορίζουν περαιτέρω το είδος των υπολειμμάτων. Για παράδειγμα, σε περιοχή όπου κυριαρχεί το πεύκο δημιουργούνται διαφορετικά υπολείμματα δασικών υποπροϊόντων σε σύγκριση με περιοχές όπου υπερτερούν τα φυλλοβόλα δέντρα. Αντίθετα, η σύνθεση των αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ) επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο ζωής και τις καταναλωτικές συνήθειες ενός πληθυσμού. Οι αστικές περιοχές παράγουν συνήθως μεγαλύτερη ποσότητα ΑΣΑ σε σύγκριση με τις αγροτικές περιοχές. Οι πόλεις έχοντας υψηλότερα ποσοστά κατανάλωσης σε προϊόντα παράγουν συνήθως περισσότερα απόβλητα, συμπεριλαμβανομένου μεγαλύτερου ποσοστού πλαστικών και μη οργανικών απορριμμάτων. Η παρουσία ζωικής κοπριάς και άλλων γεωργικών αποβλήτων είναι εγγενώς συνδεδεμένη με τις πρακτικές της κτηνοτροφίας. Οι περιοχές με σημαντικές δραστηριότητες εκτροφής βοοειδών, πουλερικών ή χοιροτροφίας θα παράγουν σημαντικές ποσότητες ζωικής κοπριάς. Σε περιοχές όπου κυριαρχεί η γαλακτοκομία, η κοπριά των αγελάδων γίνεται πολύτιμος πόρος βιομάζας.

Η καλλιέργεια ενεργειακών φυτών καθορίζεται από τη διαθέσιμη γη, τις κλιματικές συνθήκες και τους κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες μιας περιοχής. Για παράδειγμα, οι αγρότες μπορεί να επιλέξουν να καλλιεργήσουν ενεργειακές καλλιέργειες, όπως ο μίσχανθος ή το switchgrass, ως τρόπο διαφοροποίησης του εισοδήματός τους με την αξιοποίηση διαθέσιμων περιθωριακών εκτάσεων. Η διαθεσιμότητα βιομηχανικών αποβλήτων και παραπροϊόντων συνδέεται άμεσα με την παρουσία και το είδος των βιομηχανιών μιας περιοχής. Για παράδειγμα, περιοχές με εύρωστη ζυθοποιία θα έχουν σημαντικές ποσότητες χρησιμοποιημένων σιτηρών, τα οποία είναι τα υπολείμματα που απομένουν μετά την εξαγωγή σακχάρων από τους σπόρους των δημητριακών κατά την ζύμωση τους. Τέλος, η καλλιέργεια άλγης για βιοενέργεια δεν συνδέεται άμεσα με τις ανθρώπινες συνήθειες, αλλά μπορεί να συνδεθεί με περιοχές που έχουν εκτεταμένες βιομηχανίες υδατοκαλλιέργειας ή σημαντική βιομηχανική δραστηριότητα που παράγει CO₂, το οποίο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη φυκιών.

Η κατανόηση αυτών των συσχετίσεων μπορεί να καθοδηγήσει τον εντοπισμό των τοπικά διαθέσιμων πόρων βιομάζας και να κατευθύνει τις στρατηγικές για τη βιώσιμη αξιοποίηση τους στην παραγωγή βιοενέργειας. Υποστηρίζει την έννοια της κυκλικής οικονομίας, όπου τα απόβλητα από μια διαδικασία γίνονται πόρος, πρώτη ύλη για μια άλλη, συμβάλλοντας σε πιο βιώσιμα, ανθεκτικά και τοπικά προσαρμοσμένα ενεργειακά συστήματα.

2.3 Υφιστάμενοι μέθοδοι διαχείρισης βιομάζας

Η βιομάζα έχει τη δυνατότητα να μετατραπεί σε ενέργεια μέσω διαφόρων διαθέσιμων τεχνολογιών. Κάθε μία από αυτές τις τεχνολογίες έχει τα δικά της πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα και προτιμώμενους τύπους πρώτης ύλης βιομάζας. Οι πιο κοινές τεχνολογίες για την παραγωγή ενέργειας από βιομάζα παρουσιάζονται παρακάτω:

Άμεση Καύση: Αυτή είναι η απλούστερη και πιο κοινή μέθοδος αξιοποίησης της διαθέσιμης ενέργειας της βιομάζας, γνωστή από την εποχή του Προμηθέα. Σε αυτή τη διαδικασία, η βιομάζα καίγεται σε εστία ενός λέβητα για να παραχθεί θερμότητα, η οποία στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας ή να μετατραπεί σε άλλη μορφή ενέργειας όπως μηχανική ενέργεια με χρήση του θερμοδυναμικού κύκλου Rankine, Otto κλπ ή και σε ηλεκτρική ενέργεια με τους ίδιους θερμοδυναμικούς κύκλους και ηλεκτρική γεννήτρια. Αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιείται συνήθως για την παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας σε βιομηχανίες, συστήματα τηλεθέρμανσης και σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής βιομάζας.

Συνδυασμένη καύση: Η τεχνολογία αυτή περιλαμβάνει την αντικατάσταση ενός μέρους του άνθρακα (λιγνίτης στην περίπτωση της Ελλάδας) σε υπάρχουσες μονάδες παραγωγής ενέργειας (Α.Η.Σ.) με βιομάζα. Αυτό επιτρέπει τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την αξιοποίηση της υπάρχουσας υποδομής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, η βιομάζα χρειάζεται να υποβληθεί σε κάποια επεξεργασία για να προσφερθεί στην κατάλληλη για τον εξοπλισμό μορφή, όπως είναι οι συσσωματώσεις, (τα πέλλετ,) ή ο θρυμματισμός της (τα τσιπς,).

Αεριοποίηση: Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει τη θέρμανση της βιομάζας σε περιβάλλον χαμηλής περιεκτικότητας σε οξυγόνο, προκαλώντας πρώτα τη διάσπασή της σε ένα μείγμα υδρογόνου (H_2), μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), γνωστό ως αέριο σύνθεσης (syngas). Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή από το 1784, δημιούργημα του ολλανδού καθηγητή Jean-Pierre Minckelers του πανεπιστημίου της Louvain για την παραγωγή φωταερίου (σήμερα αναφέρεται ως syngas synthetic gas). Το λεγόμενο syngas μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας με μηχανές εσωτερικής καύσης τύπου Otto, ηλεκτρικής ενέργειας, θερμότητας ή και η μετατροπή της σε πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοκαυσίμων ή χημικών ουσιών. Η αεριοποίηση προσφέρει υψηλότερη απόδοση σε σύγκριση με την άμεση καύση και τον θερμοδυναμικό κύκλο Rankine, αλλά απαιτεί εξοπλισμό συγκεκριμένης τεχνολογίας.

Αναερόβια χώνευση: Η αναερόβια χώνευση είναι μια βιολογική διαδικασία κατά την οποία μικροοργανισμοί διασπούν την οργανική ύλη σε περιβάλλον χωρίς οξυγόνο, παράγοντας μεθάνιο με διοξείδιο του άνθρακα, που ονομάζεται βιοαέριο και ένα υπόλειμμα πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά (χωνεμένο λίπασμα). Το βιοαέριο χρησιμοποιείται ως πρωτογενές ή δευτερογενές καύσιμο σε διάφορους κύκλους ενέργειας ενώ το θρεπτικό υπόλειμμα γίνεται λίπασμα σε στερεά και υγρή μορφή για αξιοποίηση σε τοπικές καλλιέργειες. Η αναερόβια χώνευση είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για υγρά υλικά βιομάζας, όπως κοπριά ζώων, υπολείμματα τροφίμων και ορισμένους τύπους γεωργικών υπολειμμάτων.

Ζύμωση: Η ζύμωση είναι μια άλλη βιολογική διαδικασία που μπορεί να μετατρέψει συγκεκριμένες μορφές βιομάζας σε ενέργεια. Σε αυτή τη διαδικασία, μικροοργανισμοί όπως η μαγιά μετατρέπουν τα σάκχαρα της βιομάζας σε αιθανόλη. Αυτή η διαδικασία χρησιμοποιείται για την παραγωγή

οινοπνεύματος, βιοαιθανόλης, ενός βιοκαυσίμου που δύναται να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο της βενζίνης ή ως μείγμα με αυτή. Η ζύμωση τυπικά απαιτεί πρώτη ύλη πλούσια σε σάκχαρα, όπως το ζαχαροκάλαμο, τα ζαχαρότευτλα, το καλαμπόκι, αν και αναπτύσσονται τεχνολογίες για εναλλακτικές ζυμώσεις όπως της λιγνοκυτταρινικής βιομάζας (π.χ. άχυρο, ροκανίδια). (Nibedita Sarkar, 2012)

Πυρόλυση: Η πυρόλυση περιλαμβάνει τη θέρμανση της βιομάζας σε περιβάλλον απουσίας οξυγόνου, προκαλώντας τη διάσπαση των μορίων της στα χημικά στοιχεία που την αποτελούν (υδρογόνο και άνθρακα) και την μετέπειτα αναδιοργάνωση της ύλης δημιουργώντας νέα προϊόντα, ένα μείγμα στερεών (βιοάνθρακα), υγρών (βιο-ελαίου) και αερίων (syngas). Το βιοέλαιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανές εσωτερικής καύσης τύπου Diesel ή να υποστεί περαιτέρω επεξεργασία σε βιοκαύσιμα ή χημικά. Η ταχεία πυρόλυση, η οποία περιλαμβάνει γρήγορη θέρμανση και ψύξη, μεγιστοποιεί την απόδοση σε βιοέλαιο. Στην Ελλάδα, η άμεση και η συνδυασμένη καύση χρησιμοποιούνται συνήθως για την παραγωγή θερμότητα από βιομάζα, ιδιαίτερα από γεωργικά και δασικά υπολείμματα. Η αναερόβια χώνευση άρχισε να χρησιμοποιείται τα τελευταία χρόνια για την επεξεργασία οργανικών αποβλήτων και την παραγωγή βιοαερίου με το οποίο τροφοδοτούνται κινητήρες εσωτερικής καύσης συζευγμένοι με τις ηλεκτρικές γεννήτριες τους. Υπάρχει ενδιαφέρον για το δυναμικό της βιοαιθανόλης ως ανανεώσιμο καύσιμο κίνησης όμως η παραγωγή βιοαιθανόλης από βιομάζα στην Ελλάδα βρίσκεται ακόμη σε σχετικά πρώιμο στάδιο ανάπτυξης.

Όσον αφορά την Ελλάδα, ο κυρίαρχος αγροτικός τομέας της χώρας παράγει σημαντική ποσότητα βιομάζας, ιδιαίτερα από την παραγωγή ελιάς, εσπεριδοειδών και κρασιού. Τα κλαδέματα ελιάς και τα απόβλητα από την παραγωγή ελαιολάδου, γνωστά ως ελαιοπυρήνες, είναι σημαντικές πηγές βιομάζας, οι οποίες συχνά χρησιμοποιούνται για άμεση καύση για την παραγωγή θερμότητας. Ομοίως, τα υπολείμματα εσπεριδοειδών και τα στέμφυλα από την παραγωγή κρασιού έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας.

Για την παραγωγή βιοαιθανόλης, υπάρχει δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν ενεργειακές καλλιέργειες όπως το γλυκό σόργο και διάφορα είδη υπολειμμάτων βιομάζας. Το γλυκό σόργο είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για καλλιέργεια στην Ελλάδα λόγω της αντοχής του στην ξηρασία και τις υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης μπορεί να ζυμωθεί για την παραγωγή βιοαιθανόλης, με την υπολειμματική βιομάζα που χρησιμοποιείται για ζωοτροφές ή ως πρώτη ύλη για αναερόβια χώνευση. Από την άλλη πλευρά, διάφοροι τύποι υπολειμμάτων βιομάζας, συμπεριλαμβανομένων υπολειμμάτων καλλιεργειών, υπολειμμάτων δασοκομίας και απορριμμάτων από βιομηχανίες επεξεργασίας ξύλου, έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βιοαιθανόλης μέσω διεργασιών όπως η ενζυματική υδρόλυση και η ζύμωση. Ωστόσο, αυτές οι διεργασίες απαιτούν συνήθως πιο περίπλοκες διαδικασίες προεπεξεργασίας και μετατροπής σε σύγκριση με άλλες χρήσεις βιομάζας για ενέργεια. Όσον αφορά τις υποδομές διαχείρισης βιομάζας, στην Ελλάδα υπάρχουν σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής με βιομάζα και συστήματα τηλεθέρμανσης που χρησιμοποιούν βιομάζα, καθώς και εγκαταστάσεις για την αναερόβια χώνευση οργανικών αποβλήτων όπως η Βιοενέργεια Νιγρίτας. Υπάρχουν επίσης ορισμένες πιλοτικές εγκαταστάσεις για προηγμένα βιοκαύσιμα, συμπεριλαμβανομένης της βιοαιθανόλης. Η ανάπτυξη μιας βιομηχανίας βιοαιθανόλης εμπορικής κλίμακας στην Ελλάδα προσφέρει τη δυνατότητα για σημαντικές επενδύσεις σε νέες υποδομές, καθώς απαιτεί και μέτρα για τη διασφάλιση της βιώσιμης προμήθειας πρώτων υλών βιομάζας. (Srivastava & Mishra, 2022)

2.4 Προοπτικές αξιοποίησης

Η βιομάζα έχει τεράστιες δυνατότητες για παραγωγή ενέργειας σε παγκόσμια κλίμακα, δεδομένης της τεράστιας ποσότητας οργανικού υλικού που παράγεται, υπάρχει και διατίθεται από πολλές πηγές. Μία ποικιλία βιομάζας όπως υπολείμματα γεωργίας και δασοκομίας έως αποκλειστικές ενεργειακές καλλιέργειες, υπάρχει δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμότητας, ηλεκτρικής ενέργειας και βιοκαύσιμα. Στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής και της ανάγκης μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, η βιομάζα έχει τη δυνατότητα να διαδραματίσει ζωτικό ρόλο ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και να αντικαταστήσει τα ορυκτά καύσιμα σε πολλές εφαρμογές. Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της βιομάζας είναι ότι είναι ευρέως διαδεδομένη και διαθέσιμη σε πολλά μέρη του κόσμου. Πολλές χώρες διαθέτουν σημαντικούς πόρους βιομάζας που ακόμη δεν χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα, οι οποίοι προσφέρονται να αξιοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας. Επιπλέον, με την πρόοδο της τεχνολογίας, καθίσταται δυνατή η χρήση πιο απαιτητικών τύπων βιομάζας, όπως η λιγνοκυτταρινική βιομάζα, για παραγωγή βιοενέργειας, αυξάνοντας περαιτέρω τις δυνατότητες των ενεργειακών πόρων.

Στην Ελλάδα, οι δυνατότητες αξιοποίησης της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας είναι ιδιαίτερα υψηλές λόγω της ισχυρής γεωργικής παράδοσης και των δασικών πόρων. Γεωργικά υπολείμματα, όπως άχυρο, μίσχοι και άλλα υπολείμματα καλλιεργειών, καθώς και υποπροϊόντα από την παραγωγή ελαιολάδου, την παραγωγή κρασιού και άλλες αγροτοβιομηχανικές δραστηριότητες, έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας. Επιπλέον, αποκλειστικές ενεργειακές καλλιέργειες, όπως ο μισκάνθος ή το γλυκό σόργο, δύναται ενδεχομένως να καλλιεργηθούν σε οριακές εκτάσεις, παρέχοντας πρόσθετους πόρους βιομάζας. Τα υπολείμματα δασοκομίας και τα απορρίμματα ξύλου από την ελληνική βιομηχανία ξυλείας προσφέρονται προς χρήση για την παραγωγή ενέργειας. Η διαχείριση των δασών στην Ελλάδα είναι συχνά πρόκληση λόγω του κινδύνου των δασικών πυρκαγιών κατά τους θερμούς και ξηρούς καλοκαιρινούς μήνες. Η χρήση δασικών υπολειμμάτων για την παραγωγή ενέργειας προσφέρει τη δυνατότητα στη μείωση του εύφλεκτου φορτίου και συνεπώς του κινδύνου πυρκαγιών, όμως απαιτεί να γίνετε προσεκτική διαχείριση ώστε να διασφαλιστεί ότι δεν συμβάλλει στην υπερεκμετάλλευση της γης ή σε άλλες αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Παρά το σημαντικό δυναμικό βιομάζας στην Ελλάδα, υπάρχουν ακόμη σημαντικές προκλήσεις που οφείλουν να αντιμετωπιστούν. Αυτές περιλαμβάνουν υλικοτεχνικές υποδομές που σχετίζονται με τη συλλογή, αποθήκευση και μεταφορά βιομάζας, το ανάμοιο μορφολογικό τοπίο της χώρας, καθώς και με τεχνολογικές και οικονομικές ρυθμίσεις που σχετίζονται με τη μετατροπή της βιομάζας σε χρήσιμες μορφές ενέργειας. Επιπλέον, η διασφάλιση της βιωσιμότητας της χρήσης βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας είναι ένα κρίσιμο ζήτημα που απαιτεί προσεκτική μελέτη, λαμβάνοντας υπόψη όχι μόνο τις άμεσες περιβαλλοντικές επιπτώσεις αλλά και τις ευρύτερες κοινωνικές και οικονομικές.

Συνεπώς, ενώ το δυναμικό της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας στην Ελλάδα και παγκοσμίως είναι σημαντικό, η συνειδητοποίηση των δυνατοτήτων αυτού απαιτεί συντονισμένες προσπάθειες για να ξεπεραστούν οι πολυάριθμες αγκυλώσεις της κοινωνίας και προκλήσεις ώστε να διασφαλιστεί ότι η χρήση της βιομάζας είναι βιώσιμη και συμβάλλει στους ευρύτερους στόχους της ενεργειακής μετάβασης του ενεργειακού μοντέλου της κάθε περιοχής και του μετριασμού των όποιων επιπτώσεων υπάρχουν και μελλοντικά προκύψουν.

2.5 Ενεργειακά φυτά

Οι ενεργειακές καλλιέργειες είναι φυτικά είδη που καλλιεργούνται ειδικά για τη μετατροπή τους σε βιοενέργεια, συμπεριλαμβανομένων των βιοκαυσίμων. Μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο βασικούς τύπους: α) Πλώδεις ενεργειακές καλλιέργειες και β) Ξυλώδεις Ενεργειακές Καλλιέργειες

Άλλη μία κατηγοριοποίηση των ενεργειακών φυτών γίνεται με βάση τον προορισμό τους :

- 1) Σε φυτά που προορίζονται για υποκατάστατα του diesel δηλαδή το βιοντίζελ και
- 2) τα φυτά που προορίζονται για υποκατάστατα της βενζίνης δηλαδή την βιοαιθανόλη.

Τα κύρια ενεργειακά φυτά για την παραγωγή βιοαιθανόλης θεωρούνται το σιτάρι με το κριθάρι, το καλαμπόκι, τα τεύτλα, το σόργο και άλλα.

Πλώδεις ενεργειακές καλλιέργειες: Περιλαμβάνουν χόρτα και άλλα μη ξυλώδη φυτά που συλλέγονται συνήθως ετησίως ή εξαμηνιαία. Για παράδειγμα:

Ο Μίσκανθος, (Miscanthus) γνωστός και ως χόρτο ελέφαντα, είναι μια ενεργειακή καλλιέργεια υψηλής απόδοσης που χρησιμοποιείται συχνά στην Ευρώπη για παραγωγή βιομάζας. Έχει υψηλό ενεργειακό περιεχόμενο και έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί σε διαδικασίες καύσης ή αεριοποίησης για την παραγωγή θερμότητας και γενικά ενέργειας.



Εικόνα 2 Miscanthus



Εικόνα 3 Switch Grass

Το Switchgrass είναι ένα εγγενές γρασίδι της Βόρειας Αμερικής αξιοποιήσιμο πια ευρέως σε όλο τον κόσμο, το οποίο έχει μελετηθεί αρκετά ως δυνητική ενεργειακή καλλιέργεια. Είναι πολυετές, ανθεκτικό στην ξηρασία φυτό και προσφέρεται να καλλιεργηθεί σε περιθωριακά, χαμηλής αξίας εδάφη.

Το ζαχαροκάλαμο χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιοαιθανόλης, ιδιαίτερα σε τροπικές και υποτροπικές περιοχές. Παράγει υψηλά επίπεδα σακχάρων τα οποία εύκολα μπορούν να ζυμωθούν και να μετατραπούν σε αιθανόλη. Το ζαχαροκάλαμο, έχει υψηλή περιεκτικότητα σε ζάχαρη ~ 10-16%. Είναι καλλιέργεια ιδανική για παραγωγή βιοαιθανόλης λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς της σε σάκχαρα, που οδηγεί σε υψηλή απόδοση ανά βάρος βιομάζας. Στη Βραζιλία, για παράδειγμα, η βιοαιθανόλη έχει αναπτυχθεί σημαντική βιομηχανία αιθανόλης με βάση το ζαχαροκάλαμο και αντιπροσωπεύει ήδη μέρος του καυσίμου για τις μεταφορές της χώρας. (Goldman, 2011)



Εικόνα 4 Καλλιέργεια ζαχαροκάλαμου

Το γλυκό σόργο. Μονοετές φυτό με μεγάλη φωτοσυνθετική ικανότητα, υψηλές αποδόσεις σε βιομάζα, υψηλά ποσοστά σε διαλυτά σάκχαρα και κυτταρίνες με σχετικά χαμηλές απαιτήσεις σε άρδευση και λίπανση. Προσαρμόσιμο σε διάφορα είδη εδαφών και σε ποικιλία κλιμάτων. Στην Ευρώπη, έχει μελετηθεί η καλλιέργεια πολλών ποικιλιών αυτού του φυτού. Οι αποδόσεις του διαφέρουν ανάλογα την περιοχή, τις κλιματικές συνθήκες, τη γονιμότητα του εδάφους και τις καλλιεργητικές τεχνικές. Η αναλογία σε σάκχαρα ποικίλει από 9 έως και 13,2% επί το χλωρού βάρους των στελεχών, οι δε αποδόσεις με βάση την παραγωγή φτάνουν τους 1,2 τόνους ανά στρέμμα.



Εικόνα 4 Γλυκό σόργο

Τα ζαχαρότευτλα:, Είδος διετές φυτό που ευδοκimeί σε εύκρατα κλίματα, καλλιεργείται εμπορικώς, λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας των ριζών του σε σάκχαρα περίπου 16 - 20%. Οι ρίζες του περιέχουν τα σάκχαρα, κάνοντας το τη δεύτερη σημαντικότερη πηγή σακχάρων μετά το ζαχαροκάλαμο. Το 2002 η συνολική παγκόσμια παραγωγή έφτασε τους 257 εκατομμύρια τόνους. Τελευταία χρησιμοποιείται ως Α΄ ύλη για την παραγωγή βιοαιθανόλης, με τη Γαλλία (στην Ευρώπη) να έχει τα πρωτεία. Από ένα στρέμμα ζαχαρότευτλων παράγονται κατά μέσο όρο 600 λίτρα βιοαιθανόλης.



Εικόνα 5 Καλλιέργεια ζαχαρότευτλων

Τα ζαχαρότευτλα αποδίδουν λιγότερη αιθανόλη ανά έκταση σε σύγκριση με τα ζαχαροκάλαμα αλλά η ικανότητά τους να αναπτύσσονται σε ψυχρότερα κλίματα το καθιστά σημαντική πηγή βιοαιθανόλης σε χώρες όπως η Γαλλία και η Γερμανία.

Το κενάφ είναι ένα ετήσιο, ανοιξιάτικο, φυτό που ανήκει στο γένος *Hibiscus* της οικογένειας *Malvaceae*. Τα περισσότερα από τα 400 γνωστά είδη του *Hibiscus* είναι κατανομημένα στην τροπική και υποτροπική ζώνη των δύο ημισφαιρίων με κύρια κέντρα κατανομής αυτά της Αφρικής και της Νοτίου Αμερικής. Τα περισσότερο διαδεδομένα είδη είναι τα *Hibiscus cannabinus* (κενάφ) και *Hibiscus sabdariffa*. Το πρώτο χρησιμοποιήθηκε στην Ευρώπη τις αρχές του 1900 για τις ίνες του στην παραγωγή σάκων, αλλά λόγω των ιδιοτήτων και της χημικής σύστασης του, χρησιμοποιείται επίσης



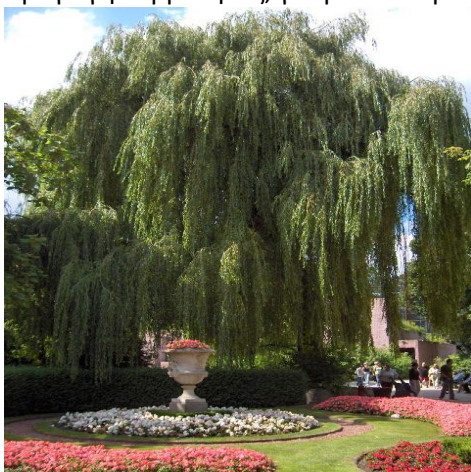
Εικόνα 6 Καλλιεργούμενη φυτεία κενάφ

και στην παραγωγή πληθώρας άλλων προϊόντων. Οι βασικές χρήσεις του φυτού περιλαμβάνουν την παραγωγή ινών για ύφανση χαλιών, υλικά μοριοσανίδων, χαρτοπολτό, μονωτικών υλικών, πλαστικών και τροφή ζώων. Τα χαρακτηριστικά του που αφορούν κυρίως την υψηλή απόδοση του σε βιομάζα κάνουν το κενάφ να αποτελεί μία ενδιαφέρουσα λύση για χρήση ως ενεργειακή πρώτη ύλη εξετάζοντας τα τελευταία χρόνια την αξιοποίησή του για παραγωγή στερεών βιοκαυσίμων.

Ξυλώδεις Ενεργειακές Καλλιέργειες:

Πρόκειται για είδη δέντρων που καλλιεργούνται και συλλέγονται συνήθως σε πολυετή κύκλο κυρίως για την ξυλώδη βιομάζα τους με σκοπό την ενεργειακή αξιοποίησή τους όπως τα παρακάτω παραδείγματα:

Η Ιτιά και η Λεύκα είναι είδη βραχείας αναγέννησης (SRC) που χρησιμοποιούνται σε εύκρατες περιοχές για παραγωγή βιομάζας. Συλλέγονται κάθε 2 - 5 χρόνια και το ξύλο τους χρησιμοποιείται για παραγωγή θερμότητας, για βιοκαύσιμα ή βιοπροϊόντα αλλά και σαν ξυλεία διαφόρων χρήσεων.



Εικόνα 7 Ιτιά



Εικόνα 8 Λεύκα

Ο Ευκάλυπτος είναι ένα ταχέως αναπτυσσόμενο είδος δέντρου που χρησιμοποιείται για βιομάζα. Εκτός από τη χρήση του για παραγωγή θερμότητας και γενικά ενέργειας, το ξύλο του ευκαλύπτου μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή βιοαιθανόλης μέσω θερμοχημικών διεργασιών.

Η Jatropha είναι ένα τροπικό είδος δέντρου που παράγει σπόρους πλούσιους σε λάδι που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιοντίζελ. Παρά τα ενεργειακά πλεονεκτήματα, η εμπορική καλλιέργεια της jatropha ακόμα δε βρίσκεται σε προχωρημένο στάδιο.



Εικόνα 9 Ευκάλυπτος



Εικόνα 10 Jatropha

Η χρήση ενεργειακών καλλιεργειών για βιοενέργεια είναι διαδεδομένη αλλά ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με τις περιφερειακές συνθήκες, συμπεριλαμβανομένου του κλίματος, των γεωργικών πρακτικών και της υποστήριξης από το εκάστοτε πολιτικό πλαίσιο. Σε ορισμένες περιοχές όπως οι δυτικές ΗΠΑ και η Βραζιλία, οι ενεργειακές καλλιέργειες όπως το καλαμπόκι και το ζαχαροκάλαμο παίζουν σημαντικό ρόλο στην παραγωγή βιοαιθανόλης. Η χρήση ενεργειακών καλλιεργειών υπόκειται σε συνεχή συζήτηση και έρευνα λόγω διαφόρων ανησυχιών σχετικά με τη βιωσιμότητα και τον ανταγωνισμό των κλασικών καυσίμων. Στην Ευρώπη, ενεργειακές καλλιέργειες χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ τα βιοκαύσιμα παράγονται κυρίως από απόβλητα και υπολείμματα, από δημητριακά όπως το σιτάρι, το κριθάρι και το καλαμπόκι.

Σιτάρι – κριθάρι. Οι καλλιέργειες αυτές αποτελούνται από ετήσια φυτά και ανήκουν στην οικογένεια των δημητριακών (Graminae). Το σιτάρι θεωρείται παγκοσμίως ως το σημαντικότερο φυτό μεταξύ των άλλων δημητριακών, με συνολική παραγωγή 537,5 εκατομμύρια τόνων το 2002. (777,9 mton το 2022) Το κριθάρι από την άλλη, χρησιμοποιείται κυρίως ως ζωτροφή και για την παραγωγή αλκοολούχων ποτών. Η παραγωγή του για το 2002 έφτασε στα 136,5 εκατομμύρια τόνους παγκοσμίως (145,3 mton το 2022). Τα τελευταία πέντε χρόνια υπάρχει έντονη δραστηριότητα στη χρήση του σιταριού και του κριθαριού ως Α΄ ύλη για την παραγωγή βιοαιθανόλης. Υπολογίζεται ότι ένα στρέμμα σιταριού μπορεί να παράγει κατά μέσο όρο 150 – 800 kg προϊόν με το οποίο μπορούν να παραχθούν 45-240 lt βιοαιθανόλης.

Το καλαμπόκι, ένα μονοετές φυτό, ψηλό με χοντρό όρθιο και συμπαγή βλαστό, στενά και μακριά φύλλα σε σχήμα σπαθιού και κυματιστά άκρα. Στην κορυφή του φυτού υπάρχει η αρσενική ταξιανθία που σχηματίζει θύσανο ή αλλιώς φόβη. Ο καρπός του αραβοσίτου είναι καρύοψη, δηλαδή είδος ξηρού καρπού, μονόσπερμου, με πολύ λεπτό περικάρπιο που περιβάλλει το σπέρμα. Το περικάρπιο αποτελείται από κυτταρίνη και ημικυτταρίνες και έχει ρόλο να προστατεύει το σπέρμα από εχθρούς, μολύνσεις και την είσοδο του νερού .

Παραδείγματα ποσοτικών αποδόσεων βιοαιθανόλης από διάφορα είδη βιομάζας

Πίνακας 1: Αποδοτικότητα βιοαιθανόλης διαφόρων καλλιεργειών

Βιοκαύσιμο	Α' ύλη	Απόδοση Α' ύλη σε kg/στρέμμα	Απόδοση βιοκαύσιμο σε kg/στρέμμα	Απόδοση βιοκαύσιμο σε lt/στρέμμα
Βιοαιθανόλη	Σιτάρι	150 – 800	36 - 190	45 – 240
	Τεύτλα	6000	475	600
	Σόργο	7000 – 10000	553 - 790	675 – 900
	Καλαμπόκι	600 - 1800	375	300

Πίνακας 2 : Αποδοτικότητα βιοαιθανόλης διαφόρων απορριμμάτων καλλιεργειών

Βιοκαύσιμο	Α' ύλη	Ποσότητα ton/έτος	Απόδοση lt/ton αιθανόλης	Δυνατότητα lt/έτος
Βιοαιθανόλη	Πούλπα	3.600	250	900.000
	Φλοιοί ρυζιού	46.000	160	7.360.000
	Υπόλειμμα εκκοκκισμού βάμβακος	20.000	190	3.800.000
	Ελαιοπυρήνας	500.000	340	170.000.000

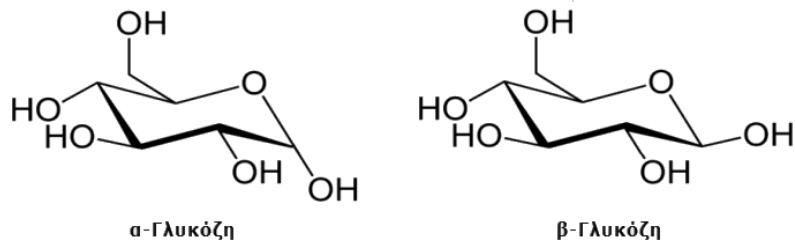
2.6 Ζυμώσιμη βιομάζα

Η ζυμώσιμη βιομάζα αποτελεί οργανικό βιολογικό υλικό που είναι ικανό να υποστεί ζύμωση, μια μεταβολική διαδικασία που μετατρέπει τα φυσικά σάκχαρα της Α' ύλης βιομάζας σε οξέα, αέρια ή αλκοόλη χρησιμοποιώντας μαγιά και βακτήρια. Το προϊόν που προκύπτει, δηλαδή για παράδειγμα η βιοαιθανόλη, αντιπροσωπεύει μια εναλλακτική λύση αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων, η οποία υπάγεται στην κατηγορία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η ποικιλία της βιομάζας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή βιοαιθανόλης με τη διαδικασία της ζύμωσης κατηγοριοποιείται σε τρεις κύριους τύπους:

- 1) βιομάζα πλούσια σε σάκχαρα
- 2) βιομάζα πλούσια σε άμυλο
- 3) βιομάζα λιγνοκυτταρινική

Στις σακχαρούχες πρώτες ύλες κατατάσσονται φυτικά είδη που έχουν υψηλές ποσότητες εύκολα προσβάσιμων σακχάρων. Κύρια παραδείγματα αυτής της κατηγορίας είναι τα ζακχαροκάλαμα, τα ζακχαρότευτλα και το γλυκό σόργο, καλλιέργειες που χρησιμοποιούνται ως πρώτες ύλες για την

παραγωγή βιοαιθανόλης. Οι καλλιέργειες αυτές είναι ελκυστικές για παραγωγή διότι με τη υψηλή τους απόδοση σακχάρων που έχουν ανά στρέμμα φυτικής καλλιέργειας και το χαμηλό κόστος της διαδικασίας στην παραγωγής αλκοόλης χρησιμοποιούνται εύκολα ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαιθανόλης. Η διαθεσιμότητα τους όμως είναι σε συγκεκριμένη εποχή του χρόνου. (Danúbia Paula Cadore Favaretto, 2023)

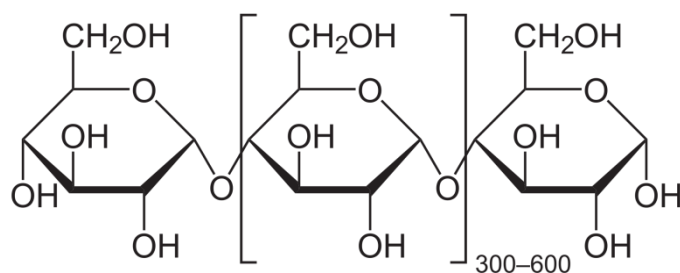


Εικόνα 11 Τα μόρια της α και β Γλυκόζης

Το ζαχαροκάλαμο εκτός από το υλικό που συμμετέχει στην ζύμωση χρησιμοποιείται και ως καύσιμο υλικό για τη διύλιση δίνοντας του ένα οικονομικό προβάδισμα ως Α' ύλη παραγωγής βιοκαυσίμων, ενώ τα υγρά απόβλητα της διαδικασίας δύναται να χρησιμοποιούνται στην γεωργία για άρδευση στις καλλιέργειες μειώνοντας όποιες αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον ήταν δυνατόν να έχει αυτή η βιομηχανική διαδικασία. Η αλκοολική ζύμωση σακχαρούχων πρώτων υλών έχει αναπτυχθεί αρκετά.

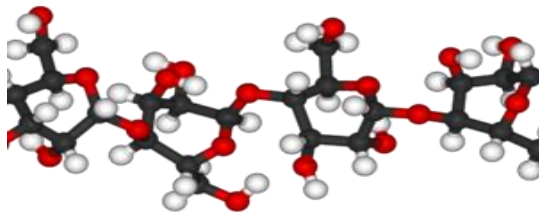
Στις αμυλούχες πρώτες ύλες κατατάσσεται η βιομάζα με υψηλά ποσοστά σε άμυλο, ένα σύνθετο υδατάνθρακα που σχηματίζεται από μακρο-αλυσίδες γλυκόζης. Κύριοι εκπρόσωποι αυτής της κατηγορίας είναι το σιτάρι, το κριθάρι, το καλαμπόκι, που είναι πλούσια σε άμυλο αποτελούμενο από πολυμερές δέσμες-αλυσίδες γλυκόζης (αμυλόζη και αμυλοπηκτίνη). Η μετατροπή τους σε αιθανόλη απαιτεί πρώτα την διάσπαση αυτών των δεσμών, σε γλυκόζη υγρής μορφής στην οποία εφαρμόζεται η διαδικασία της ζύμωσης με μύκητες. Στην Βόρεια Αμερική και στην Ευρώπη η παραγωγή βιοαιθανόλης στηρίζεται κυρίως σε αυτές τις πρώτες ύλες ενώ σε τροπικές περιοχές χρησιμοποιείται και η μανιόκα (κασάβα). Η διαδικασία παραγωγής των αμυλούχων πρώτων υλών είναι ποιο σύνθετη διότι είναι απαραίτητο πρώτα να διασπαστούν οι πολυμερές ενώσεις σε μονομερές το οποίο επιτυγχάνεται μέσω υδρολυτικής αντίδρασης με ένα ένζυμο, τη γλυκο-αμυλάση. (Azhara, et al., 2017)

Έτσι παράγεται μία ισομερής γλυκόζη, η δεξτρόζη ή D-γλυκόζη από την οποία ύστερα από ζύμωση και αφυδάτωση καταλήγει σε παραγωγή αιθανόλης

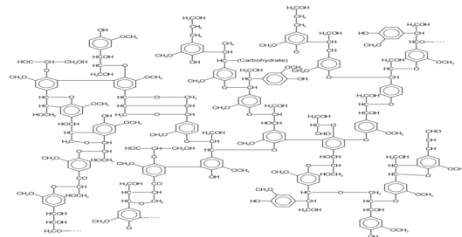


Εικόνα 12 Το μόριο της αμύλου

Οι λιγνινοκυτταρινικές πρώτες ύλες είναι φυτικά υλικά αποτελούμενα κυρίως από κυτταρίνη, ημικυτταρίνη και λιγνίνη.



Εικόνα 13 Τρισδιάστατη απεικόνιση κυτταρίνης (C μαυρο, O₂ κόκκινο, H₂ λευκό)



Εικόνα 14 Μοντέλο της χημικής δομής της λιγνίνης

Παραδείγματα αυτών των υλών περιλαμβάνουν υπολείμματα δασοκομίας, γεωργικά απόβλητα, αποκλειστικές ενεργειακές καλλιέργειες, ακόμη και απόβλητα υλικά (όπως απορρίμματα χαρτιού).

Σε αντίθεση με τη βιομάζα πλούσια σε ζάχαρη και άμυλο, τα μόρια σακχάρου στη λιγνοκυτταρινική βιομάζα είναι συνδεδεμένα σε πολύπλοκες δομές και προστατεύονται από λιγνίνη, καθιστώντας την εξαγωγή τους πιο δύσκολη. Η προκατεργασία και η ενζυματική υδρόλυση είναι απαραίτητες διαδικασίες για τη διάσπαση αυτών των δομών και την απελευθέρωση των ζυμώσιμων σακχάρων. Η ίδια η διαδικασία ζύμωσης μπορεί να συμβεί τόσο με φυσικές όσο και με τεχνητές μεθόδους. Η φυσική ζύμωση βασίζεται σε φυσικές ζύμες και βακτήρια στο περιβάλλον και είναι σε μεγάλο βαθμό ανεξέλεγκτη. Αυτή η διαδικασία, χρησιμοποιείται εδώ και χιλιάδες χρόνια για την παρασκευή αλκοολούχων ποτών, είναι λιγότερο προβλέψιμη και είναι πολύ αργή σε σχέση με την τεχνητή ζύμωση.

Η τεχνητή ή ελεγχόμενη ζύμωση, από την άλλη πλευρά, περιλαμβάνει τη σκόπιμη εισαγωγή επιλεγμένων στελεχών ζύμης ή βακτηρίων στη βιομάζα, συχνά αυτό είναι *Saccharomyces cerevisiae* (είδος μύκητα, λέγεται και brewer's yeast), λόγω της υψηλής ανοχής του στην αιθανόλη. Αυτή η διαδικασία είναι πιο προβλέψιμη και συνήθως αποδίδει υψηλότερο ρυθμό παραγωγής βιοαιθανόλης καθιστώντας την ταχύτερη σε σχέση με την φυσική.

Η ζυμώσιμη βιομάζα προσφέρει πράγματι μια ανανεώσιμη, πιο φιλική προς το περιβάλλον εναλλακτική λύση στα ορυκτά καύσιμα και είναι ζωτικής σημασίας να εξισορροπηθεί αυτή η δυναμικότητα με τη βιώσιμη παραγωγή της. Πτυχές όπως η χρήση γης και νερού, οι επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα και οι καθαρές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της συνολικής βιωσιμότητας της παραγωγής βιοαιθανόλης από ζυμώσιμη βιομάζα. Η έρευνα επικεντρώνεται στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας αυτών των διαδικασιών, στην εξερεύνηση νέων πηγών βιομάζας με σταθερό ρυθμό τροφοδοσίας ή προβλέψιμη τροφοδοσία και στη βελτιστοποίηση των διαφόρων τεχνικών ζύμωσης.

2.7 Παγκόσμια επισκόπηση ζυμώσιμων καλλιεργειών

Όσο αφορά τις πρωτογενείς καλλιέργειες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιοαιθανόλης, οι κύριες χώρες παραγωγού είναι οι εξής:

Ηνωμένες Πολιτείες: Ο μεγαλύτερος παραγωγός βιοαιθανόλης στον κόσμο, οι ΗΠΑ χρησιμοποιούν ως κύρια πρώτη ύλη το καλαμπόκι. Σύμφωνα με το Υπουργείο Γεωργίας των ΗΠΑ, το 2020 παρήγαγαν πάνω από 15 δισεκατομμύρια τόνους καλαμποκιού, με σημαντικό ποσοστό αυτής της παραγωγής να προορίζεται για την παραγωγή βιοαιθανόλης. (Azhara, et al., 2017)

Βραζιλία: Ο δεύτερος μεγαλύτερος παραγωγός βιοαιθανόλης, η Βραζιλία χρησιμοποιεί ως κύρια πρώτη ύλη το ζαχαροκάλαμο. Η βιομηχανία ζαχαροκάλαμου της Βραζιλίας είναι τεράστια, παράγοντας πάνω από 665 εκατομμύρια τόνους το έτος συγκομιδής 2019-2020. Η παραγωγή βιοαιθανόλης αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της ενεργειακής πολιτικής της χώρας και τα οχήματα ευέλικτου καυσίμου που μπορούν να κινούνται είτε με βενζίνη είτε με αιθανόλη αποτελούν σημαντικό ποσοστό του στόλου οχημάτων της Βραζιλίας. (Goldman, 2011)

Ευρωπαϊκή Ένωση: Η Ε.Ε. παράγει σημαντική ποσότητα βιοαιθανόλης, με τις πρώτες ύλες να διαφέρουν μεταξύ των χωρών μελών. Το ζαχαρότευτλο χρησιμοποιείται ευρέως, ειδικά στη Γαλλία και τη Γερμανία. Ενώ το σιτάρι και το καλαμπόκι είναι σημαντικές πρώτες ύλες, ιδιαίτερα σε χώρες όπως το Ηνωμένο Βασίλειο, τη Γερμανία και την Ισπανία.

Κίνα: Θεωρείται ο μεγαλύτερος παραγωγός γλυκού σόργου στον κόσμο, η Κίνα εξερευνά αυτή την καλλιέργεια ως πηγή πρώτης ύλης για την παραγωγή βιοαιθανόλης. Το γλυκό σόργο προστίθεται στην υφιστάμενη αξιοποίηση του καλαμποκιού και της μανιόκας για παραγωγή βιοαιθανόλης.

Ινδία: Η Ινδία χρησιμοποιεί για την παραγωγή βιοαιθανόλης κυρίως μελάσα ζαχαροκάλαμου, που είναι ένα υποπροϊόν της παραγωγής ζάχαρης της. Η Ινδία είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος παραγωγός ζαχαροκάλαμου στον κόσμο έχοντας σημαντικές δυνατότητες αύξησης της παραγωγής βιοαιθανόλης.

Ταϊλάνδη: Η Ταϊλάνδη είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός μανιόκας στον κόσμο και αυτή η καλλιέργεια χρησιμοποιείται εκτενώς στη χώρα για την παραγωγή βιοαιθανόλης.

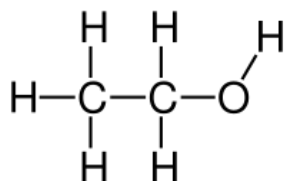
Καναδάς: Ο Καναδάς, ιδιαίτερα η επαρχία του Κεμπέκ, παράγει βιοαιθανόλη από καλαμπόκι και σιτάρι.

Στην Ελλάδα δεν υπάρχει παραγωγή βιοαιθανόλης για χρήση σε οχήματα ούτε ανάμειξης με τη βενζίνη. Η παραγωγή της μένει μικρή και περιορίζεται σε οικολογικά καύσιμα οικιακής θέρμανσης.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η παραγωγή βιοαιθανόλης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την πολιτική της κάθε κυβέρνησης και την υποστήριξη της, συμπεριλαμβανομένων της νομοθεσίας για το ποσοστό ανάμειξης βιοαιθανόλης στη βενζίνη και των επιδοτήσεων για την παραγωγή της. Επιπλέον, ζητήματα που σχετίζονται με τη χρήση γης, τις συζητήσεις για τα τρόφιμα έναντι των καυσίμων και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα επηρεάζουν την κλίμακα και τις μεθόδους παραγωγής της παγκοσμίως.

3.1 Ορισμός βιοαιθανόλης


Η βιοαιθανόλη αποτελεί αιθανόλη (C₂H₅OH), ή σωστότερα με την πλήρης ονομασία αιθυλική αλκοόλη (ethanol) η οποία προέρχεται από βιομάζα. Η χημική ένωση των ατόμων που σχηματίζουν το μόριο της αιθανόλης είναι η εξής:



Εικόνα 15 Το χημικό μόριο της αιθυλικής αλκοόλης

Η αιθανόλη αποτελείται από έξη (6) άτομα υδρογόνου (hydrogen) H₂, δυο (2) άτομα άνθρακα (carbon) C και ένα (1) άτομο οξυγόνο (oxygen) O₂. Περιέχει δηλαδή υδρογόνο H₂ κατά 67%, άνθρακα C κατά 22% και οξυγόνο O₂ κατά 11%. Το χαρακτηριστικό της είναι ότι περιέχει την ομάδα του υδροξειδίου (hydroxide) OH, γνώρισμα των αλκοόλων που τις οδηγεί να είναι υδατοδιαλυτές. (Srivastava & Mishra, 2022) Η αιθανόλη είναι η πιο γνωστή αλκοόλη, συστατικό των αλκοολούχων ποτών, χρησιμοποιείται επίσης σε ειδικά θερμομέτρα, σε αντισηπτικά, ως διαλύτης και ως καύσιμο. Η αιθανόλη είναι παραπροϊόν της μεταβολικής διεργασίας της ζύμωσης. Ως τέτοιο (παραπροϊόν) η αιθανόλη είναι παρούσα σε κάθε οικοσύστημα ζύμωσης. Είναι μια άχρωμη υγρή ουσία γνωστή ως αιθύλιο ή απλώς αιθανόλη, πτητική και εύφλεκτη που χρησιμοποιείται σε διάφορες εφαρμογές. Ώντας αλκοόλη διαθέτει τετραεδρική γεωμετρία, συγκρατείται από τις ενώσεις του άνθρακα δημιουργώντας τον χημικό της τύπο C₂H₅OH. Η βιοαιθανόλη σχηματίζεται από τη ζύμωση σακχάρων της βιομάζας. Σε αυτή τη διαδικασία της ζήμωσης, η φυτική οργανική ύλη, όπως υπολείμματα της γεωργίας, της δασοκομίας, των ενεργειακών καλλιεργειών, τα φύκια κλπ στις συνθήκες στις οποίες υποβάλλεται μετασχηματίζεται σε αιθανόλη. Με τη συνδρομή μαγιάς ή άλλου μικροοργανισμού η διαδικασία ζύμωσης επιταχύνεται. (Nibedita Sarkar, 2012)

Πίνακας 3. Φυσικές και χημικές ιδιότητες αιθανόλης.

Φυσικές και χημικές ιδιότητες		
1	Πυκνότητα	789,3 kg/m ³
2	Κατάσταση σε ατμοσφαιρική πίεση	Υγρή
3	Χρώμα – οσμή	Άχρωμο με χαρακτηριστική οσμή
4	Θερμοκρασία τήξης	-114,5 °C
5	Θερμοκρασία βρασμού	78,37 °C
6	Θερμοκρασία ανάφλεξης	13–14 °C
7	Θερμοκρασία αυτανάφλεξης	362 °C
8	Ιξώδες	1,2 mPa·s στους 20°C
9	Διαλυτότητα σε νερό	Αναμειγνύεται σε κάθε αναλογία
10	Βαθμός οκτανίου	100 - 135
11	Βαθμός κετανίου	2 – 12
12	Ενεργειακό περιεχόμενο (θερμογόνο δύναμη)	LHV - 27 MJ/kg , HHV - 29,7 MJ/kg
13	Σύμβολο της κατά ADR (αφορά κατηγορία κινδύνων κατά την αποθήκευση και μεταφορά της)	 Flammable (F)

Πίνακας 4. Τεχνικά στοιχεία αιθανόλης σύμφωνα με τις προδιαγραφές EN 15376 και ASTM D 4806.

	Ethanol example undenatured	Standard A 2014 undenatured	Standard B 2014 denatured	WWFC: 2009 ** undenatured
Formula	C ₂ H ₆ O			
Molecular weight, g/mol	46.1			
Carbon/hydrogen/oxygen, wt-%	52.1/13.2/34.7			
Ethanol content, wt-%		≥98.7	≥92.1	≥99.2
Higher saturated monoalcohols, C3-C5, wt-%		≤2.0		≤2.0
Methanol, wt-%		≤1.0	≤0.5	≤0.5
Density at 15 °C, kg/dm ³	0.794 ^a			report
Boiling point, °C	78 ^a			
Freezing point, °C	-114 ^h			
Flash point, °C	13 ^h			
RON, neat	108 ^b – 109 ^a			
Blending RON *	120 – 135 ^a			
Blending MON *	100 – 106 ^a			
Cetane number	2 – 12 ^e			
Neat vapor pressure, 37.8 °C, kPa	16 ^a			
Blending vapor pressure 37 °C, kPa	117 ^c			
LHV, MJ/kg (MJ/l)	27.0 ^a (21.3 ^f)			
HHV, MJ/kg	29.7 ^f			
Heat of vaporization, kJ/kg	839 ^d , 923 ^h			
Self-ignition temperature, °C	423 ^a			
Ignition limits, fuel in air, vol-%	4 – 19 ^a			
Stoichiometric air to fuel ratio	9 ^a			
Water content, wt-%		≤0.300	≤1.26	≤0.3
Solubility in water	fully miscible			
Viscosity at 20 °C, mm ² /s	1.525 ^e			
Surface tension at 20 °C, mN/m	1.204 (calc.)			
Non-volatile material or solvent washed gum, mg/100 ml	22.8 ^e	≤10	≤5.0	≤5
Organic impurities, mg/l				≤10.0
Inorganic chloride, mg/l		≤1.5 mg/kg	≤8	≤10.0
Copper, mg/kg		≤0.100	≤0.1	≤0.100
Phosphorus, mg/l		≤0.15		≤0.50
Sulfur/sulfate, mg/kg	0 ^f	≤10.0/≤3.0	≤30/≤4	≤10.0/≤4
Heavy metals				non detectable
Nitrogen, mg/kg	0 ^f			
Acidity (as acetic acid), wt-%		≤0.007	≤0.007	≤0.007
pHe			6.5 – 9.0	6.5 – 9 (ASTM)
Electrical conductivity, μS/m ****	0.14 ^f	≤250		≤500
Odor threshold, ppm	10 – 84 ^f			
Denaturant		EN228 gasoline, ETBE, MTBE, TBA, i-butanol, i-propanol***	1.96 – 5.0 vol-%, gasoline, gasoline blend stocks, unleaded gasoline	gasoline, ETBE, MTBE, TBA, isobutanol or isopropanol***

* Octane numbers and vapor pressure do not behave linearly due to interaction with gasoline. ** Ethanol plus C3–C5 saturated alcohols (anhydrous) *** I-butanol and i-propanol are easily removed, and thus recommended to be used in combination with other denaturants. **** Electrical conductivity depends on the concentration of metallic ions. Degaldo (2007) reported 200 μS/hydrous ethanol and 10 μS/m for Brazilian gasoline.

^a Owen 1995 ^b Methanol Institute ^c Graboski 2000 ^d Prezelj ^e CRC Handbook ^f Murphy 1998 ^g Murphy 2004 ^h Bechtold 1997

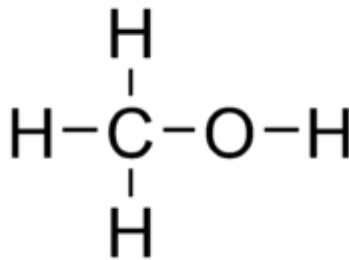
Η βιοαιθανόλη έχει χρησιμοποιηθεί και παλαιότερα ως καύσιμο, από τον κατασκευαστή αυτοκινήτων Henry Ford σχεδιάζοντας το αυτοκίνητό του Model T με της χρήση της αιθανόλης ως καύσιμο. Η βενζίνη όμως με τη μεγαλύτερη ενεργειακή της πυκνότητα καθιερώθηκε ως το κυρίαρχο καύσιμο των μεταφορών για τον 20ό αιώνα.

Παραγωγή: Η συνθετική αιθανόλη παράγεται από πετρέλαιο με την ενυδάτωση του αιθενίου, ενώ η βιοαιθανόλη με διεργασίες, όπως η ζύμωση σακχάρων. Η επιλογή της οικονομικότερης μέθodu εξαρτάται από τις τιμές των ορυκτών καυσίμων και των διαθέσιμων αγροτικών προϊόντων κατάλληλων για ζύμωση.

Ιδιότητες: Η καθαρή αιθανόλη ερεθίζει το δέρμα και τα μάτια. Η κατάποση της σε μικρές ποσότητες προκαλεί αίσθημα ευφορίας. Σε μεγαλύτερες ποσότητες της προκαλεί ναυτία, εμετό, διαταράσσει την ομαλή λειτουργία του εγκεφάλου προκαλώντας την κατάσταση που χαρακτηρίζεται ως μέθη. Σε ακόμη μεγαλύτερες ποσότητες προκαλεί απώλεια αισθήσεων και σε σπάνιες περιπτώσεις, θάνατο. Θανατηφόρος είναι η ενδοφλέβια χορήγησή της. Η αιθανόλη έχει μία σταθερή ημιζωή εξουδετέρωσης που σημαίνει ότι αφήνει το ανθρώπινο σώμα όταν βρεθεί σε αυτό με ένα σταθερό ρυθμό. Η απομάκρυνση της από το ανθρώπινο σώμα, μέσω της δεϋδρογονάσης στο ήπαρ, είναι περιορισμένη. Έτσι, η απομάκρυνση μεγάλης συγκέντρωσης αιθανόλης από το αίμα μπορεί να προκαλέσει αδυναμία κινητικότητας του αίματος. Η μακροχρόνια χρήση αιθανόλης μπορεί να προκαλέσει σοβαρή βλάβη στο ήπαρ. Ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις ατμών αιθανόλης πάνω από 1% υπερβαίνουν τα όρια έκθεσης που έχει θεσπίσει η Ευρωπαϊκή Ένωση.

Ιστορία: Η ζύμωση της ζάχαρης σε αιθανόλη ήταν μια από τις παλιότερες βιοτεχνολογίες που εφάρμοσε ο άνθρωπος. Η αιθανόλη, και τα μεθυστικά αποτελέσματά της κατανάλωσής της, ήταν γνωστή στους ανθρώπους από την προϊστορία ως συστατικό των αλκοολούχων ποτών. Η απόσταξη της ήταν γνωστή στους Έλληνες και τους Άραβες.

Η αιθανόλη (C_2H_5OH) δεν πρέπει να συγχέεται με τη μεθανόλη (CH_3OH) ή μεθυλική αλκοόλη (methyl alcohol), επειδή και οι δύο είναι αλκοόλες. Η χημική ένωση των ατόμων που σχηματίζουν το μόριο της μεθανόλης παρουσιάζεται παρακάτω



Εικόνα 16 Το χημικό μόριο της μεθανόλης

Η μεθανόλη είναι η απλούστερη μορφή αλκοόλης και αποτελεί ένα ελαφρύ, άχρωμο εύφλεκτο και τοξικό υγρό στην με χαρακτηριστική οσμή που θυμίζει την αιθανόλη. Το σημείο βρασμού της είναι 65°C , χαμηλότερο του σημείου βρασμού της αιθανόλης. Χρησιμοποιείται ως αντιψυκτικό σε ψυκτικές εγκαταστάσεις, ως διαλύτης, ως καύσιμο, αλλά και ως επικίνδυνο υποκατάστατο της αιθανόλης (αν και απαγορευμένη για τρόφιμα και ποτά διότι προκαλεί τύφλωση έως και θάνατο). Μόλις 12ml καθαρής μεθανόλης αρκούν για τη θανατηφόρα δηλητηρίαση ενός ενήλικου ατόμου ενώ το αντίδοτο σε αυτή τη δηλητηρίαση είναι η κατανάλωση αιθανόλης καθαρότητας τουλάχιστον 40% διότι ανταγωνίζεται τη μεθανόλη στη μετατροπή των ενζυμάτων σε μεταβολιτές στο ήπαρ. Η μεθανόλη όσο αφορά τη βιοενέργεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιοντίζελ μέσω αντιδράσεων μετεστεροποίησης.

Σήμερα, παρά τα αμφιλεγόμενα επιχειρήματα που εξακολουθούν να υπάρχουν, οι αυξανόμενες ανησυχίες σχετικά με το περιβάλλον σε συνδυασμό με τα ορυκτά αποθέματα που εξαντλούνται οδηγούν τους ειδικούς να επανεξετάσουν τη βιοαιθανόλη για άλλη μια φορά δίνοντάς μια εναλλακτική επιλογή όσον αφορά την εξάντληση των συμβατικών πόρων καυσίμου. Έτσι γίνεται η χρήση της ως καύσιμο ως καθαρή βιοαιθανόλη ή σε ανάμειξη της με βενζίνη όπως τα παραδείγματα E10 και E85: Το «E10» που αποτελείται από συμβατική βενζίνη με 10% αιθανόλη, το «E25» αντίστοιχα και το «E85» που είναι μείγμα με 85% αιθανόλη κατάλληλο μόνο για οχήματα ευέλικτου καυσίμου.

Η βιοαιθανόλη δεν έχει εφαρμογή μόνο ως εναλλακτικό, καύσιμο οχημάτων από ανανεώσιμες πηγές, χρησιμοποιείται σε διάφορες βιομηχανίες παρασκευή βερνικιών, αρωμάτων, αιθέριων και αρωματικών ουσιών μαζί με τη διατήρηση οργανικών υλικών χρησιμοποιώντας την ως συντηρητικό. Χαρακτηριστικά όπως η ισχυρή αντισηπτική φύση της δείχνουν ότι η βιοαιθανόλη ενσωματώνεται σε φάρμακα, σε ουσίες προσωπικής υγιεινής, ακόμα και για θέρμανση. Η αυξανόμενη τάση υιοθέτησης καθαρότερων πηγών ενέργειας επιβάλλει τη βιοαιθανόλη ως καύσιμο, εργαλείο για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, αυξάνοντας την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού. Οι βιώσιμες μέθοδοι παραγωγής όπου εγγενώς δίνουν προτεραιότητα στην αποδοτικότητα, χρειάζονται επείγουσα ιεράρχηση για να απελευθερωθεί η πραγματική αξία της βιοαιθανόλης.

Η χρήση της βιοαιθανόλης ωφελεί την απόδοση του κινητήρα μειώνοντας τις θεωρούμενες επιβλαβείς εκπομπές. Αυτό γίνεται για διάφορους λόγους όπως τον υψηλότερο βαθμό οκτανίων από την συμβατική βενζίνη. Ο βαθμός οκτανίων είναι μέτρο αντικριτικότητας του καυσίμου, προσφέροντας στον κινητήρα λειτουργία σε υψηλότερη συμπίεση πριν την ανάφλεξη του και αντίστοιχα υψηλότερο βαθμό απόδοσης του. Όπως φαίνεται στον πίνακα 3 η αιθανόλη έχει βαθμό οκτανίων από 100 έως 135 σαφέστατα υψηλότερη της συμβατικής βενζίνης. Το χημικό μόριο της περιέχει μόνο 2 άτομα άνθρακα C, λιγότερα σε σχέση με τη βενζίνη που έχει από 4 έως και 10 άτομα άνθρακα C, άρα οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα CO₂ κατά την καύση της αιθανόλης θα είναι μειωμένες. Το μόριο της περιέχει 1 άτομο οξυγόνο που σημαίνει ότι απαιτεί λιγότερο αέρα για την καύση της. Όπως φαίνεται στον πίνακα 4 απαιτείται αέρα 9 : 1 (σε σύγκριση της βενζίνης που απαιτείται μείγμα αέρα 15 : 1) για την καύση 1 μονάδας αντίστοιχου καυσίμου. Αυτό σημαίνει μικρότερο απαιτούμενο έργο συμπίεσης στον 2ο χρόνο λειτουργίας ενός 4χρονου κινητήρα. Παρόλα αυτά έχει μικρότερη δυνατότητα μεταφοράς ενέργειας ανά μονάδα βάρους καυσίμου, περίπου 27 με 29,7 MJ/kg ενώ της βενζίνης υπερβαίνει τα 40 MJ/kg. Η χρήση μείγματος E85 (85% αιθανόλη και 15% βενζίνη) μειώνει την απόδοση του κινητήρα κατά 25 με 30%, συγκρίνοντας τον με την λειτουργία αποκλειστικά με βενζίνη. Η παραγωγή βιοαιθανόλης από διαφορετικά φυτά διαφοροποιεί τις αποδόσεις ενεργειακού περιεχομένου. Το ζαχαροκάλαμο θεωρείται ότι είναι η πιο αποτελεσματική πρώτη ύλη για την παραγωγή της βιοαιθανόλης. Η Βραζιλία το έχει αποδείξει έμπρακτα με το ευρύ πρόγραμμα βιοαιθανόλης της. Η καύση αιθανόλης στα αυτοκίνητα μειώνει ακόμη τα επίπεδα του μονοξειδίου του άνθρακα CO που απελευθερώνονται από την καύση βενζίνης.

Το συνολικό αποτύπωμα άνθρακα που παράγεται από τη βιοαιθανόλη λαμβάνεται υπόψη όχι μόνο για την ενεργειακή απόδοση της καλλιεργούμενης πρώτης ύλης, αλλά για και την εφαρμογή κατάλληλων τεχνικών μετατροπής. Αυτός ο παράγοντας επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο που χρησιμοποιείται. Η βιοαιθανόλη από καλαμπόκι που παράγεται κυρίως στις ΗΠΑ έχει χαμηλότερες αποδόσεις που κυμαίνονται κατά 1,0 έως και 1,3 μονάδες χαμηλότερα ανά μονάδα βάρους πρώτης ύλης σε σχέση με την βιοαιθανόλη που παράγεται από ζαχαροκάλαμο στη Βραζιλία.

Η παραγωγή βιοαιθανόλης κατηγοριοποιείται σε τρεις γενιές, με βάση την πρώτη ύλη για την παραγωγή της. Οι γενιές αντιπροσωπεύουν και τις τεχνολογικές εξελίξεις στη διαδικασία παραγωγής και αποδοτικότητας των φυσικών πόρων.

1. Βιοαιθανόλη πρώτης γενιάς:

Η βιοαιθανόλη πρώτης γενιάς παράγεται από καλλιέργειες πλούσιες σε ζάχαρη και άμυλο όπως το καλαμπόκι, το σιτάρι και το ζαχαροκάλαμο. Αυτές οι πρώτες ύλες είναι καλλιέργειες τροφίμων, οδηγώντας στη συζήτηση «τροφή εναντίον καυσίμων», επειδή η χρήση αυτών των καλλιεργειών για παραγωγή βιοαιθανόλης θα μπορούσε ενδεχομένως να διαταράξει τον εφοδιασμό τροφίμων και τις τιμές. Κατά τη διαδικασία, τα σάκχαρα εξάγονται από αυτές τις καλλιέργειες και στη συνέχεια ζυμώνονται σε αλκοόλη. Όσο αφορά τις αμυλούχες καλλιέργειες όπως το καλαμπόκι, χρησιμοποιούνται ένζυμα για τη διάσπαση του αμύλου σε απλά σάκχαρα πρώτα. Στη συνέχεια η αιθανόλη διαχωρίζεται από το μίγμα με απόσταξη. Το κύριο πλεονέκτημα της πρώτης γενιάς βιοαιθανόλης είναι ότι η τεχνολογία είναι καλά εδραιωμένη και εμπορικά βιώσιμη. Ωστόσο, επικρίνεται για τον αντίκτυπό της στην παροχή τροφίμων και για το ότι δεν είναι μια πλήρως βιώσιμη ή φιλική προς το περιβάλλον λύση, καθώς η καλλιέργεια αυτών των καλλιεργειών απαιτεί γη, νερό και ενέργεια και μπορεί να περιλαμβάνει σημαντικές εκπομπές CO₂.

2. Βιοαιθανόλη δεύτερης γενιάς:

Η βιοαιθανόλη δεύτερης γενιάς παράγεται από λιγνοκυτταρινική βιομάζα, η οποία περιλαμβάνει μη εδωδιμες καλλιέργειες, γεωργικά υπολείμματα όπως το καλαμπόκι και το άχυρο σίτου, υπολείμματα δασών και ειδικές ενεργειακές καλλιέργειες όπως το χόρτο και ο μισκάνθος. Αυτή η γενιά στοχεύει να ξεπεράσει τους περιορισμούς των βιοκαυσίμων πρώτης γενιάς που ανταγωνίζονται τις καλλιέργειες τροφίμων. Η κύρια πρόκληση στην παραγωγή βιοαιθανόλης δεύτερης γενιάς είναι η διάσπαση της δομής της λιγνίνης και της κυτταρίνης για να απελευθερωθούν τα ζυμώσιμα σάκχαρα. Αυτή η διαδικασία, γνωστή ως υδρόλυση, είναι πιο περίπλοκη και δαπανηρή από τη ζύμωση απλών σακχάρων σε βιοαιθανόλη πρώτης γενιάς. Ωστόσο, οι εξελίξεις στην τεχνολογία βελτιώνουν σταδιακά την αποτελεσματικότητα και τη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας αυτής της διαδικασίας. Η βιοαιθανόλη δεύτερης γενιάς έχει χαμηλότερο αποτύπωμα άνθρακα σε σύγκριση με την πρώτη γενιά και δεν ανταγωνίζεται τις καλλιέργειες τροφίμων, καθιστώντας την μια πιο βιώσιμη επιλογή.

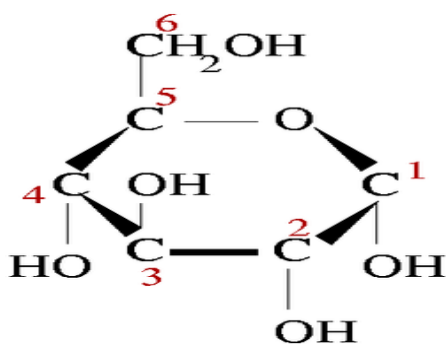
3. Βιοαιθανόλη τρίτης γενιάς:

Η βιοαιθανόλη τρίτης γενιάς, που συχνά αναφέρεται ως προηγμένα βιοκαύσιμα, παράγεται από φύκια και άλλες ταχέως αναπτυσσόμενες πρώτες ύλες υψηλής απόδοσης. Τα φύκια, μπορούν να παράγουν μεγάλη ποσότητα βιομάζας ανά στρέμμα, να καλλιεργηθούν σε μη καλλιεργήσιμη γη και να χρησιμοποιήσουν λύματα, αποφεύγοντας έτσι τον ανταγωνισμό με την παραγωγή τροφίμων,

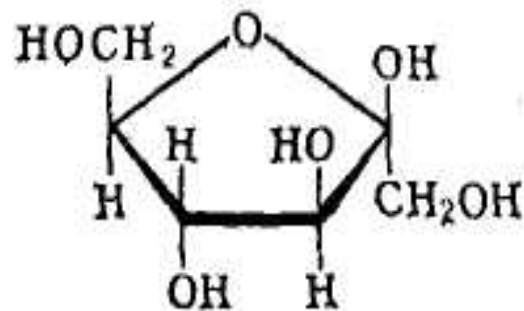
μειώνοντας και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Τα φύκια και άλλες παρόμοιες πρώτες ύλες έχουν επίσης τη δυνατότητα να παράγουν όχι μόνο αιθανόλη αλλά και άλλα πολύτιμα προϊόντα, διάφορες χημικές ουσίες όπως και βιοντίζελ. Αυτή η ευελιξία τα καθιστά δυνητικά πολύτιμο πόρο για τη μελλοντική παραγωγή βιοκαυσίμων. Οι κύριες προκλήσεις με τη βιοαιθανόλη τρίτης γενιάς είναι τεχνολογικές και εμπορικές. Είναι σχετικά νέο πεδίο και οι μέθοδοι για την καλλιέργεια, τη συγκομιδή, την επεξεργασία των πρώτων υλών σε αιθανόλη εξακολουθούν να αναπτύσσονται και να βελτιστοποιούνται (Πατρινού, 2017). Προς το παρόν, η παραγωγή βιοαιθανόλης τρίτης γενιάς δεν είναι ακόμη εμπορικά βιώσιμη σε μεγάλη κλίμακα. (Srivastava & Mishra, 2022)

3.2 Υπάρχουσες διατάξεις και τεχνολογίες

Η βιομάζα, συνήθως με τη μορφή ενεργειακών καλλιεργειών, έχει τη δυνατότητα να παράγει βιοαιθανόλη μέσω της ζύμωσης. Κατά τη διαδικασία ζύμωσης, ορισμένα είδη καταναλώνουν τα σάκχαρα της βιομάζας και με την πέψη τους, παράγουν αιθανόλη και διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) ως παραπροϊόντα. Η βιομάζα περιέχει συνήθως μια σειρά σύνθετων υδατανθρακικών πολυμερών που ονομάζονται κυτταρίνη (cellulose), η οποία βρίσκεται στα κυτταρικά τοιχώματα των φυτών. Για να παραχθούν αρκετά σάκχαρα (μονοσακχαρίτες, γλυκόζη C₆H₁₂O₆, φρουκτόζη κλπ) για τη ζύμωση, η βιομάζα είναι απαραίτητο να υποστεί επεξεργασία με ειδικά οξέα ή ένζυμα. (Srivastava & Mishra, 2022)



Εικόνα 17 Χημική δομή μορίου α-γλυκόζης



Εικόνα 18 Χημική δομή μορίου φρουκτόζης

Τα ένζυμα διασπούν τα πιο ανθεκτικά φυτικά κύτταρα, αποκαλύπτοντας την εσωτερική δομή τους μέσω της διαδικασίας της υδρόλυσης. Η υδρόλυση της κυτταρίνης παράγει το σάκχαρο σακχαρόζη, το οποίο μπορεί στη συνέχεια να ζυμωθεί για να παραχθεί αιθανόλη.

Υπάρχουν τρεις κύριοι τρόποι για την εξαγωγή σακχάρων από τη βιομάζα:

α) ενζυμική υδρόλυση, β) αραιή όξινη υδρόλυση και γ) πυκνή όξινη υδρόλυση.

Ενζυμική υδρόλυση: Ένζυμα όπως οι κυτταζομυκίνες, ξυλομυκίνες, μανανάσες προστίθενται στην βιομάζα. Αυτά τα ένζυμα διασπούν τα φυτικά κύτταρα και υδρολύουν την κυτταρίνη για την παραγωγή σακχαρόζης. Η μέθοδος αυτή αποτελεί πρόσφατη καινοτομία και προς το παρόν είναι πολύ δαπανηρή στην εφαρμογή της. Ωστόσο, αναμένεται να γίνει πιο οικονομική με την πάροδο του χρόνου καθώς η διαδικασία τελειοποιείται.

Υδρόλυση με αραιό οξύ: Αυτή η μέθοδος είναι η παλαιότερη και απλούστερη. Είναι επίσης επί του παρόντος ο πιο αποτελεσματικός τρόπος χρήσης βιομάζας για την παραγωγή αιθανόλης, αν και αυτό μπορεί να αλλάξει στο μέλλον. Η διεργασία αποτελείται από δύο στάδια, κάθε φορά με την προσθήκη θεικού οξέος (αραιωμένου σε λιγότερο από 1% και θερμαινόμενου στους 190 - 215 °C)

στη βιομάζα. Το ασθενές οξύ και η υψηλή θερμότητα υδρολύουν την κυτταρίνη. Το υγρό που προκύπτει έχει τη δυνατότητα στη συνέχεια να ανακτηθεί και να υποστεί επεξεργασία.

Συμπυκνωμένη όξινη υδρόλυση: Η συμπυκνωμένη όξινη υδρόλυση χρησιμοποιεί ισχυρότερη συγκέντρωση (70-77%) θειικού οξέος, το οποίο προστίθεται στην αποξηραμένη βιομάζα και θερμαίνεται σε θερμοκρασία 50 °C. Στη συνέχεια, το μείγμα αραιώνεται με νερό έως ότου η συγκέντρωση είναι μεταξύ 20 – 30 °C, πριν θερμανθεί στους 100 °C για μία ώρα. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι μια γέλη που μπορεί να πιεστεί για να απελευθερώσει ένα μείγμα ζάχαρης και οξέος. Το μείγμα διαχωρίζεται με χρήση χρωματογραφικής στήλης.

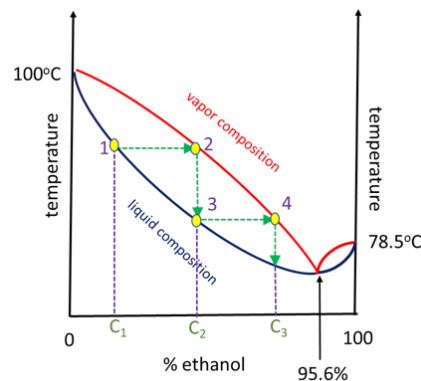
Στην παραγωγή βιοαιθανόλης πρέπει να ακολουθηθούν διάφορα στάδια όπως η προετοιμασία της πρώτης ύλης, η ζύμωση, η απόσταξη, η αφυδάτωση που συνοδεύονται από ξεχωριστές τεχνολογίες και εξοπλισμό που απαιτούνται ανάλογα με τον τύπο της ύλης και της κλίμακας παραγωγής. Η διαδικασία ξεκινάει από την προετοιμασία της Α' ύλης για ζύμωση. Για την παραγωγή βιοαιθανόλης πρώτης γενιάς χρησιμοποιούνται ζαχαροκάλαμο, καλαμπόκι ενώ η δεύτερη γενιά βιοαιθανόλης χρειάζεται συχνά προεπεξεργασία με τη χρήση ατμού, ή χημική (με όξινα αλκάλια), ή και βιολογική (με ένζυμα και μικροοργανισμούς). Παράδειγμα αποτελεί η δανέζικη εταιρία Inbicon που παράγει κυτταρινική αιθανόλη χρησιμοποιώντας ατμό. Η ζύμωση περιλαμβάνει τη μετατροπή των σακχάρων και της μαγιάς σε αιθανόλη με την τεχνολογία να διαφέρει ανάλογα με την κλίμακα και την Α' ύλη. Στη Βραζιλία χρησιμοποιούνται μεγάλες ανοιχτές δεξαμενές ενώ στις Ηνωμένες Πολιτείες χρησιμοποιούν συστήματα κλειστών δεξαμενών υπό ελεγχόμενες συνθήκες. (Goldman, 2011)

Σημαντική είναι η βελτιστοποίηση της διαθεσιμότητας των θρεπτικών συστατικών, η ρύθμιση της θερμοκρασίας, το επίπεδο του pH που διασφαλίζουν ασφαλείς συνθήκες, χωρίς μόλυνση και ποιοτική βελτίωση. Οι διαδικασίες ταυτόχρονης σακχαροποίησης και ζύμωσης (SSF) ή ενοποιημένης βιοεπεξεργασίας (CBP) έχουν νόημα σε περιπτώσεις που περιλαμβάνουν παραγωγή κυτταρινικής αιθανόλης συνδυάζοντας στάδια υδρόλυσης και ζύμωσης για μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα. (Chandel, et al., 2007)

Οι εταιρείες Novozymes και Du Pont αναγνώρισαν τη σημασία των γενετικά τροποποιημένων ζυμών που μπορούν να ζυμώνουν σύνθετα σάκχαρα που βρίσκονται στην λιγνοκυτταρινική βιομάζα. Στη διαδικασία ζύμωσης, αρχικά υπολείπεται ένα μείγμα το λεγόμενο "μπίρα" αποτελούμενο από 10-15% αιθανόλη. Ο διαχωρισμός της αιθανόλης από αυτό απαιτεί απόσταξη, κάτι που γίνεται στο χαμηλό σημείο βρασμού της, τους 78°C, με πολλαπλές βαθμίδες, επιτυγχάνοντας αυξημένη συγκέντρωση αιθανόλης, ενώ εξαλείφονται τα ανεπιθύμητα υλικά μέσω τεχνικών διαχωρισμού, όπως οι βαθμίδες ανόρθωσης. Η ενεργειακά αποδοτική χρήση της απόσταξης και η βέλτιστη αξιοποίηση της θερμότητας μειώνει την κατανάλωση ενέργειας της διαδικασίας.

Εταιρείες όπως η Praj Industries και η Vogelbusch κατασκευάζουν εξοπλισμούς απόσταξης που έχουν σχεδιαστεί για διαδικασίες παραγωγής βιοαιθανόλης. Μετά την απόσταξη, η αιθανόλη θεωρείται "υγρή" λόγω του σχηματισμού αζεοτρόπου (μείγμα ουσιών όπου η ατμοσφαιρική σύνθεση είναι ίδια με τη σύνθεση του υγρού). Αυτό σημαίνει πως δεν μπορεί με απόσταξη να αυξηθούν οι θαμοί αλκοόλης πάνω από τους 95,6% Συνεπώς απαιτείται αφυδάτωση για την εξάλειψη της απομένουσας υγρασίας, με αποτέλεσμα την παραγωγή άνυδρης αιθανόλης που προορίζεται για ανάμειξη με βενζίνη. Αυτή η αφυδάτωση γίνεται με την προσρόφηση από μοριακά κόσκινα ή την αζεοτροπική απόσταξη, που περιλαμβάνει τη διάσπαση των αζεοτρόπων αιθανόλης - νερού με χημικές ουσίες όπως η βενζίνη διαλύοντας την υπάρχουσα ένωση και δημιουργώντας μία

σταθερή σύνθεση με χαρακτηριστικό σημείο βρασμού χωρίς να μπορεί να διαχωριστεί από την ατμοσφαιρική απόσταξη. Άλλες τεχνικές περιλαμβάνουν την απόσταξη υπο πίεση όπου οι ουσίες διαχωρίζονται σε διαφορετικές πιέσεις μέσα σε έναν διαχωριστή ή αποστακτήρα υπό πίεση και η απόσταξη μεμβράνης όπου βασίζεται στη διάχυση των ουσιών μέσω μεμβρανών διαφορετικής πυκνότητας. (Νικολάου, 2022)



Διάγραμμα 1 Αζεοτροπική ένωση αιθανόλης - νερού

Για τους σκοπούς αποθήκευσης και διανομής του τελικού προϊόντος, πρέπει να υποστεί κατάλληλη επεξεργασία πριν από τη διάθεση στην αγορά, ώστε να αναμειχθεί με βενζίνη σε διάφορες αναλογίες που ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις των οχημάτων. Επιβάλλεται να διασφαλίζεται η προσεκτική επιλογή των υλικών που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση και τη μεταφορά της.

Για την επίτευξη των μέγιστων ρυθμών απόδοσης, διασφαλίζοντας και τη σταθερότητα στις λειτουργίες, απαιτείται εξειδικευμένος εξοπλισμός με ειδικές συνθήκες στην παραγωγή. Συχνά αναπτύσσονται τα κατάλληλα εργαλεία όπως νέες ιδέες για την αύξηση των ενζύμων, αποδοτικά συστήματα απόσταξης με ενέργεια ανανεώσιμων πηγών, παράλληλα με νέες προσεγγίσεις για προεπεξεργασία της πρώτης ύλης. Τα ιοντικά υγρά που συγκρατούν πολλά υγρά σε θερμοκρασία δωματίου, είναι ουσίες που διαλύουν αποτελεσματικά τα λιγνοκυτταρινικά υλικά. Η τεχνολογία προεπεξεργασίας ιοντικού υγρού πρωτοστάτησε από το JBEI, ένα ερευνητικό κέντρο βιοενέργειας των ΗΠΑ, ενώ οι τεχνολογίες υπερήχων εξακολουθούν να βελτιώνονται για το διαχωρισμό της βιομάζας και την ενζυματική ενίσχυση της, επιταχύνοντας την υδρόλυση.

Οι υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις στις διεργασίες απόσταξης και αφυδάτωσης παραμένουν μια σημαντική πρόκληση που αντιμετωπίζει η βιομηχανία παραγωγής βιοαιθανόλης. Αναπτύσσονται αποδοτικότερα μέσα που στοχεύουν στη μείωση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας έως και 30%. Η τεχνολογία απόσταξης με στήλη διαχωρισμού τοίχου (DWC) είναι μια τέτοια εφεύρεση. Οι εταιρείες επικεντρώνονται σε καινοτόμες προσεγγίσεις ζύμωσης που διεγείρονται από γενετικά τροποποιημένα μικρόβια για να παράγουν αιθανόλη και πολύτιμα πρόσθετα προϊόντα. Αυξημένο ενδιαφέρον παρουσιάζει η αξιοποίηση της απορριπτόμενης θερμότητας αερίων όπως των χαλυβουργείων που μετατρέπονται σε βιοαιθανόλη με ορισμένες καινοτόμες προσεγγίσεις.

Η υιοθέτηση βιοδιωλιστηρίου με παραγωγή βιοαιθανόλης υπόσχεται σημαντική οικονομική βελτίωση με βιώσιμα επιχειρηματικά μοντέλα των βιομηχανιών. Αυτό το σύστημα περιλαμβάνει την παραγωγή βιοκαυσίμων, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, παραγωγή θερμότητας, ακόμα και χημικές ουσίες χρήσιμες σε διάφορες βιομηχανίες όπως πχ. (CO₂ για αναψυκτικά). Η POET

ακολουθεί αυτή την λογική εγκαθιστώντας πολλές ευέλικτες μονάδες σε διαφορετικές τοποθεσίες των ΗΠΑ όπου οι ζωοτροφές παράγονται ταυτόχρονα με τις διαδικασίες δέσμευσης CO₂ που πραγματοποιούνται από τα προϊόντα της διύλισης.

Η εφαρμογή τέτοιων εγκαταστάσεων παρουσιάζει αρκετές δυσχέρειες ως προς την τεχνολογική ποικιλομορφία που αναπτύσσεται σε διάφορους τόπους με διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας που απαιτούνται για βελτιστοποιημένη παραγωγή. Η κατανόηση αυτών των τεχνικών η εφαρμογή τους αυξάνει τη δυνατότητα εκτίμησης των δυνατοτήτων της βιοαιθανόλης ως εναλλακτική ενέργεια που μπορεί να αντικαταστήσει τη συμβατική βενζίνη.

3.3 Διαδικασία παραγωγής

Η διαδικασία παραγωγής βιοαιθανόλης είναι ένας κύκλος που ξεκινά με την καλλιέργεια και τελειώνει με τη διανομή καυσίμων. Είναι μια διαδικασία πολλαπλών σταδίων που περιλαμβάνει γεωργική διαχείριση, μεταφορά πρώτης ύλης, μετατροπή σε βιοαιθανόλη, αποθήκευση και τέλος διανομή στους τελικούς χρήστες.

1. Γεωργική διαχείριση των καλλιεργειών:

Ο κύκλος παραγωγής ξεκινά με την καλλιέργεια ενεργειακών φυτών. Καλλιέργειες πλούσιες σε σάκχαρα ή άμυλο όπως το ζαχαροκάλαμο, το καλαμπόκι (βιοαιθανόλη Α' γενιάς) ή λιγνοκυτταρινικές καλλιέργειες όπως το χόρτο, ο μισκάνθος (βιοαιθανόλη Β' γενιάς). Η επιλογή της καλλιέργειας εξαρτάται από τοπικές κλιματικές συνθήκες, το έδαφος και τις συνθήκες της αγοράς.

Στα Μεσοδυτικά των ΗΠΑ, το καλαμπόκι είναι κυρίαρχη πρώτη ύλη για παραγωγή βιοαιθανόλης. Η Βραζιλία, με το τροπικό της κλίμα, βασίζεται στο ζαχαροκάλαμο. Ενώ στην Ευρώπη, το σιτάρι, τα ζαχαρότευτλα και συχνά χρησιμοποιούνται οι πρώτες ύλες Β' γενιάς. Οι γεωργικές πρακτικές διαδραματίζουν βασικό ρόλο στη βιωσιμότητα της βιοαιθανόλης. Η αμειψισπορά, η διαχείριση του εδάφους, η αποτελεσματική χρήση του νερού και η ολοκληρωμένη διαχείριση παρασίτων είναι σημαντικά για τη διατήρηση της υγείας του εδάφους, τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και τη μεγιστοποίηση της απόδοσης.

2. Συγκομιδή και μεταφορά στη μονάδα επεξεργασίας:

Μόλις ωριμάσει η καλλιέργεια, συλλέγεται και μεταφέρεται στο εργοστάσιο παραγωγής βιοαιθανόλης. Για τις καλλιέργειες σιτηρών, αυτό συνήθως περιλαμβάνει θεριζοαλωνιστικές μηχανές, ενώ για το ζαχαροκάλαμο, χρησιμοποιείται συχνά χειρωνακτική εργασία, αν και η μηχανοποίηση αυξάνεται. Η πρώτη ύλη πρέπει στη συνέχεια να αποθηκευτεί κατάλληλα για να αποφευχθεί η αλλοίωση πριν υποβληθεί σε επεξεργασία.

Η εγγύτητα του εργοστασίου παραγωγής με τη γεωργική περιοχή είναι κρίσιμη σε αυτή τη φάση. Οι μεγαλύτερες αποστάσεις μεταφοράς αυξάνουν το κόστος και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, επομένως ιδανικά η μονάδα παραγωγής θα πρέπει να βρίσκεται κοντά στην πηγή τροφοδοσίας.

3. Μετατροπή σε βιοαιθανόλη:

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η διαδικασία περιλαμβάνει διάφορα στάδια: προετοιμασία πρώτης ύλης, ζύμωση, απόσταξη και αφυδάτωση. Στις καλλιέργειες σιτηρών, οι κόκκοι αλέθονται πρώτα σε λεπτή σκόνη για να εκτεθεί το άμυλο. Το ζαχαροκάλαμο συνθλίβεται για να εξαχθεί ο χυμός. Στις λιγνοκυτταρινικές πρώτες ύλες, απαιτείται ένα στάδιο προεπεξεργασίας για τη διάσπαση της πολύπλοκης δομής και την απελευθέρωση των σακχάρων.

Η παρασκευασμένη πρώτη ύλη αναμειγνύεται στη συνέχεια με νερό και ένζυμα για να μετατραπούν τα άμυλα ή η κυτταρίνη σε απλά σάκχαρα και προστίθεται μαγιά για να ζυμωθούν αυτά τα σάκχαρα σε αιθανόλη. Το προκύπτον μίγμα στη συνέχεια αποστάζεται για να διαχωριστεί η αιθανόλη και τέλος το υπόλοιπο νερό απομακρύνεται μέσω αφυδάτωσης.

4. Αποθήκευση και διανομή:

Το τελικό προϊόν της βιοαιθανόλης πρέπει στη συνέχεια να αποθηκευτεί και να μεταφερθεί στους τελικούς χρήστες. Ανάλογα με την υποδομή, η βιοαιθανόλη μπορεί να αναμιχθεί με βενζίνη στο εργοστάσιο παραγωγής ή στο τερματικό διανομής.

Η διανομή της βιοαιθανόλης περιλαμβάνει παρόμοιες υποδομές όπως της βενζίνης, δηλαδή αγωγούς, βυτιοφόρα, σιδηροδρομικά και θαλάσσια οχήματα. Ωστόσο, λόγω της πιθανότητας η αιθανόλη να απορροφά υγρασία αλλά και λόγω της ελαφριάς διαβρωτικής της πρέπει να χρησιμοποιούνται συγκεκριμένα υλικά και διαδικασίες για την αποφυγή μόλυνσης.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, για παράδειγμα, η βιοαιθανόλη μεταφέρεται τυπικά από τις εγκαταστάσεις παραγωγής στους τερματικούς σταθμούς διανομής σιδηροδρομικών, όπου στη συνέχεια αναμειγνύεται με βενζίνη και διανέμεται με βυτιοφόρα στα πρατήρια καυσίμων.

Στη Βραζιλία, χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός αγωγών, σιδηροδρομικών και οδικών μεταφορών και η πλειονότητα των οχημάτων είναι οχήματα ευέλικτου καυσίμου που μπορούν να κινούνται με βενζίνη, αιθανόλη ή ένα μείγμα και των δύο. Έτσι, πολλά πρατήρια καυσίμων προσφέρουν τόσο καθαρή άνυδρη αιθανόλη (E100) όσο και μείγμα βενζίνης-αιθανόλης (E25).

Συνολικά, ο κύκλος παραγωγής βιοαιθανόλης περιλαμβάνει μια σύνθετη σειρά σταδίων, το καθένα με τις συγκεκριμένες απαιτήσεις και προκλήσεις του. Η βελτιστοποίηση αυτής της διαδικασίας από το χωράφι στην αντλία καυσίμου είναι το κλειδί και την οικονομική βιωσιμότητα της βιοαιθανόλης ως εναλλακτικό καύσιμο.

Διανομή και τελική χρήση:

Μόλις παραχθεί η βιοαιθανόλη, πρέπει να μεταφερθεί σε πρατήρια καυσίμων για διανομή στους τελικούς χρήστες. Η ενέργεια που καταναλώνεται στις μεταφορές, και οι εκπομπές GHG (greenhouse gas) που προκύπτουν από αυτές, εξαρτώνται από την απόσταση και τον τρόπο μεταφοράς. Όταν η βιοαιθανόλη χρησιμοποιείται ως καύσιμο, καίγεται απελευθερώνοντας CO₂. Ωστόσο, δεδομένου ότι ο άνθρακας στη βιοαιθανόλη προέρχεται από το CO₂ που απορροφάται από την ατμόσφαιρα από τις καλλιέργειες πρώτης ύλης, οι καθαρές εκπομπές από την καύση βιοαιθανόλης θεωρούνται χαμηλότερες από εκείνες των ορυκτών καυσίμων.

Διαχείριση αποβλήτων

Τα απόβλητα που παράγονται κατά την παραγωγή βιοαιθανόλης, συμπεριλαμβανομένων των υπολειμμάτων πλούσια σε λιγνίνη και της χρησιμοποιημένης μαγιάς και των ενζύμων, είναι απαραίτητο να απορρίπτονται περιβαλλοντικά ή να ανακυκλώνονται. Εάν αντιμετωπιστούν σωστά, αυτά τα παραπροϊόντα μπορούν να χρησιμοποιηθούν επωφελώς για παραγωγή ενέργειας, ζωοτροφές ή άλλες εφαρμογές, μειώνοντας τις συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις της διαδικασίας.

Συμπερασματικά, ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος της βιοαιθανόλης, όπως αξιολογείται από μια ΑΚΖ(Ανάλυση Κύκλου Ζωής), εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως ο τύπος και η διαχείριση της πρώτης ύλης, η πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται στη διαδικασία, η αποτελεσματικότητα της τεχνολογίας μετατροπής και οι πρακτικές διαχείρισης αποβλήτων. Τα ακριβή στοιχεία μπορεί να διαφέρουν αφού πολλές ΑΚΖ έχουν διαπιστώσει ότι η βιοαιθανόλη μπορεί να έχει μικρότερο περιβαλλοντικό αντίκτυπο από τη συμβατική βενζίνη, ειδικά όσον αφορά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, όταν ακολουθούνται οι βέλτιστες πρακτικές. Ωστόσο, ζητήματα όπως η αλλαγή χρήσης γης και η χρήση νερού πρέπει επίσης να εξεταστούν προσεκτικά για να διασφαλιστεί η βιωσιμότητα της παραγωγής βιοαιθανόλης. (Chandel, et al., 2007)

Οικονομικές προκλήσεις:

Η παραγωγή βιοαιθανόλης περιλαμβάνει διάφορες χημικές εφαρμογές κατά τη διάρκεια διαφορετικών σταδίων, όπως διαδικασίες προεπεξεργασίας και αφυδάτωσης. Ωστόσο, οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων οφείλουν να σταθμίζουν προσεκτικά το κόστος κάθε δυνατότητας έναντι οποιασδήποτε αύξησης στην αποτελεσματικότητα που θα φέρει πριν προβούν σε οποιαδήποτε επιλογή σχετικά με το ποιες είναι οι ιδανικές χημικές διεργασίες για το συγκεκριμένο έργο τους. (Chandel, et al., 2007)

Σε ειδικές περιπτώσεις, όπως η διάσπαση των λιγνοκυτταρινικών δομών σε ζυμώσιμα σάκχαρα στην παραγωγή βιοαιθανόλης δεύτερης γενιάς απαιτούνται διαφορετικές προσεγγίσεις όπως αραιόθεικό οξύ ή υδροξείδιο του νατρίου με δυνατότητα εξοικονόμησης κόστους ή του κινδύνου αύξηση των εξόδων.

Επιπλέον, η ζύμωση μαγιάς και ενζύμων μπορεί να είναι ακριβή είτε χρησιμοποιούνται φυσικές ή ειδικά κατασκευασμένες ποικιλίες που μπορεί να αντέξουν υψηλότερες συγκεντρώσεις αιθανόλης ή ευρύτερο φάσμα σακχάρων.

Μια σημαντική πρόκληση που αντιμετωπίζει η παραγωγή βιοαιθανόλης είναι η ενεργοβόρα φύση της. Τα στάδια απόσταξης και αφυδάτωσης απαιτούν αρκετή ενέργεια. Έτσι, οι μηχανισμοί εξοικονόμησης ενέργειας, όπως τα συστήματα ενσωμάτωσης θερμότητας για την προθέρμανση της πρώτης ύλης, έχουν σημασία για την εξασφάλιση οικονομικής σκοπιμότητας.

Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας:

Πολλές βιομηχανίες σήμερα επιδιώκουν να επιτύχουν μεγαλύτερη βιωσιμότητα εφαρμόζοντας τρόπους ώστε να παράγουν τη δική τους ενέργεια. Σε ορισμένες περιπτώσεις αυτό περιλαμβάνει την εύρεση ευεργετικών χρήσεων για υποπροϊόντα που αναπτύχθηκαν κατά τη διάρκεια σχετικών διεργασιών. Ένα παράδειγμα είναι τα υπολείμματα προεπεξεργασίας που προέρχονται από την

επεξεργασία λιγνοκυτταρίνης. Αυτά τα υπόλειμματα μεταφέρουν σημαντικές ποσότητες λιγνίνης που έχει τη δυνατότητα να καεί για την παραγωγή θερμότητας ή ηλεκτρικής ενέργειας. Υπό αυτές τις συνθήκες απαιτείται λιγότερη εξάρτηση από εξωτερικές πηγές ενέργειας, μειώνοντας τις αρνητικές επιπτώσεις προς το περιβάλλον. Σημαντικές επιπτώσεις, συμπεριλαμβανομένου του κόστους, είναι δυνατόν να φανούν όσον αφορά την παραγωγή βιοαιθανόλης. Έτσι, για να προωθηθούν πιο βιώσιμες και προσιτές λύσεις, οι ερευνητικές προσπάθειες δίνουν έμφαση στην καινοτομία.

Ένζυμα και ουσίες

Τα ένζυμα και οι χημικές ουσίες που εμπλέκονται στην παραγωγή της βιοαιθανόλης αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της διαδικασίας παρασκευής της, ειδικά κατά τα στάδια υδρόλυσης (ζύμωσης) και αφυδάτωσης.

Στάδιο υδρόλυσης (ζύμωσης): Στη διαδικασία αυτή, ένζυμα χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή πολυσακχαριτών (σύνθετα σάκχαρα) σε μονοσακχαρίτες (απλά σάκχαρα), οι οποίοι μπορούν να ζυμωθούν από μαγιά σε αιθανόλη. Για τις πρώτες ύλες με βάση το άμυλο, χρησιμοποιούνται αμυλάσες, ενώ για πρώτες ύλες με βάση την κυτταρίνη, χρησιμοποιείται συνδυασμός κυτταρινασών και ημικυτταρινασών.

Αμυλάσες: Αυτά τα ένζυμα διασπούν το άμυλο σε απλά σάκχαρα. Υπάρχουν δύο τύποι: η άλφα-αμυλάση, η οποία διασπά το άμυλο σε μικρότερες αλυσίδες και η γλυκοαμυλάση, η οποία μετατρέπει αυτές τις μικρές αλυσίδες σε γλυκόζη.

Κυτταράσες και ημικυτταράσες: Αυτά τα ένζυμα συνεργάζονται για να διασπάσουν την κυτταρίνη και την ημικυτταρίνη στο κυτταρικό τοίχωμα των φυτών σε απλά σάκχαρα.

Η διαδικασία υδρόλυσης γενικά λειτουργεί σε pH περίπου 4 - 5 και θερμοκρασία 50-60°C. Οι βέλτιστες συνθήκες εξαρτώνται από τα συγκεκριμένα ένζυμα και τις πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται.

Απόσταξη

Κατά την απόσταξη, το ζυμεμένο μείγμα (μπίρα) περνά από μια διαδικασία απόσταξης, κατά την οποία απομακρύνονται τυχόν υπολείμματα και παραπροϊόντα, και παράγεται καθαρή αιθανόλη. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται όσες φορές χρειαστεί ώστε το υλικό να φτάσει στην αζεοτρόπο σύνθεσή του που συγκεκριμένα βρίσκεται στους 95,6 βαθμούς. Με τη χρήση των στηλών απόσταξης υπάρχει δυνατότητα για εξαγωγή και άλλων προϊόντων όπως η μεθανόλη βοηθώντας και τη διαδικασία καθαρότητας της τελικής αιθανόλης. Τα υπολείμματα των αποστάξεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή νέων προϊόντων όπως ζωοτροφές και βιοντίζελ ενώ τα χαμηλότερα σε αλκοόλ υγρά που προκύπτουν για ανατροφοδοσία της διαδικασίας κατά την αρχική απόσταξη.

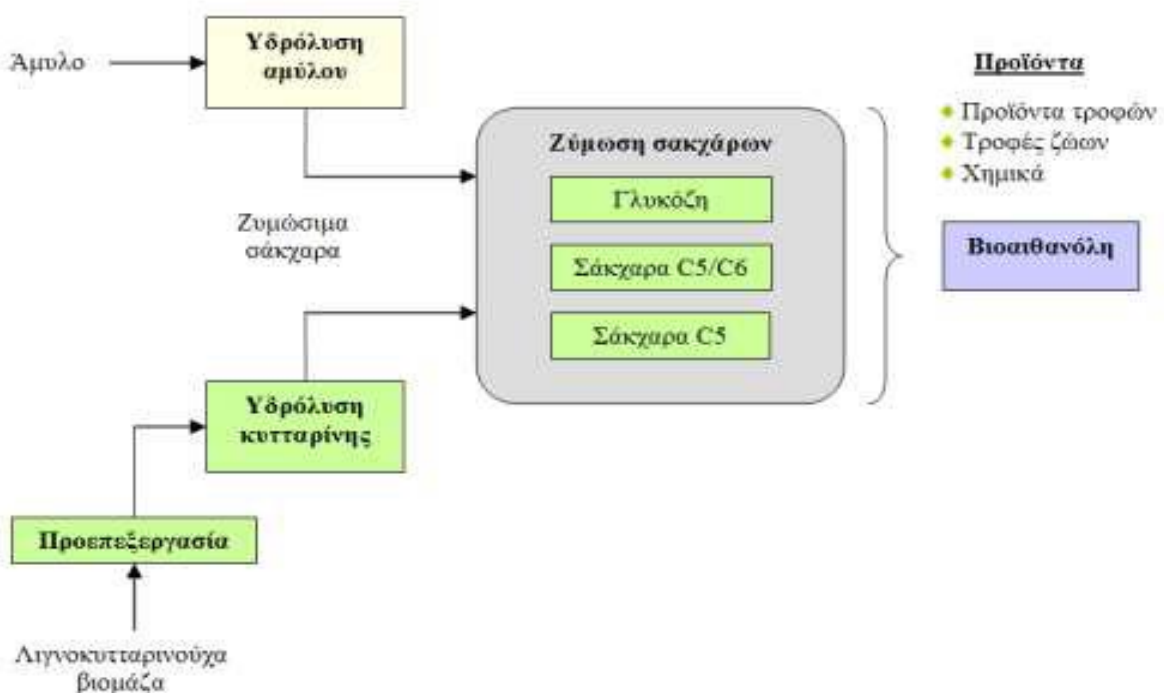
Αφυδάτωση

Το στάδιο της αφυδάτωσης είναι απαραίτητο επειδή η αιθανόλη που παράγεται μέσω της ζύμωσης αναμιγνύεται με νερό και πρέπει να καθαριστεί για να φτάσει σε βαθμό καυσίμου. Αυτό συνήθως περιλαμβάνει μια διαδικασία γνωστή ως αζεοτροπική απόσταξη, ακολουθούμενη από αφυδάτωση με μοριακό κόσκινο.

Αζεοτροπική απόσταξη: Η αιθανόλη και το νερό σχηματίζουν ένα αζεότροπο, ένα μείγμα που βράζει σε σταθερή θερμοκρασία και παράγει ατμό με την ίδια σύσταση με το υγρό. Αυτό σημαίνει ότι η συμβατική απόσταξη δεν μπορεί να διαχωρίσει εντελώς τα δύο. Για να ξεπεραστεί αυτό, προστίθεται ένα τρίτο συστατικό για να σπάσει το αζεότροπο. Συνήθως είναι ένας διαλύτης όπως όπως το βενζόλιο (βενζίνη) ή πιο συχνά στις σύγχρονες εγκαταστάσεις βιοαιθανόλης, το κυκλοεξάνιο. Το μίγμα στη συνέχεια αποστάζεται, διαχωρίζοντας την αιθανόλη από το νερό και το τρίτο συστατικό.

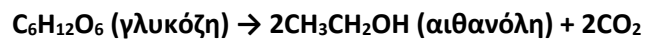
Αφυδάτωση μοριακού κόσκινου: Μετά την συμβατική απόσταξη, η αιθανόλη εξακολουθεί να περιέχει περίπου 5% νερό. Για να αφαιρεθεί αυτό, η αιθανόλη περνά μέσα από ένα στρώμα μοριακών κόσκινων, τα οποία είναι υλικά με μικροσκοπικούς πόρους που προσροφούν επιλεκτικά τα μικρότερα μόρια νερού. Οι πόροι αυτοί έχουν μέγεθος 0.3nm και είναι ικανοί να απορροφούν τα μόρια του νερού ενώ τα μόρια της αιθανόλης όντας μεγαλύτερα όχι. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για αυτά τα κόσκινα είναι συνήθως ζεόλιθος και θειικός χαλκός. Αυτά τα υλικά είναι αναγεννήσιμα δηλαδή μπορούν να ξηραθούν και να ξαναχρησιμοποιηθούν πάλι σαν σφουγγάρια.

Η συνεχιζόμενη έρευνα και ανάπτυξη στοχεύει στην εύρεση πιο αποτελεσματικών και οικονομικά αποδοτικών τρόπων διεξαγωγής αυτών των σταδίων, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης πιο αποτελεσματικών ενζύμων και της διερεύνησης νέων μεθόδων αφυδάτωσης.



Διάγραμμα 2: Παραγωγή βιομάζας από σακχαρούχες, αμυλούχες και λιγνοκυτταρινούχες ουσίες

Τα σάκχαρα αποτελούν ένα σύνολο κρυσταλλικών ουσιών, τα οποία περιλαμβάνουν την λακτόζη, τη σακχαρόζη και την φρουκτόζη. Η χημική εξίσωση παραγωγής της αιθανόλης από γλυκόζη είναι η παρακάτω.



Η μετατροπή της σακχαρόζης σε αιθανόλη είναι ευκολότερη σε σύγκριση με τις αμυλούχες τροφές και την λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα επειδή δεν απαιτείται υδρόλυση των σακχάρων από την στιγμή που τα δισακχαρίδια μπορούν να διασπαστούν από ζυμώσιμα κύτταρα. Η κύρια διεργασία που απαιτείται για την παραγωγή της βιοαιθανόλης από σάκχαρα είναι η διεργασία της ζύμωσης, σύμφωνα με την οποία ένα μόριο εξόζης μετατρέπεται σε δύο μόρια αιθανόλης και ένα μόριο διοξειδίου του άνθρακα. (Danúbia Paula Cadore Favaretto, 2023)

3.4 Διάφορες χρήσεις

Η βιοαιθανόλη έχει καθιερωθεί με την πάροδο του χρόνου ως μια ευέλικτη ουσία που προσφέρει εξαιρετικά οφέλη με εφαρμογές σε πολλές βιομηχανικές πρακτικές. Έχοντας χαρακτηριστικά καθαρής καύσης και υψηλό βαθμό οκτανίων, είναι ένα από τα προτιμώμενα καύσιμα που διατίθενται τόσο στις αγορές λιανικής όσο και χονδρικής, δεδομένης της καταλληλότητας των ποικίλων εφαρμογών.

Τα οχήματα μεταφοράς συγκαταλέγονται στους δημοφιλείς χρήστες βιοαιθανόλης με διαφορετικά μείγματα όπως E10, E15 ή έως και 85% αιθανόλη που χρησιμοποιούνται μαζί με σταθεροποιητές βενζίνης παρέχοντας χαμηλότερες εκπομπές όταν καίγονται αποτελεσματικά. Δεσμεύουν επικίνδυνους ρύπους όπως μονοξείδιο του άνθρακα ή σωματίδια επιβλαβή για τη δημόσια υγεία. Η μέση διακύμανση της τιμολόγησης μεταξύ των διαφόρων μειγμάτων εξαρτάται από τη δυναμική της προσφοράς της αγοράς, αν και οι πελάτες μπορούν να αναμένουν τιμές που κυμαίνονται μεταξύ περίπου 2,50 \$ ανά γαλόνι για τα καύσιμα E85, ενώ πιο κοντά στα 3,00 \$ ανά γαλόνι λειτουργεί για κανονικά μείγματα βενζίνης-αιθανόλης όπως το E10, καθιστώντας το δημοφιλές σε αγορές που ανταγωνίζονται ευνοϊκά έναντι παραδοσιακές εναλλακτικές λύσεις βενζίνης όπως αποδεικνύεται από χώρες όπως η Βραζιλία όπου τα καύσιμα E100 αντιπροσωπεύουν σημαντική ζήτηση.

Οι διαλυτικές ιδιότητες της βιοαιθανόλης την καθιστούν πολύτιμη στον κατασκευαστικό χώρο, επιδεικνύοντας τις ικανότητες επίλυσης οργανικών ενώσεων κατάλληλων για σειρά εφαρμογών που κυμαίνονται από βερνίκια αρωμάτων, μελάνια έως χρώματα με ανταγωνιστικές τιμές κόστους που ανταγωνίζονται τις πετροχημικές επιλογές καθιστώντας την μια προτιμώμενη επιλογή από επιχειρήσεις που αναζητούν να παραμείνουν φιλικό προς το περιβάλλον. Η βιοαιθανόλη αναμένεται να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στον τομέα αυτό ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες όπου χρησιμοποιείται ως καύσιμο μαγειρέματος και θέρμανσης λόγω της καθαρότερης φύσης της σε σύγκριση με τα παραδοσιακά καύσιμα βιομάζας.

Αυτό το εναλλακτικό καύσιμο μειώνει επίσης την ατμοσφαιρική ρύπανση των εσωτερικών χώρων και τα προβλήματα υγείας που ενδεχόμενως προκύπτουν από την καύση. Η διακύμανση της τιμής είναι κοινή για αυτές τις χρήσεις βιοαιθανόλης παραμένοντας προσιτή σε κάθε χρήση της. Όσο αφορά τις μελλοντικές πιθανές χρήσεις, η έρευνα και η τεχνολογία προχωρούν, ανοίγοντας νέες ευκαιρίες για τη βιοαιθανόλη. Τα βιοκαύσιμα για τις αερομεταφορές και τις θαλάσσιες μεταφορές

είναι δυνατόν να παρουσιάζονται ως ευκαιρίες, καθώς αυτοί οι τομείς θέτουν μεγαλύτερες προκλήσεις όσον αφορά την απαλλαγή από τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε σχέση με τις οδικές μεταφορές. (Μαλλιόπουλος, 2018)

Η χρήση της βιοαιθανόλης ως πρώτης ύλης για χημικά και υλικά βιολογικής βάσης είναι δυνατόν να αυξηθεί στην προσπάθεια των κοινωνιών απεξάρτησης από ορυκτά καύσιμα. Με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας να ανθούν διεθνώς η αποθήκευση ενέργειας σε αιθανόλη γίνεται σημαντική με την υψηλή ενεργειακή της πυκνότητα σε υγρή μορφή συγκρίνοντας την με τις μπαταρίες. Η βιοαιθανόλη θέτει τον εαυτό της ως ιδανικό υποψήφιο για την αποθήκευση περίσσειας ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Λαμβάνοντας υπόψη τις πληροφορίες σχετικά με την ευελιξία και τη σημασία της βιοαιθανόλης παγκοσμίως, συμπεραίνεται ότι οι εφαρμογές της θα επεκτείνονται σε αξία παράλληλα με την πρόοδο της τεχνολογίας και την εξέλιξη της αγοράς. Η σταθερότητα και η ευελιξία των σύγχρονων συστημάτων ισχύος εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την αποθήκευση ενέργειας.

Η βιοαιθανόλη έχει υψηλή ενεργειακή πυκνότητα συγκριτικά με τις τρέχουσες τεχνολογίες μπαταριών καθιστώντας την ιδανική για συμπαγείς εφαρμογές όπως οχήματα ή αστικές ρυθμίσεις. Επιπροσθέτως. Η βιοαιθανόλη μπορεί να αξιοποιήσει την υπάρχουσα πετρελαϊκή υποδομή για αποθήκευση και μεταφορά. Αυτό εξαλείφει την ανάγκη για νέα οχήματα ή σταθμούς ανεφοδιασμού για την άμεση απαλλαγή από τις ανθρακούχες μεταφορές.

Η βιοαιθανόλη είναι ανανεώσιμη και βιώσιμη, καθώς παράγεται από πηγές βιομάζας όπως γεωργικά υπολείμματα, ενεργειακές καλλιέργειες και απόβλητα. Η χρήση ανανεώσιμων υλικών βιομάζας για την παραγωγή αιθανόλης συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ενώ προάγει την ενεργειακή ανεξαρτησία. Στο μέλλον, η τεχνολογία κυψελών καυσίμου μπορεί να ενισχύσουν τις δυνατότητες της βιοαιθανόλης ως μέσο για την αποτελεσματική αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας κατόπιν ζήτησης.

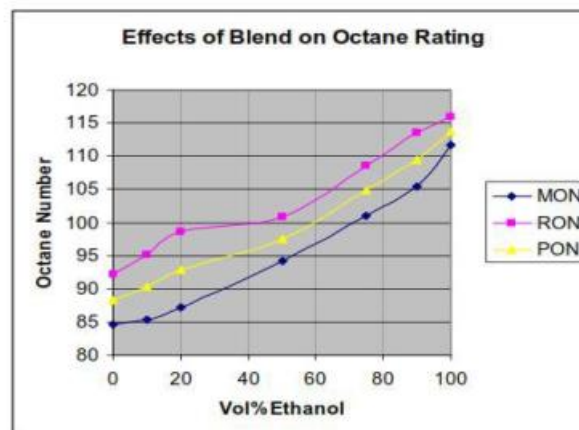
Οι πρόοδοι στις τεχνικές παραγωγής που περιλαμβάνουν διεργασίες με βάση την κυτταρίνη και τα φύκια μπορεί να αυξήσουν την απόδοση σε εκθετικό βαθμό ενώ την καθιστούν πιο φιλική προς το περιβάλλον. Όταν πρόκειται για αποθήκευση ενέργειας, η βιοαιθανόλη δεν είναι καλή μόνο για συμβατική καύση. Αποτελεσματικές μέθοδοι όπως η πυρόλυση ή η αεριοποίηση προσφέρουν ανώτερα αποτελέσματα δημιουργώντας ποικίλες βιώσιμες βιοχημικές ενώσεις. (Wyman, 1996)

Συνολικά, η αιθανόλη χρησιμεύει ως μια εξαιρετικά ευέλικτη και φιλική προς το περιβάλλον επιλογή ικανή να υποκαταστήσει τα επιβλαβή για το κλίμα ορυκτά καύσιμα, καθώς παρέχει αποτελεσματική υποστήριξη αποθήκευσης ενέργειας μέσω ισχυρών υπάρχουσών υποδομών, κάνοντας εύκολη τη μετάβαση προς βιώσιμες λύσεις. Οι συνεχείς τεχνολογικές εξελίξεις θα εξασφαλίσουν συνεχή καινοτομία στα πεδία λειτουργίας, με αποτέλεσμα καλύτερη παραγωγικότητα, αυξάνοντας περαιτέρω την εμπιστοσύνη των χρηστών σε αυτήν την επιλογή εναλλακτικών ανανεώσιμων καυσίμων παγκοσμίως.

3.5 Προοπτικές αξιοποίησης σε ΜΕΚ

Για πολλά χρόνια, η βιοαιθανόλη θεωρείται ως μια ελκυστική εναλλακτική επιλογή καυσίμου για κινητήρες εσωτερικής καύσης λόγω της βιώσιμης παραγωγής, της υψηλής βαθμολογίας οκτανίων και των ιδιοτήτων καθαρής καύσης της. Ωστόσο, η ενσωμάτωση της βιοαιθανόλης στην υπάρχουσα υποδομή του αυτοκινήτου απαιτεί ορισμένες προσαρμογές και τροποποιήσεις τόσο στους κινητήρες όσο και στα συστήματα διανομής καυσίμων.

Οι σύγχρονοι κινητήρες εσωτερικής καύσης είναι κατασκευασμένοι για τις φυσικές και χημικές ιδιότητες της βενζίνης. Η αιθανόλη δημιουργεί προβλήματα λόγω των διαβρωτικών δράσεων της στα μέρη του κινητήρα ενώ είναι επιρρεπής και στην απορρόφηση νερού. Αντίθετα αυτή της η ιδιότητα αφήνει πιο καθαρές τις επιφάνειες του κινητήρα από ξένα μικροσώματα και λάδια. Για να ικανοποιηθούν αυτές οι ιδιομορφίες έχουν δημιουργηθεί τα λεγόμενα οχήματα (κινητήρες) ευέλικτου καυσίμου όπου επιτρέπουν την ανάμειξη αιθανόλης-βενζίνης ή λειτουργούν με καθαρό E85 (μίγμα 15% βενζίνης και 85% αιθανόλης). Ο εγκέφαλος των σύγχρονων αυτοκινήτων μπορεί να αναγνωρίζει το μίγμα και να προσαρμόζει το μείγμα αέρα καυσίμου για μέγιστη απόδοση και υγεία του κινητήρα. Τα στατιστικά στην Βραζιλία και την Αμερική δείχνουν ότι το ποσοστό αυτών των οχημάτων είναι υψηλό επιβεβαιώνοντας την θετική τους λειτουργία. Τέλος στο εμπόριο κυκλοφορούν και προϊόντα για την πρόληψη της διάβρωσης της αιθανόλης στους κινητήρες.



Διάγραμμα 3: Αύξηση των αριθμών οκτανίου με προσθήκη βιοαιθανόλης από 0% σε 100%

Όπου MON (Motor octane number), RON (Research Octane Number), PON (Average of RON and MON)

Η προσαρμογή των υφιστάμενων αυτοκινήτων θα συνεπαγόταν τροποποίηση για να καταστεί δυνατή η αξιοποίηση των δυνατοτήτων βιοαιθανόλης υψηλών οκτανίων. Οι βελτιώσεις θα ενσωματώναν επίσης υλικά που χρησιμοποιούνται σε συστήματα καύσης από τη διάβρωση που προκαλείται από τις προδιαγραφές βιοκαυσίμων χαρακτηριστικών-υγροσκοπικής τεχνολογίας, η εφαρμογή τέτοιων ιδιοτήτων είναι αναγκαστικά ένα εγγενές μέρος του σχεδιασμού συστημάτων καυσίμου. Για να βελτιωθεί η λειτουργικότητα των κινητήρων εσωτερικής καύσης, οι κατασκευαστές έχουν τη δυνατότητα να ενσωματώσουν προηγμένα συστήματα ελέγχου, όπως άμεσο ψεκασμό και μεταβλητό χρονισμό βαλβίδων μαζί με λειτουργίες ευαίσθητες στην αιθανόλη. Η χρήση τέτοιων

προσαρμόσιμων διαδικασιών συνδράμει στον μετριασμό της μειωμένης απόδοσης ενέργειας κατά τη λειτουργία του κινητήρα με καύσιμο βιοαιθανόλης. (Wyman, 1996)

Όσον αφορά την προσαρμογή της εφοδιαστικής για βέλτιστη μεταφορά καυσίμου, η διάβρωση του αγωγού μεταφοράς καυσίμου πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη για την ασφαλή μεταφορά που απαιτεί φορτηγά, βαγόνια ή φορτηγίδες για τη μεταφορά βιοαιθανόλης. Επιπλέον εξειδικευμένες αντλίες σε σταθμούς ανεφοδιασμού με δεξαμενές που έχουν αντίσταση στην αιθανόλη είναι επίσης απαραίτητες.

Παρόλο που υπάρχουν προκλήσεις κατά την υιοθέτηση, η αξιοποίηση του πλήρους δυναμικού θα πρέπει να επιταχυνθεί, καθώς υπάρχει αυτή τη στιγμή η πιο απαραίτητη τεχνολογία για την υιοθέτηση της βιοαιθανόλης. Συνεργασία μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών του κλάδου, όπως στελέχη αυτοκινήτων, κυβερνητικές ρυθμιστικές αρχές και υπεύθυνοι της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι χρειάζονται για τη διευκόλυνση αποτελεσματικών προσπαθειών μεγάλης κλίμακας με στόχο την πλήρη υιοθέτηση της βιοαιθανόλης. Οι αυξημένες μειώσεις των εκπομπών CO₂, η βελτίωση της ποιότητας του αέρα και η ενεργειακή ανεξαρτησία μπορούν να προκύψουν από τη χρήση της. Η βιοαιθανόλη έχει το πάνω χέρι ως μια εφικτή λύση drop-in που συνεργάζεται με την υπάρχουσα υποδομή και τα οχήματα, καθιστώντας την μια αλλαγή του παιχνιδιού στην αναζήτηση για την επίτευξη στόχων βιώσιμων μεταφορών.

Η ευρεία χρήση της βιοαιθανόλης ως καυσίμου βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στη συνοχή και την ποιότητα του προϊόντος. Ενώ υπάρχουν διάφορες πρώτες ύλες και μέθοδοι παραγωγής. Είναι σημαντικό να τηρούνται συγκεκριμένα πρότυπα ποιότητας για να διασφαλίσετε η βέλτιστη λειτουργία του κινητήρα και να αποφεύγονται πιθανές ζημιές. Ο ποιοτικός έλεγχος και η τυποποίηση είναι αναπόσπαστα στοιχεία για την επίτευξη αυτών των στόχων.

Τα πρότυπα καυσίμου βιοαιθανόλης συμβάλλουν στη διασφάλιση της συμβατότητας με κινητήρες και συστήματα καυσίμων, προσδιορίζοντας την καθαρότητα, την περιεκτικότητα σε νερό, την οξύτητα και τους ρύπους. Ωστόσο, η διασφάλιση σταθερής ποιότητας μπορεί να είναι πρόκληση λόγω του ποικίλου φάσματος πρώτων υλών και μεθόδων παραγωγής που χρησιμοποιούνται. Κάθε διαδικασία παραγωγής μπορεί να απαιτεί διαφορετικά στάδια καθαρισμού και μέτρα ποιοτικού ελέγχου για την επίτευξη βέλτιστων αποτελεσμάτων. Ωστόσο, εξακολουθούν να υπάρχουν πιθανά αρνητικά που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σχετικά με την υγεία του κινητήρα κατά τη χρήση βιοαιθανόλης. Τα διαφορετικά χαρακτηριστικά καύσης θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε αυξημένη φθορά σε ορισμένα εξαρτήματα με την πάροδο του χρόνου. Ακόμη υπάρχουν ορισμένες δυσκολίες που σχετίζονται με τη χρήση βιοαιθανόλης αντί της παραδοσιακής βενζίνης στους κινητήρες, όπως προβλήματα εκκίνησης με το κρύο που προκαλούνται από την υψηλότερη θερμοκρασία ανάφλεξης. Αυτές μπορούν να επιλυθούν χρησιμοποιώντας αποτελεσματικά μέτρα ποιοτικού ελέγχου κατά τη σχεδίαση του κινητήρα και πρόσθετες λύσεις για συστήματα καυσίμου.

Η βιοαιθανόλη έχει τη δυνατότητα να γίνει μια ζωτικής σημασίας πηγή καυσίμου, αλλά η αποδοχή της έχει παρεμποδιστεί λόγω πολλών σημαντικών προκλήσεων. Υπάρχουν πολλά εμπόδια που σχετίζονται με την οικονομία, τα εμπόδια υιοθέτησης τεχνολογίας καθώς και προκλήσεις πολιτικής που πρέπει να επιλυθούν εκ των προτέρων. Επιπλέον, λόγω της συνολικής φύσης αυτής της μετάβασης που περιλαμβάνει διάφορα συστήματα διασυνδεδεμένων ενδιαφερομένων απαιτείται αυστηρός σχεδιασμός μαζί με συνεχείς πειραματισμούς με την πάροδο του χρόνου.

3.6 Οικονομικό όφελος

Σε αντίθεση με τα αποθέματα πετρελαίου που περιορίζονται σε συγκεκριμένες περιοχές του κόσμου, η βιομάζα για τη παραγωγή βιοαιθανόλης μπορεί να προέρχεται από διαφορετικές γεωγραφικές τοποθεσίες ενισχύοντας τις περιφερειακές οικονομίες. Έτσι η κάθε κοινότητα μπορεί να έχει ανεξαρτησία έναντι των φυσικών της πόρων, επιτρέποντάς της να παράγει βιοαιθανόλη τοπικά από τα στάδια ανάπτυξής της, μέχρι τις διαδικασίες εξευγενισμού που καταλήγουν στην κατανάλωση σε αυτές τις περιοχές, δημιουργώντας θέσεις εργασίας σε διάφορους τομείς όπως τη γεωργία, τη βιομηχανία παραγωγής της και τη διανομή που οδηγεί σε οικονομική ανάπτυξη.

Τα κεφάλαια που κυκλοφορούν σε τοπικό επίπεδο με τη χρήση βιοαιθανόλης γίνονται πηγές εσόδων ενισχύοντας την οικονομική ανάπτυξη της περιοχής, ενώ παράλληλα παρέχουν ανθεκτικότητα μέσω της ποικιλομορφίας ακόμη και σε εξωτερικές κρίσεις όπως οι διακυμάνσεις των τιμών του πετρελαίου και τις γεωπολιτικές συγκρούσεις. Όταν παράγεται τοπικά, η βιοαιθανόλη συμβάλλει στη σημαντική μείωση του κόστους υποδομής μαζί με την ελαχιστοποίηση των σχετικών περιβαλλοντικών κινδύνων που προκαλούνται από τη μεταφορά μεγάλων αποστάσεων ή τα προϊόντα διύλισης πετρελαίου. Η χρήση βιοαιθανόλης απαιτεί για την αρχική επένδυση την κατασκευή νέων εγκαταστάσεων επεξεργασίας μαζί με κανονιστικές αλλαγές και πολιτικές υποστήριξης που πρέπει να δημιουργηθούν.

Η συνειδητοποίηση του πλήρους δυναμικού της παραγωγής βιοαιθανόλης απαιτεί μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για τα κύρια τμήματα της εμπορικής αλυσίδας, με την παραγωγή πρώτων υλών και την επεξεργασία βιοαιθανόλης να οδηγεί στην ανάπτυξη της αγοράς και στην υιοθέτηση των καταναλωτών. Ταυτόχρονα, για ευρύτερες κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις, η διασφάλιση της επίτευξης των στόχων βιώσιμης ανάπτυξης μέσω της τόνωσης μιας δίκαιης μετάβασης για τη διευκόλυνση μιας οικονομίας καθαρής ενέργειας είναι υψίστης σημασίας. (Chandel, et al., 2007)

Τα γεωπολιτικά γεγονότα παράλληλα με τις φυσικές καταστροφές και τις αλλαγές στη δομή της αγοράς συνέβαλαν σε σημαντικές αναταράξεις στις παγκόσμιες τιμές του πετρελαίου όπως τα παρακάτω αξιοσημείωτα παραδείγματα:

Ο πόλεμος Ιράν-Ιράκ (1980-1988): Οι μάχες μεταξύ Ιράκ και Ιράν διέκοψαν την παραγωγή καυσίμων, οδηγώντας σε σημαντικές αυξήσεις στις τιμές του αργού πετρελαίου, οι οποίες επιδεινώθηκαν από τη μείωση της παραγωγής που προήλθε από την Ιρανική Επανάσταση το 1979.

Ο πόλεμος του Κόλπου (1990-1991): Η εισβολή του Ιράκ στο Κουβέιτ σταμάτησε την παραγωγή αργού πυροδοτώντας φόβους για περαιτέρω στάσεις που ανεβάζουν απότομα τις τιμές των καυσίμων.

Ο Λιβυκός Εμφύλιος Πόλεμος (2011): Οι αναταραχές στη Λιβύη μείωσαν την παραγωγή αργού πετρελαίου της αυξάνοντας τις τιμές πετρελαίου παγκοσμίως.

Η πολεμική σύγκρουση Ρωσία – Ουκρανία (2022-2023): Η πολεμική σύγκρουση Ρωσία – Ουκρανία εκτίναξε τις τιμές πετρελαίου και φυσικού αερίου και τελικά τις τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας σε όλο τον κόσμο και ειδικότερα στην Ευρώπη.

Η μείωση των εύκολα προσβάσιμων φυσικών ενεργειακών πόρων αυξάνει το κόστος εξόρυξης, που με την πιεστική ανάγκη για μετριασμό της κλιματικής αλλαγής οδηγεί περαιτέρω σε μακροπρόθεσμες αυξήσεις των τιμών. Οι μεγάλες εταιρείες πετρελαίου επικρίθηκαν για την εκμετάλλευση των πόρων αγνοώντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις ή ζητήματα ευημερίας της κοινότητας οδηγώντας στην αργή ανάπτυξη, τη λεγόμενη «κατάρτα των πόρων». Ο έλεγχος των πόρων προκαλεί συγκρούσεις εντός των χωρών ή μεταξύ τους με αποτέλεσμα την πολιτική αστάθεια.

Η δυνατότητα παραγωγής βιοαιθανόλης σε τοπικό επίπεδο αντίθετα παρουσιάζει την ευκαιρία εξάλειψης αυτών των προβλημάτων, καθιστά λιγότερο πιθανό να προκύψουν συγκρούσεις για φυσικούς πόρους και προάγει την ισότητα στην πρόσβαση σε ενέργεια.

Ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος του μειώνεται σημαντικά όταν δημιουργείται με βιώσιμο τρόπο, υποστηρίζοντας την κοινωνική ευθύνη. Ωστόσο, πρέπει να δίνεται προσοχή κατά τη διαδικασία εφαρμογής του. Θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή ώστε να μην αναπαραχθούν οι επιπλοκές που έχουν ήδη συναντηθεί στις παραδοσιακές βιομηχανίες όπως η παραγωγή πετρελαίου.

Αυτό το προληπτικό μέτρο διασφαλίζει ότι όλα τα άτομα που εμπλέκονται στην εμπορική αλυσίδα αντιμετωπίζονται δίκαια χωρίς συμβιβασμούς στην επισιτιστική ασφάλεια, την εξαγορά γης ή την πρόληψη των ζημιών στα δάση.

3.7 Σύγκριση με τυπικά καύσιμα

Η βιοαιθανόλη, θεωρείται καύσιμο από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, προέρχεται από φυτική βιομάζα, έχει χαμηλότερες εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα κάτι που οφείλεται στο ποσοστό του άνθρακα στο μόριο του, αναγνωρίζεται όλο και περισσότερο για τις δυνατότητές της και συνδράμει στη μετάβαση προς ένα πιο βιώσιμο ενεργειακό σύστημα. Για να κατανοηθεί πλήρως αυτό, είναι ωφέλιμο να συγκριθεί η βιοαιθανόλη με άλλα καύσιμα χρήσης όπως των μεταφορών, της παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και της θερμικής ενέργεια.

Μεταφορές:

Καύσιμα πετρελαίου: Η βιοαιθανόλη, όταν χρησιμοποιείται ως καύσιμο για οχήματα, μπορεί να μειώσει σημαντικά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε σύγκριση με τη βενζίνη και το ντίζελ. Αυτό συμβαίνει επειδή το διοξείδιο του άνθρακα που απελευθερώνεται κατά την καύση της βιοαιθανόλης αντισταθμίζεται με το διοξείδιο του άνθρακα που απορροφάται κατά την ανάπτυξη της βιομάζας από την οποία παράγεται. Η βιοαιθανόλη μπορεί επίσης να μειώσει τους ατμοσφαιρικούς ρύπους στα οξείδια του θείου, (δεν περιέχει S) τα στερεά σωματίδια κλπ. Δυστυχώς όμως περιέχει λιγότερη ενέργεια ανά μονάδα όγκου και βάρους από τη βενζίνη ή το ντίζελ. (Μαλλιόπουλος, 2018)

Ηλεκτρικά Οχήματα (EV): Τα οχήματα που κινούνται με ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές μπορούν να προσφέρουν ακόμη μεγαλύτερες μειώσεις των αερίων του θερμοκηπίου από τη βιοαιθανόλη. Ωστόσο, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν είναι πάντα πράσινη και εξαρτάται από το μείγμα των πηγών ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μια συγκεκριμένη περιοχή.

Τα ηλεκτρικά οχήματα απαιτούν επίσης σημαντικές αρχικές επενδύσεις στην υποδομή για τη φόρτιση τους. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις στον κύκλο ζωής της παραγωγής και απόρριψης μπαταριών λαμβάνονται επίσης υπόψη.

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας:

Ορυκτά καύσιμα: Η καύση άνθρακα και φυσικού αερίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έχει σημαντικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Αντίθετα, η βιοαιθανόλη, εάν αξιοποιηθεί σε ένα αποδοτικό σύστημα συνδυασμένης θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας, μπορεί να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια με χαμηλότερες εκπομπές. Η χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα της βιοαιθανόλης συγκριτικά με τα ορυκτά καύσιμα μπορεί να την καταστήσει λιγότερο κατάλληλη για μεγάλης κλίμακας, κεντρικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής.

Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας: Η ηλιακή και η αιολική ενέργεια φαίνεται να μην έχουν εκπομπές κατά τη λειτουργία, αλλά η διακοπτόμενη λειτουργία τους απαιτεί ευέλικτο δίκτυο ή λύσεις αποθήκευσης ενέργειας. Η βιοαιθανόλη, με την κατάλληλη αποθήκευση, μπορεί να αποτελεί μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας για εξισορρόπηση του δικτύου ή και αποθηκευτική επιλογή ενέργειας.

Θερμική ενέργεια:

Ορυκτά καύσιμα: Το φυσικό αέριο, το πετρέλαιο θέρμανσης και ο άνθρακας είναι καύσιμα που χρησιμοποιούνται για θέρμανση. Παρόμοια με την περίπτωση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η βιοαιθανόλη θα μπορούσε να προσφέρει μια εναλλακτική λύση με χαμηλότερες εκπομπές, ειδικά εάν χρησιμοποιείται σε αποδοτικές συσκευές. Ωστόσο, ενδέχεται να απαιτούνται αλλαγές στα συστήματα θέρμανσης για την υποδοχή της βιοαιθανόλης και η χαμηλότερη ενεργειακή της πυκνότητα είναι ένα μειονέκτημα για εφαρμογές περιορισμένου χώρου.

Ηλεκτρικές αντλίες θερμότητας: Αυτά τα συστήματα μπορεί να είναι εξαιρετικά αποδοτικά, ειδικά όταν τροφοδοτούνται από ηλεκτρική ενέργεια ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Είναι αποτελεσματικά σε ηπιότερα κλίματα και μπορεί να απαιτούν μια δευτερεύουσα πηγή θερμότητας για πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, την οποία θα μπορούσε ενδεχομένως να προσφέρει η βιοαιθανόλη.

Συμπερασματικά, η βιοαιθανόλη προσφέρει μια δυναμικά βιώσιμη εναλλακτική λύση στα ορυκτά καύσιμα σε πολλές εφαρμογές, αλλά η καταλληλότητά της εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η συγκεκριμένη εφαρμογή, η διαθεσιμότητα και ο τύπος βιομάζας, η τοπική υποδομή και το ρυθμιστικό περιβάλλον. Όπως όλες οι πηγές ενέργειας, η βιοαιθανόλη έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της και η χρήση της θα πρέπει να θεωρείται ως μέρος ενός διαφοροποιημένου, ολοκληρωμένου και βιώσιμου ενεργειακού συστήματος. Ζωτικής σημασίας όταν αξιολογούνται τα πλεονεκτήματα της βιωσιμότητας της βιοαιθανόλης συγκριτικά με άλλα καύσιμα, να λαμβάνονται υπόψη πολλές βασικές πτυχές, όπως η ευκολία χρήσης και εφαρμογής, η αποτελεσματικότητα και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Ευκολία εφαρμογής:

Η βιοαιθανόλη προσφέρει το σημαντικό πλεονέκτημα ότι μπορεί να παραχθεί από διάφορες οργανικές πηγές όπως ζαχαροκάλαμο, καλαμπόκι καθιστώντας τις πρώτες ύλες της άμεσα διαθέσιμες. Αυτό επιτρέπει την τοπική παραγωγή σε πολλά μέρη του κόσμου. Η μετατροπή της

βιομάζας σε βιοαιθανόλη δεν έχει αποκτήσει ευρεία διαθεσιμότητα ακόμα όσο τα ορυκτά καύσιμα. Περαιτέρω υιοθέτηση θα απαιτούσε αλλαγές στους σημερινούς στόλους οχημάτων και στις υποδομές τροφοδοσίας καυσίμων.

Ενεργειακό περιεχόμενο:

Η βιοαιθανόλη έχει χαμηλότερο ενεργειακό περιεχόμενο ανά μονάδα όγκου και βάρους από τη βενζίνη ή το ντίζελ, με αποτέλεσμα τα οχήματα που λειτουργούν με βιοαιθανόλη να έχουν μικρότερες εμβέλεις σε αντίθεση με εκείνα που τροφοδοτούνται από ορυκτά καύσιμα. Απαιτούν συχνότερους κύκλους ανεφοδιασμού καθιστώντας τα λιγότερο βολικά στη χρήση. Οι ανάπτυξη της τεχνολογίας των οχημάτων σε συνδυασμό με τις εξελίξεις στην κατασκευή τους μπορεί να αντιμετωπίσουν αυτά τα εμπόδια.

Αποδοτικότητα:

Τα επίπεδα απόδοσης ποικίλλουν σημαντικά για κάθε καύσιμο λόγω των υποκείμενων τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή ισχύος. Όσον αφορά τα οχήματα, το δυναμικό παραγωγής ενέργειας της βιοαιθανόλης είναι χαμηλότερο της βενζίνης, ωστόσο τα συστήματα συνδυασμένης θερμότητας και ισχύος (CHP) υψηλής απόδοσης που έχουν σχεδιαστεί για παραγωγή θερμότητας ή ηλεκτρικής ενέργειας θα μπορούσαν να το χρησιμοποιήσουν παραγωγικά μέσω έξυπνων μεθόδων σχεδιασμού που επιτυγχάνουν υψηλότερες από τις τυπικές αξιολογήσεις απόδοσης.

Περιβαλλοντικό αποτύπωμα:

Σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα, η βιοαιθανόλη προσφέρει γενικά ένα πολύ χαμηλότερο προφίλ εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (GHG), ιδιαίτερα εάν αναπτύσσεται χρησιμοποιώντας απόβλητα ή υπολείμματα πρώτης ύλης που αναπτύσσονται σταθερά με την πάροδο του χρόνου σε αντίθεση με άλλες πηγές απορροής.

Βιβλιογραφία

Azhara, S. H. M. και συν., 2017. Yeasts in sustainable bioethanol production: A review. *Biochemistry and Biophysics Reports*, Τόμος 10, pp. 52-61.

Chandel, A. K. και συν., 2007. Economics and environmental impact of bioethanol production technologies: an appraisal. *Biotechnology and Molecular Biology Review*, Τόμος 2, pp. 14-32.

Danúbia Paula Cadore Favaretto, A. R. J. R. L. A. C. M. S. T. L. L. D. B. V. B. B. L. M. C. & H. T., 2023. Fruit residues as biomass for bioethanol production using enzymatic hydrolysis as pretreatment. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, Τόμος 39, p. 144.

Goldman, H. V. A. & M. L. L. & J. V. d. C. O. & M. S. B. & G. H., 2011. *Scientific challenges of bioethanol production in Brazil*, Piracicaba, SP, Brazil: Appl Microbiol Biotechnol.

Nibedita Sarkar, S. K. G. S. B. K. A., 2012. Bioethanol production from agricultural wastes: An overview. *Renewable energy*, Τόμος 37, pp. 19-27.

Srivastava, N. & Mishra, P. K., 2022. *Food Waste to Green Fuel: Trend & Development*. Varanasi: Clean Energy Production Technologies.

Vohra, M. και συν., 2014. Bioethanol production: Feedstock and current technologies. *Journal of environmental chemical engineering*, Τόμος 2, pp. 573-584.

Wyman, C., 1996. *Handbook on Bioethanol: Production and Utilization*. USA: Taylor&Francis.

Βασιλική, Π., 2017. *Χρήση βιομάζας μικροφυκών για παραγωγή βιοαιθανόλης*, Αγρίνιο: Πανεπιστήμιο Πατρών.

Γεώργιος, Μ., 2018. *Παραγωγή βιοαιθανόλης απο φυτικά κατάλοιπα*, ΠΑΤΡΑ: ΕΑΠ.

Γεώργιος, Π., 2016. *Διυλιστήριο αποβλήτων: Σχεδιασμός και ανάλυση βάσει περιβαλλοντικών και τεχνοοικονομικών όρων*, Αθήνα: ΕΜΠ.

Ευσταθίου, Κ., 2009. *ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΙΤΗΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ*, Καμαλάτα: ΤΕΙ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ.

ΜΑΝΟΥ, Β., 2020. *ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΖΥΜΩΣΙΜΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ*, Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών.

Νικολάου, Π., 2022. *ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΑΙΘΑΝΟΛΗΣ ΠΡΟΠΑΝΟΛΗΣ ΚΑΙ ΒΟΥΤΑΝΟΛΗΣ ΩΣ ΠΡΟΣΘΕΤΩΝ ΤΗΣ ΒΕΝΖΙΝΗΣ*, Θεσσαλονίκη: ΑΠΘ.

4.1 Case study

Η παραγωγή βιοαιθανόλης ως καύσιμο για μηχανές εσωτερικής καύσης αναδύεται ως μια ελπιδοφόρα και πράσινη διαδικασία παραγωγής, όπως αναφάινεται και από την εμπειρία διεθνών χωρών. Ωστόσο, η εφαρμογή της στην Ελλάδα αντιμετωπίζει προκλήσεις. Για να είναι βιώσιμη, αυτή η παραγωγή απαιτεί τη χρήση φθηνών πηγών ενέργειας, όπως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Η ενεργειακή κατανάλωση σε μια τέτοια παραγωγική μονάδα δεν είναι αμελητέα, καθώς η διαδικασία αποστάξεων απαιτεί μεγάλες ποσότητες θερμικής ενέργειας. Επιπλέον, η διαδικασία αυτή απαιτεί μεγάλες ποσότητες σακχαρούχας βιομάζας.

Στην Ελλάδα, παρατηρείται ότι σε περιοχές όπως η Ημαθία και η Πέλλα παράγονται σημαντικές ποσότητες ροδακινών και νεκταρινιών, τα οποία έχουν παγκόσμια φήμη και εξαγονται. Σύμφωνα με την ΕΛΣΤΑΤ το 2021 παρήχθησαν 5,9 και 8,8 εκατομμύρια τόνοι ροδάκινων από τους δύο νομούς αντίστοιχα. Το ποσοστό που καταλήγει ως φύρα από τα επιτραπέζια ροδάκινα εξαρτάται από την κατάσταση των φρούτων, κυμαίνοντας το περίπου από 10% έως 28% της συνολικής παραγωγής. Ένα μεγάλο μέρος από αυτά μετατρέπεται σε χυμό, ενώ ένα μέρος πετιέται και αποσυντίθεται. Συνεπώς το πιθανό δυναμικό εκμετάλλευσης ανέρχεται σε τουλάχιστον 1,5 εκατομμύρια τόνους το χρόνο διαθέσιμο υλικό για δευτερογενή επεξεργασία. Επιπλέον η συγκομιδή αυτών των φρούτων γίνεται το καλοκαίρι όπου οι θερμοκρασίες είναι υψηλές και έτσι ευνοείται και η διαδικασία της ζύμωσής τους αλλά και οι ελαχιστοποιούνται οι ανάγκες προς θέρμανση του υλικού πριν, μετά και κατά τη διάρκεια των αποστάξεων.

Τα ροδάκινα περιέχουν περίπου 9% σάκχαρα, υποδεικνύοντας ότι ανά κιλό ροδάκινο, μπορεί να παραχθεί περίπου 0,09 λίτρα αιθανόλης, δεδομένου ότι η πυκνότητα του ροδάκινου είναι παρόμοια με αυτή του νερού (περίπου 1g/ml).

TABLE 1: SUGAR CONTENT AND pH OF FRUITS

Fruit	% sugar	pH
Apricot	9	3.4-3.8
Banana	17	4.5-5.2
Blueberry	11	3.1-3.3
Cherry	14	3.3-3.9
Cranberry	4	2.3-2.5
Date	60	4.1-4.9
Gooseberry	11	2.8-3.1
Lime	1	2.8
Mango	11	3.4-4.6
Peach	9	3.3-4.1
Pear	10	3.5-4.6
Pineapple	13	3.2-4.0
Plum (blue)	11	2.8-3.4
Plum (red)	11	3.6-4.3
Raspberry	7	3.2-4.0
Raspberry (frozen)	7	3.2-3.3
Strawberry	7	3.0-3.9
Strawberry (frozen)	7	3.2-3.3
Watermelon	9	5.2-5.6

Data from "The Curious Cook" by Harold McGee and U.S. FDA Web site.

Παρόλα αυτά, τα ροδάκινα περιέχουν επίσης σημαντικές ποσότητες πηκτίνης, η οποία αναπτύσσεται κατά τη διάρκεια της αποσάπωσης των φρούτων και είναι επιρρεπής στην

ατμοσφαιρική μόλυνση. Οι πηκτίνες αποφεύγονται στην παραγωγή βιοαιθανόλης, καθώς ευνοούν την παραγωγή μεθανόλης, η οποία δεν είναι κατάλληλη για αυτήν τη διαδικασία. Η μεθανόλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ξεχωριστό καύσιμο σε πλοία ή για την εξαγωγή γλυκόλης από τα υπολείμματα της απόσταξης για τη μετέπειτα παραγωγή βιοντίζελ με τη διαδικασία της μετεστεροποίησης.

Fruit/vegetable	Tissue	Pectic substance (%)
Apple	Fresh	0.5–1.6
Banana	Fresh	0.7–1.2
Peaches	Fresh	0.1–0.9
Strawberries	Fresh	0.6–0.7
Cherries	Fresh	0.2–0.5
Peas	Fresh	0.9–1.4
Carrots	Dry matter	6.9–18.6
Orange pulp	Dry matter	12.4–28.0
Potatoes	Dry matter	1.8–3.3
Tomatoes	Dry matter	2.4–4.6
Sugar beet pulp	Dry matter	10.0–30.0

Στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας, η διαχείριση της ενέργειας αναδεικνύεται ως ένα σύγχρονο και σημαντικό κομμάτι, παρουσιάζοντας προκλήσεις που αναπτύσσονται με την πάροδο του χρόνου. Καθημερινά, παράγεται υπερβολική ηλεκτρική ενέργεια στο ηλεκτρικό δίκτυο, και οι ενέργειες εστιάζονται στον τρόπο αποθήκευσής της, προκειμένου να αποφευχθούν απώλειες. Παραδείγματα περιλαμβάνουν την αντλητική αποθήκευση και τη χρήση μπαταριών. Η έννοια της αποθήκευσης ενέργειας έχει προσφάτως εισέλθει στον κύκλο των προκλήσεων στον τομέα της ενεργειακής παραγωγής, δεδομένου ότι η πολυπλοκότητα των ενεργειακών συστημάτων, των συνηθειών, των μέσων παραγωγής και της αγοράς ενέργειας έχουν καταστήσει τη διαχείριση της ενέργειας μια πολύπλοκη διαδικασία και έχουν αυξήσει την ανάγκη όχι μόνο για βιώσιμη παραγωγή, αλλά και για αποθήκευση της ενέργειας.

Με την εισαγωγή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η περισσειά ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο συνεχώς αυξάνεται, και υπάρχει ανάγκη για αποθήκευση. Συνεπώς, αυτή η περίσσεια ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αποθήκευση μέσω μιας διαδικασίας παραγωγής βιοαιθανόλης. Αυτό σημαίνει την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας σε μορφή υγρού καυσίμου, εκμεταλλευόμενη παράλληλα τα υποπροϊόντα αυτής της διαδικασίας, με συμβολή στη διαχείριση των αποβλήτων της μεγάλης βιομηχανίας αυτών των φρούτων.

Στο πλαίσιο αυτό, εκμεταλλεόμενοι την περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας και την περίσσεια σακχαρόδεντρων φρούτων, αναπτύχθηκε ένα εξειδικευμένο σύστημα παραγωγής ενέργειας που μπορεί να λειτουργεί συγχρόνως με μια βιομηχανία επεξεργασίας ροδάκινων, και το οποίο μπορεί να υιοθετηθεί από οποιαδήποτε αντίστοιχη βιομηχανία. Αυτό το σύστημα συμπεριλαμβάνει συμφωνία συνεργασίας μεταξύ της βιομηχανίας και του Αρχικού Διαχειριστικού Μέσου για την Ενέργεια (ΑΔΜΗΕ), προκειμένου να εκμεταλλευτεί την περίσσεια ενέργειας και να λειτουργεί αυτοματοποιημένα μια διάταξη παραγωγής βιοαιθανόλης κάθε φορά που υπάρχει εξωτερική διαθεσιμότητα ενέργειας.

Το σύστημα αυτό στηρίζεται στις αρχές της ευελιξίας και της διαμορφωσιμότητας (modularity), επιτρέποντας την εύκολη και γρήγορη διεύρυνση χωρίς την ανάγκη για υψηλά κόστη αγοράς και εγκατάστασης. Αυτό καθιστά την επένδυση πιο ελκυστική και επιτρέπει την ταχύτερη απόσβεση των κεφαλαίων. Τα κύρια προϊόντα παραγωγής αυτής της διάταξης περιλαμβάνουν 100% βιοαιθανόλη για χονδρική πώληση σε συνεργαζόμενες εταιρίες διαχείρισης υγρών καυσίμων, μεθανόλη για πώληση ως καύσιμο και για τη χρήση στη μετεστεροποίηση των υπολειμμάτων της βιομάζας για την παραγωγή βιοντίζελ, ζωοτροφή από την υπολειμματική ζυμωμένη βιομάζα, διοξείδιο του άνθρακα για χρήση σε βιομηχανίες αναψυκτικών, και αξιοποίηση πτητικών για μπουκάλες αερίου καυσίμου χαμηλής ποιότητας για θερμική χρήση ενέργειας.

Αυτή η σχεδιασμένη διάταξη εκμεταλλεύεται αποτελεσματικά κάθε πτυχή του πόρου, προσφέροντας ταυτόχρονα ευελιξία για την αύξηση της παραγωγής σε περίπτωση επιτυχίας και τη δυνατότητα εκμετάλλευσης και πώλησης της πρώτης ύλης σε περίπτωση που, για παράδειγμα, το φρούτο υποστεί ζημιά λόγω καιρικών φαινομένων. Επιπλέον, αυξάνει την ποικιλία των αγορών, ενισχύει την ενεργειακή αυτονομία της Ελλάδας και δημιουργεί νέες, αποκεντρωμένες, σύγχρονες και ευέλικτες ευκαιρίες απασχόλησης.

4.2 Διαστασιολόγηση και υπολογισμοί μελέτης

Διαθέσιμη Α' ύλη

Ως πρώτη ύλη επιλέχθηκαν τα ροδάκινα. Ο νομός Ημαθίας αποτελεί το μεγαλύτερο σημείο παραγωγής ροδακίνων παγκοσμίως. Από τα στοιχεία του εργοστασίου φαίνεται πως η δυναμικότητα της παραγωγής ανέρχεται σε 50.000 ton ροδάκινα από τα οποία υπολογίζεται ότι οι απώλειες κατά τη διαδικασία της διαλογής ανέρχονται από 10-28%. Από αυτά ένα το μεγαλύτερο ποσοστό συνεχίζει τον κύκλο ζωής του για την παραγωγή χυμού. Λαμβάνεται συνεπώς ένα ποσοστό της τάξης του 3% της φύρας για την παραγωγή βιοαιθανόλης αντί να καταλήξει ως απόρριμμα. Αυτό σημαίνει ότι η Α' ύλη για τον σχεδιασμό του εξοπλισμού της παραγωγής διαδικασίας αιθανόλης θα είναι ετησίως :

$$50.000 \text{ ton} \times 3\% = 1.500 \text{ ton/έτος}$$

Η εποχή συλλογής των ροδακίνων είναι από Μάιο έως και Σεπτέμβρη και λαμβάνεται ότι είναι 100 ημέρες πλήρης παραγωγή. Αρά σε ημερήσια βάση απαιτείται η διαδικασία να παραλαμβάνει και επεξεργάζεται την ποσότητα των :

$$1.500 \text{ ton/έτος} / 100 \text{ ημέρες} = 15.000 \text{ kg/ημέρα}$$

Ο σχεδιασμός του εξοπλισμού γίνεται για παραλαβή και επεξεργασία 15.000 kg/ημέρα

Εισαγωγή Α' ύλης

Η Α' ύλη που εισάγεται στην μονάδα επεξεργασίας ροδακίνων οφείλει να αποθηκεύεται σε αποθήκες τύπου σιλό ή σε σορούς. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το ειδικό βάρος των ροδακίνων ποικίλει από 900 έως και 1100 kg/m³ και κατά μέσο όρο με τάση προς την ασφάλεια επάρκειας αποθηκευτικών χώρων λαμβάνεται το ειδικό βάρος των ροδακίνων 950 kg/m³. Έτσι η ελάχιστη χωρητικότητα του σιλό παραλαβής Α' ύλης θα είναι :

$$15.000 \text{ kg/ημέρα} / 950 \text{ kg/m}^3 = 15,8 \text{ m}^3$$

Για λόγους ασφαλείας επάρκειας χώρου παραλαβής αυτός προσαυξάνεται κατά 25% και ο χώρος παραλαβής γίνεται

$$15,8 \text{ m}^3 \times 1,25 = 19,75 \sim 20 \text{ m}^3$$

Επιλέγεται για την αποθήκη τύπο σιλό , κυλινδρικής μορφής με

Διάμετρο D = 2,38 m , ύψος H = 4,5 m

$$\text{και όγκο } O = H \cdot \pi \cdot D^2 / 4 = 4,5 \cdot 3,14 \cdot (2,38)^2 / 4 = 20 \text{ m}^3$$

Ταυτόχρονα με το σιλό για λόγους έκτακτης ανάγκης χρειάζεται να γίνεται αποθήκευση σε σορό μορφής πυραμίδας με

Βάση B = 6 x 6 m , ύψος H = 1,7 m

$$\text{και όγκο } O = B \cdot B \cdot H / 3 = 6 \cdot 6 \cdot 1,7 / 3 = 20 \text{ m}^3$$

Θρυμματιστής – πολτοποιητής

Από το σιλό η Α' ύλη εισάγεται στον θρυμματιστή – πολτοποιητή ο οποίος προωθεί το υλικό στον αντιδραστήρα σε διάστημα 0,5 ώρα. Άρα η παροχή του συστήματος τροφοδοσίας θα είναι :

$$\Pi_{\pi} = 15.000 \text{ kg} / 0,5 \text{ h} = 30.000 \text{ kg/h}$$

Αντιδραστήρας – ζυμωτής

Ο αντιδραστήρας απαιτεί χωρητικότητα μεγαλύτερη της ποσότητας που επεξεργάζεται και επιλέγεται ο συντελεστής προσαύξησης να είναι 1,2 δηλαδή μεγαλύτερος κατά 20%. Έτσι η χωρητικότητα του δοχείου ζύμωσης γίνεται

$$O_z = 20 \text{ m}^3 \times 1,2 = 24 \text{ m}^3$$

Επιλέγεται για τον αντιδραστήρα-ζυμωτή δοχείο κυλινδρικής μορφής με

Διάμετρο $D_z = 2,5 \text{ m}$, ύψος $H_z = 5 \text{ m}$

$$\text{και όγκο } O_z = H_z \cdot \pi \cdot D_z^2 / 4 = 5 \cdot 3,14 \cdot (2,5)^2 / 4 = 24 \text{ m}^3$$

Στον ζυμωτή το υλικό θα θερμανθεί στους 80 °C για να παραμείνει σε αυτό για 10 ημέρες. Συνεπώς θα πρέπει να υπάρχουν για αυτές τις 10 ημέρες άλλα αντίστοιχα δοχεία ζύμωσης που να παραλαμβάνουν το υλικό της ημέρας. Η θέρμανση του υλικού στον ζυμωτή θα πραγματοποιείται από τα τοιχώματα του με τις άνω διαστάσεις. Στο μανδύα που δημιουργείται μεταξύ των δύο τοιχωμάτων θα κυκλοφορεί θερμό νερό που θα θερμαίνεται από λέβητα βιομάζας που θα τροφοδοτείται με πυρήνες, μίσχους, κλαδιά ροδακίων αλλά και πέλλετ σε περίπτωση μη επάρκειας.

Ο πολτός ραδακίων έχει θερμοχωρητικότητα $C \sim 4,19 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ και για να θερμανθεί αυτή η ποσότητα στους 80°C από τους 20°C θερμοκρασία περιβάλλοντος απαιτείται θερμική ενέργεια :

$$\Theta_{\epsilon} = m \cdot C \cdot \Delta T = 15.000 \times 4,19 \times (80-20) = 3.780.000 \text{ kJ}$$

Η αύξηση της θερμοκρασίας αυτής θα πραγματοποιείται σε διάστημα 0,5 ώρας ή 1800 sec άρα απαιτείται λέβητας με ισχύ

$$\Theta_{\lambda} = \Theta_{\epsilon} / 1800 = 3.780.000 / 1800 = 2100 \text{ kW}$$

Η ισχύς του λέβητα προσαυξάνεται κατά 20% για λόγους δυνατότητας διατήρησης της θερμικής αδράνειας του συστήματος άρα επιλέγεται λέβητας εγκατεστημένης ισχύς :

$$\Theta_{\lambda\epsilon} = \Theta_{\lambda} \times 1,2 = 2.100 \times 1,2 = 2500 \text{ kW}$$

Η προσαγωγή και η επιστροφή του λέβητα όπως και οι συνδέσεις του δοχείου ζύμωσης θα είναι διαστασιολογημένοι ώστε να περάσει η απαιτούμενη ποσότητα νερού.

Σύμφωνα με το $Q = m \cdot C \cdot \Delta T$ υπολογίζεται η παροχή του λέβητα και η διάμετρος διασύνδεσης του με τα δοχεία ζύμωσης.

Όπου

Ισχύς του λέβητα $\Theta_{\lambda} = Q = 2500 \text{ kW}$

Θερμοχωρητικότητα νερού $C = 4,19 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$

Διαφορά θερμοκρασίας εισόδου εξόδου από το δοχείο ζύμωσης $\Delta T = (100 - 60) = 40^\circ\text{C}$

Άρα η παροχή θα είναι :

$$m = Q / (C \cdot \Delta T) = 2500 / (4,19 \times 40) = 15 \text{ kg/sec} \text{ ή } 15 \text{ dm}^3/\text{sec}$$

Από την εξίσωση $m = V \cdot (\pi \cdot D^2 / 4) = >$ καθορίζεται η διάμετρος προσαγωγής και επιστροφής του θερμοφορέα , λαμβάνοντας την ταχύτητα του $V = 2 \text{ m/sec}$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot m}{V \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 15 \cdot 1000}{2 \cdot 3,14}} = 98 \text{ mm}$$

Λαμβάνεται τυποποιημένη διάμετρος DN 100 (4'')

Δοχείο μαγιάς

Για την ζύμωση απαιτείται η προσαγωγή μαγιάς που ποσότητας $\sim 100 \text{ kg}$

Η ποσότητα της μαγιάς αυτής προετοιμάζεται σε δοχείο επίσης διπλών τοιχωμάτων διότι απαιτείται η προθέρμανση της. Το δοχείο μαγιάς θα είναι μεγαλύτερο κατά 1,5 φορές της ποσότητας των 100 kg ή $0,1 \text{ m}^3$ και θα έχει χωρητικότητα

$$O_{\delta\mu} = 0,1 \text{ m}^3 \times 1,5 = 0,15 \text{ m}^3$$

Επιλέγεται το δοχείο μαγιάς να είναι κυλινδρικής μορφής με

Διάμετρο $D_{\delta\mu} = 0,5 \text{ m}$, ύψος $H_{\delta\mu} = 0,75 \text{ m}$

$$\text{και όγκο } O_{\delta\mu} = H_{\delta\mu} \cdot \pi \cdot D_{\delta\mu}^2 / 4 = 0,75 \cdot 3,14 \cdot (0,5)^2 / 4 = 0,147 \text{ m}^3 \sim 150 \text{ dm}^3$$

Η ποσότητα των 100 kg μαγιάς απαιτεί προθέρμανση στους 30°C από τους 20°C του περιβάλλοντος . Για την οποία προθέρμανση απαιτείται θερμότητα Q_{μ} . Η μαγιά εισάγεται σε υγρή μορφή στον ζυμωτή και η θερμοχωρητικότητα της εκτιμάται στα $C_{\mu} = 4,19 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$

Σύμφωνα με το $Q = m \cdot C \cdot \Delta T = 100 \times 4,19 \times (30-20) = 4190 \text{ kJ}$

Εάν η προθέρμανση της μαγιάς πραγματοποιείται σε $10 \text{ min} = 600 \text{ sec}$

Τότε απαιτείται θερμική ισχύς $\Theta_{\mu} = 4190 / 600 = 7 \text{ kW}$

Η τροφοδοσία του δοχείου προθέρμανσης της μαγιάς πραγματοποιείται με σωληνώσεις με διάμετρο που υπολογίζεται ως εξής:

Σύμφωνα με το $Q = m \cdot C \cdot \Delta T$

Όπου

Ισχύς θερμική $\Theta_{\mu} = Q = 7 \text{ kW}$

Θερμοχωρητικότητα μαγιάς $C = 4,19 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$

Διαφορά θερμοκρασίας εισόδου-εξόδου από το δοχείο μαγιάς $\Delta T = (80 - 60) = 20^\circ\text{C}$

Η παροχή θα είναι

$$m = Q / C \cdot \Delta T = 7 / (4,19 \times 20) = 0,08 \text{ kg/sec} = 0,08 \text{ dm}^3/\text{sec}$$

Από την εξίσωση $m = V \cdot (\pi \cdot D^2 / 4) = >$ καθορίζεται η διάμετρος προσαγωγής και επιστροφής του θερμοφορέα, λαμβάνοντας την ταχύτητα του $V = 0,5 \text{ m/sec}$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot m}{V \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,08 \cdot 1000}{0,5 \cdot 3,14}} = 14 \text{ mm}$$

Λαμβάνεται τυποποιημένη διάμετρος DN 15 (1/2")

Αποστακτήρας Α'

Μετά την ζύμωση το μείγμα προωθείτε στους αποστακτήρες. Το υλικό περνάει σε δόσεις στο πρώτο αποστακτήρα περίπου 10% με 12% ώστε να επιτυγχάνεται η γρήγορη ανάπτυξη της θερμοκρασίας αφού η διαδικασία θα είναι διακοπτόμενη λόγω περισσειάς του δικτύου.

$$\text{Οπότε } 15.000 \times 10\% (12\%) = 1500 \text{ kg (1800 kg) ζυμωμένη μάζα}$$

Λαμβάνεται για τον πρώτο αποστακτήρα η χωρητικότητα των 2000 kg ή dm^3 και για λόγους ασφαλής επάρκειας προσαυξάνεται το δοχείο του αποστακτήρα κατά 1,25 έτσι ώστε το δοχείο πρώτης απόσταξης θα έχει χωρητικότητα $O_a = 2000 \text{ dm}^3 \times 1,25 = 2,5 \text{ m}^3$

Επιλέγεται για την απόσταξη δοχείο κυλινδρικής μορφής με

Διάμετρο $D = 1,2 \text{ m}$, ύψος $H = 1,8 \text{ m}$

$$\text{και όγκο } O_a = H \cdot (\pi \cdot D^2 / 4) = 1,8 \cdot 3,14 \cdot (1,2)^2 / 4 = 2 \text{ m}^3$$

Αυτό το δοχείο επίσης θα είναι θερμαινόμενο διπλών τοιχωμάτων με μανδύα νερού μεταξύ τους. Το υλικό για την απόσταξη του απαιτεί θέρμανση στους άνω των 100°C από τους 20°C του περιβάλλοντος. Άρα απαιτεί θερμική ενέργεια η οποία θα είναι :

$$Q = m \cdot C \cdot \Delta T = 2000 \times 4,19 \times (100-20) = 670400 \text{ kJ}$$

Εάν η θέρμανση του υλικού πραγματοποιείται σε 20 min ή 1200sec τότε απαιτείται θερμική ισχύς $\Theta_{a1} = 670400 / 1200 = 560 \text{ kW}$

Η τροφοδοσία του αποστακτήρα με την θερμότητα του θερμοφορέα πραγματοποιείται με σωληνώσεις διαμέτρου που υπολογίζονται ως εξής:

Σύμφωνα με το $Q = m \cdot C \cdot \Delta T$

Όπου

η θερμική ισχύς είναι $Q = 560 \text{ kW}$

η θερμοχωρητικότητα του θερμοφορέα είναι $C = 4,19 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$

η διαφορά θερμοκρασίας προσαγωγής-επιστροφής $\Delta T = T_{\text{πρ}} - T_{\text{επ}} = 130 - 100 = 30^\circ\text{C}$

Άρα η παροχή $m = Q / (C \cdot \Delta T) = 560 / (4,19 \times 30) = 4,5 \text{ kg/sec}$

Από την εξίσωση $m = V \cdot (\pi \cdot D^2 / 4) = >$ καθορίζεται η διάμετρος προσαγωγής και επιστροφής του θερμοφορέα, λαμβάνοντας την ταχύτητα του $V = 0,5 \text{ m/sec}$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot m}{V \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,5 \cdot 1000}{0,9 \cdot 3,14}} = 79 \text{ mm}$$

Λαμβάνεται τυποποιημένη διάμετρος DN 80 (3'')

Αποστακτήρας Β'

Το υλικό που περνά στην Β' απόσταξη είναι περίπου το 50% της πρώτης απόσταξης.

Οπότε $2.000 \times 50\% = 1000 \text{ kg}$ ζυμωμένη μάζα

Λαμβάνεται για τον Β' αποστακτήρα η χωρητικότητα των 1000 kg ή dm^3 και για λόγους ασφαλούς επάρκειας προσαυξάνεται το δοχείο του αποστακτήρα κατά 1,2 έτσι ώστε το δοχείο Β' απόσταξης θα έχει χωρητικότητα $Q_{\alpha 2} = 1000 \text{ dm}^3 \times 1,2 = 1,2 \text{ m}^3$

Επιλέγεται για την απόσταξη δοχείο κυλινδρικής μορφής με

Διάμετρο $D = 0,95 \text{ m}$, ύψος $H = 1,5 \text{ m}$

$$\text{και όγκο } Q_{\alpha} = H \cdot (\pi \cdot D^2 / 4) = 1,5 \cdot 3,14 \cdot (0,95)^2 / 4 = 1 \text{ m}^3$$

Αυτό το δοχείο επίσης θα είναι θερμαινόμενο διπλών τοιχωμάτων με μανδύα νερού μεταξύ τους. Το υλικό που αποστάζεται απαιτεί θέρμανση άνω των 100°C από τους 20°C του περιβάλλοντος. Άρα απαιτεί θερμική ενέργεια η οποία θα είναι :

$$Q = m \cdot C \cdot \Delta T = 1000 \times 4,19 \times (100-20) = 335200 \text{ kJ}$$

Εάν η θέρμανση του υλικού πραγματοποιείται σε 20 min ώρα ή 1200 τότε απαιτείται θερμική ισχύς $Q_{\alpha 2} = 335200 / 1200 = 280 \text{ kW}$

Η τροφοδοσία του αποστακτήρα με την θερμότητα του θερμοφορέα πραγματοποιείται με σωληνώσεις διαμέτρου που υπολογίζονται ως εξής:

Σύμφωνα με το $Q = m \cdot C \cdot \Delta T$

Όπου

η θερμική ισχύς είναι $Q = 280 \text{ kW}$

η θερμοχωρητικότητα του θερμοφορέα είναι $C = 4,19 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$

η διαφορά θερμοκρασίας προσαγωγής-επιστροφής $\Delta T = T_{\text{πρ}} - T_{\text{επ}} = 130 - 100 = 30^\circ\text{C}$

Άρα η παροχή $m = Q / (C \cdot \Delta T) = 280 / (4,19 \times 30) = 2,2 \text{ kg/sec}$

Από την εξίσωση $m = V \cdot (\pi \cdot D^2 / 4) = >$ καθορίζεται η διάμετρος προσαγωγής και επιστροφής του θερμοφορέα, λαμβάνοντας την ταχύτητα του $V = 0,5 \text{ m/sec}$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot m}{V \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,2 \cdot 1000}{0,9 \cdot 3,14}} = 55 \text{ mm}$$

Λαμβάνεται τυποποιημένη διάμετρος DN 63 (2 1/2'')

4.3 Σχεδιασμός παραγωγικής διαδικασίας

Η διάταξη που παρουσιάστηκε έχει ως κύριο στόχο την παραγωγή βιοαιθανόλης, εκμεταλλεύομενη ταυτόχρονα όλα τα δυνητικά υποπροϊόντα της διαδικασίας. Η διάταξη αυτή διαιρείται σε δύο κύρια συστήματα: το σύστημα προετοιμασίας και το σύστημα παραγωγής.

Η διαδικασία προετοιμασίας θα πρέπει να είναι μη διακοπτόμενη ώστε να εξασφαλίζεται η σωστή ζύμωση του μείγματος και οι σωστοί χρόνοι και θερμοκρασίες ενώ αντίθετα η διαδικασία παραγωγής είναι διακοπτόμενη και χρησιμοποιεί περίσσεια ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο όταν αυτή είναι διαθέσιμη. Οι μεταφορές των υλικών επιτυγχάνονται μέσω ηλεκτροβαλβίδων και inverter κυκλοφορητών. Οι έλεγχοι τιμών μέσω ψηφιακών transmitters αλλά και αναλογικών τοπικών indicators. Η διαδικασία είναι πλήρως αυτοματοποιημένη αλλά πάντα με γνώμονα και τελικό λήπτη αποφάσεων τον χειριστή.

Στο πλαίσιο της διαδικασίας προετοιμασίας

Τα φρούτα που αποθηκεύονται είτε σε αποθήκες είτε σε εξωτερικούς χώρους μεταφέρονται σε ένα προσωρινό σιλό ημέρας. Αφότου δοθεί η εντολή εκκίνησης από ανθρώπινο παράγοντα, μέσω ενός μίαντα, το υλικό μεταφέρεται σε έναν πολτοποιητή-θρυμματιστή, έτσι ώστε το μείγμα να γίνει πιο εύκολα διαχειρίσιμο και να απελευθερωθούν εύκολα τα σάκχαρα. Στη συνέχεια, η πούπλα οδηγείται σε έναν ζυμωτήρα, όπου η θερμοκρασία αυξάνεται σταδιακά έως τους 80 βαθμούς Κελσίου για να παστεριωθεί το μείγμα από μικροοργανισμούς που ενδέχεται να προκαλέσουν μόλυνση και αύξηση των πεκτινών, με αποτέλεσμα τη μη αναμενόμενη αύξηση της ποσότητας της μεθανόλης. Ταυτόχρονα, προστίθεται φρέσκο νερό στο μείγμα και γίνεται συνεχής ανάμειξη για την ομογενοποίησή του. Οι ποσότητες των υλικών ρυθμίζονται αυτόματα με σύμφωνα με τη λογική αυτοματισμού "high-high" και "high". Στη συνέχεια, το μείγμα αφήνεται να κρυώσει έως τους 30 βαθμούς Κελσίου, και προστίθεται η μαγιά, η οποία έχει διαλυθεί σε νερό σε ένα διαφορετικό δοχείο και έχει ζεσταθεί επίσης στους 30 βαθμούς. Η θέρμανση αυτών των διαδικασιών πραγματοποιείται μέσω ενός λέβητα βιομάζας, ο οποίος αξιοποιεί ξηρή βιομάζα από κλαδέματα, μίσχους και πυρήνες ροδάκινων για να εκμεταλλευτεί κάθε πτυχή των πόρων, ενώ σε περίπτωση έλλειψης καυσίμου συμπληρώνεται με πέλλετ βιομάζας. Η μετάδοση της θερμότητας πραγματοποιείται μέσω ενός συστήματος υδραυλικής μεταφοράς, με τη χρήση ανοξειδωτων σωλήνων(για την αποτροπή της οξειδωσης) σε ατμοσφαιρικής πίεση που θερμαίνουν τους μανδύες των αντίστοιχων δοχείων. Με αυτόν τον τρόπο, επιτυγχάνεται ακρίβεια στη διαδικασία, καθώς και το modularity καθώς δίνει τη δυνατότητα επέκτασης του συστήματος όταν απαιτείται, μέσω της

προσθήκης αναμονών σε κάθε δοχείο για σύνδεση στο υπόλοιπο υδραυλικό σύστημα. Τέλος το μείγμα αφήνεται να ζυμωθεί για 10 ημέρες στο ζυμωτήρα με σταδιακό ανακάτεμα κάθε μέρα από τον αναδευτήρα που είναι προσαρμοσμένο στη βάση του για την επίτευξη της καλύτερης ζύμωσης. Συνολικά χρησιμοποιούνται 10 ζυμωτύτες έτσι ώστε να επαναλαμβάνεται η διαδικασία καθημερινά. Κατά τη ζύμωση απελευθερώνεται διοξείδιο του άνθρακα το οποίο αποθηκεύεται μέσω ανεπίστροφων βαλβίδων σε ένα δοχείο αέρα για πώληση και χρήση σε βιομηχανίες αναψυκτικών ως ανθρακικό.

Στο πλαίσιο της διαδικασίας παραγωγής,

Το ζυμωμένο μείγμα διαμερίζεται σε διάφορα συστήματα, αναλαμβάνοντας να εξαγάγει με αποδοτικό τρόπο την βιοαιθανόλη, εκμεταλλεύόμενο ταυτόχρονα όλα τα υποπροϊόντα που προκύπτουν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας.

Ο πρώτος αποστακτήρας, σε αυτή την διαδικασία, λειτουργεί με βάση την ίδια φιλοσοφία της θέρμανσης με τα jackets, όμως αυτή τη φορά η πηγή θερμότητας παρέχεται από έναν ταχυθερμαντή με ηλεκτρική αντίσταση. Αυτή η αντίσταση ενεργοποιείται αυτόματα μόλις υπάρξει περίσσεια ρεύματος στο δίκτυο. Η γραμμής μέσης τάσης, που εξυπηρετεί το εργοστάσιο μέσω του μετασηματιστή του, δημιουργεί μια ξεχωριστή γραμμή χαμηλής τάσης τριφασική, η οποία τροφοδοτεί την αντίσταση και, συνεπώς, όλο το σύστημα παραγωγής βιοαιθανόλης. Ανάμεσα σε αυτές τις γραμμές, τοποθετείται ένας smart meter, ο οποίος παρέχει στοιχεία τόσο στον πάροχο όσο και στον καταναλωτή για τις ώρες και τις συνήθειες του δικτύου, προκειμένου να προσαρμόζονται και οι δύο πλευρές και να βελτιστοποιούνται οι διαδικασίες. Αυτά τα δεδομένα επιτρέπουν την προσαρμογή και των δύο πλευρών σε αυτές τις συνθήκες, ενώ ταυτόχρονα επιτρέπουν τη ρύθμιση των τιμολογίων προκειμένου να επωφελούνται και οι δύο πλευρές.

Επιπλέον, ένα σύστημα τεχνητής νοημοσύνης θα αξιοποιεί αυτά τα δεδομένα ως input για να δημιουργεί προβλέψεις και στατιστικές, με σκοπό τη βελτίωση των λειτουργικών διαδικασιών και κατά συνέπεια, τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας παραγωγής.

Οι αποστακτήρες έχουν διαστασιοποιηθεί πιο μικροί από τους ζυμωτήρες και η τροφοδότησή τους γίνεται σε παρτίδες για να επιτυγχάνεται η γρήγορη θέρμανση του μείγματος αφού η διαδικασία είναι διακοπτόμενη και ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στην επιτυχία αυτού του σεναρίου.

Το νερό που χρησιμοποιείται για τη θέρμανση των jackets είναι υπερθερμό, με πίεση 2 bar, προκειμένου να φτάσει πάνω από τους 100 βαθμούς Κελσίου. Αυτό είναι απαραίτητο για την απόσταση, καθώς επιτρέπει την εξάτμιση των υλικών συνεχώς, επιτρέποντας τη συνεχή κυκλοφορία των υλικών στους αποστακτήρες.

Οι αποστακτήρες διαθέτουν μια στήλη κλασματικής απόσταξης στο κορυφαίο τους σημείο, με διάφορα σημεία υγροποίησης. Συγκεκριμένα, στο χαμηλότερο σημείο, το νερό βρίσκεται στους 100 βαθμούς Κελσίου, ενώ στη συνέχεια ακολουθούν η αιθανόλη στους 78,3 βαθμούς, η μεθανόλη στους 64,7 βαθμούς, και τέλος, τα λοιπά πτητικά στοιχεία. Η αιθανόλη, περίπου 50% συγκέντρωσης, συνεχίζει προς τη δεύτερη απόσταση, προκειμένου να φτάσει το αζεοτρόπο σημείο της (95,6%).

Η μεθανόλη αποθηκεύεται σε δοχεία υγρών, ενώ τα πτητικά αερίων. Κάθε δεξαμενή αποθήκευσης είναι 24 κυβικών μέτρων τυποποιημένα δοχείο που στο γέμισμά τους μεταφέρονται απόφια σε φορτηγά ευνοώντας το modularity και την οικονομία της παραγωγής. Το εναπομένον στερεό υλικό από την πρώτη απόσταξη αξιοποιείται είτε για την παραγωγή βιοντίζελ μέσω της διαδικασίας της μετεστεροποίησης, χρησιμοποιώντας τη μεθανόλη ίδιας παραγωγής, είτε για την παραγωγή ζωοτροφής. Το εναπομένο νερό από τη δεύτερη απόσταξη, που περιέχει ακόμα ποσοστό αιθανόλης, ανακυκλώνεται πίσω στην πρώτη απόσταξη, προκειμένου να εκμεταλλευθεί πλήρως η αιθανόλη, συμβάλλοντας ταυτόχρονα στη βελτίωση της διαδικασίας της πρώτης απόσταξης.

Η αιθανόλη, έχοντας φτάσει στο αζεοτροπικό της σημείο 95,6%, διαβαίνει μέσα από μία δεξαμενή τεχνητού καταράκτη, η οποία είναι γεμάτη από μοριακά κόσκινα που αφαιρούν τυχόν υπάρχουσα υγρασία. Κάθε φορά που το κάθε στάδιο γεμίζει, το υγρό αιθανόλης στάζει στο επόμενο στάδιο. Κατά διαστήματα ημερών, με τη χρήση ενός μοχλού, οι καταπακτές ανοίγουν σταδιακά αυτά τα στάδια, επιτρέποντας τα κόσκινα να οδηγηθούν από τη βαρύτητα έξω από τη δεξαμενή. Εκεί τα κόσκινα απλώνονται στο έδαφος για φυσική ξύραση, έτσι ώστε να ενεργοποιηθούν ξανά και να μπορούν να χρησιμοποιηθούν εκ νέου. Ταυτόχρονα, στη δεξαμενή ξύρασης φορτώνεται η εφεδρική παρτίδα κόσκινων, προκειμένου να συνεχιστεί η διαδικασία καθημερινά και αδιάλειπτα.

4.4 Αυτοματοποίηση της διαδικασίας

Για την αυτοματοποίηση αυτής της παραγωγικής διάταξης, επιλέχθηκε η γλώσσα προγραμματισμού για hardware λογικούς ελεγκτές ST (Structured Text). Ο λόγος που επιλέχθηκε είναι αρχικά ότι η γλώσσα ST είναι αντικειμενοστραφής, είναι εύκολη στη σύνταξη, παρόμοια με τις γλώσσες προγραμματισμού C και C++, οι οποίες είναι ευρέως διαδεδομένες στον χώρο του λογισμικού.

Η ευκολία στην εκμάθηση της γλώσσας ST είναι επίσης σημαντική, καθώς επιτρέπει σε άτομα που είναι εξοικειωμένα με άλλες αντικειμενοστραφείς γλώσσες να εφαρμόσουν τις ικανότητές τους στην αυτοματοποίηση προγραμμάτων υψηλής πολυπλοκότητας.

Επιπλέον, η δυνατότητα να γραφεί ο κώδικας και σε C ή C++, και να μετατραπεί σε γλώσσα ST μέσω ενός προγράμματος διερμηνείας, προσφέρει ευελιξία κατά την ανάπτυξη και τη συντήρηση του λογισμικού.

Το πρόγραμμα που γράφτηκε ο κώδικας επιλέχθηκε να είναι το CODESYS, ένα αξιόπιστο freeware για γραφή κώδικα σε γλώσσα ST, LADDER και άλλα. Τα errors που βγάζει είναι βοηθητικά ενώ διαθέτει την επιλογή εκτύπωσης του κώδικα ή και export ολόκληρου του project. Αποδείχθηκε ένα πολύ χρήσιμο δωρεάν εργαλείο.

Όσον αφορά τον κώδικα, έγινε προσπάθεια για δημιουργία ενός κώδικα με απλή δομή, με έμφαση στη χρήση επαναληπτικών διαδικασιών (while) και συνθηκών (if). Διαχωρίστηκε το σύστημα σε δύο κομμάτια αυτοματοποίησης για το λόγο ότι το καθένα δέχεται διαφορετικά input και έχει διαφορετική εντολή εκκίνησης. Σημαντικό ήταν να διατηρηθεί η ανεξαρτησία της διαδικασίας προετοιμασίας από τη διαδικασία παραγωγής, καθώς η πρώτη δεν πρέπει να διακόπτεται, ενώ η δεύτερη έχει σχεδιαστεί για να είναι διακοπτόμενη.

Για την υλοποίηση του κώδικα, προτείνεται τη χρήση των PLC της SIEMENS τύπου logo, λόγω της απλότητάς τους, της συμβατότητάς τους και της αξιοπιστίας τους.

Επιπλέον λήφθηκαν υπόψη οι αναγκαίοι περιορισμοί και όλες τις θεωρητικές απαιτήσεις της διαδικασίας.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ο κώδικας που παρουσιάζεται αποτελεί μια κατευθυντήρια γραμμή εντολών και δεν αντιπροσωπεύει μια πλήρως εφαρμοσμένη λύση αφού η εφαρμογή τόσο του κώδικα όσο και γενικά της μελέτης είναι συνήθως πιο περίπλοκη αφού προκύπτουν θέματα στο site του έργου που πιθανών δεν είχαν προβλεφθεί από τον μελετητή. Η εφαρμογή αυτών θα πρέπει να γίνεται πάντα σε καλή συνεννόηση του site engineer με τον design engineer και τον automation engineer.

```
1  PROGRAM BioethanolProduction
2  VAR
3      Start : BOOL := FALSE ;
4      Stop : BOOL := FALSE ;
5      EmergencyStop : BOOL := FALSE ;
6      Time : TIME := T#0s ;
7      Status : BOOL := FALSE ;
8
9      SiloMotor : BOOL := FALSE ;
10     CrusherMotor : BOOL := FALSE ;
11     BiomassFurnace : BOOL := FALSE ;
12     StirMotor : BOOL := FALSE ;
13     WPM_100 : BOOL := FALSE ;
14     YPM_101 : BOOL := FALSE ;
15     HS_100 : BOOL := FALSE ;
16     HS_101 : BOOL := FALSE ;
17     HS_102 : BOOL := FALSE ;
18     FW_111 : BOOL := FALSE ;
19     FW_112 : BOOL := FALSE ;
20     AY_101 : BOOL := FALSE ;
21     AY_102 : BOOL := FALSE ;
22
23     Level1_Zimotira : BOOL := FALSE ;
24     Level2_Zimotira : BOOL := FALSE ;
25     Level3_Zimotira : BOOL := FALSE ;
26     LevelT_Yeast : BOOL := FALSE ;
27     LevelB_Yeast : BOOL := FALSE ;
28
29     TT_HS_100 : REAL := 0.0 ;
30     PT_HS_100 : REAL := 0.0 ;
31     TT_HR_100 : REAL := 0.0 ;
32     PT_HR_100 : REAL := 0.0 ;
33     TT_AY_101 : REAL := 0.0 ;
34     PT_AY_101 : REAL := 0.0 ;
35     TT_HS_101 : REAL := 0.0 ;
36     PT_HS_101 : REAL := 0.0 ;
37     TT_HS_102 : REAL := 0.0 ;
38     PT_HS_102 : REAL := 0.0 ;
39     TT_FS_102 : REAL := 0.0 ;
40     PT_FS_102 : REAL := 0.0 ;
41 END_VAR
42
43
44 BEGIN
45     WHILE TRUE DO
46         IF Start AND NOT Stop AND NOT EmergencyStop THEN
47             IF NOT Level1_Zimotira THEN
48                 // Start Silo Motor and Crusher Motor
49                 SiloMotor := TRUE ;
50                 CrusherMotor := TRUE ;
51             ELSE
52
```

```

 9           // Stop Silo Motor and Crusher Motor
10           SiloMotor := FALSE ;
11           CrusherMotor := FALSE ;
12       END_IF
13
14       IF NOT Level1_Zimotira THEN
15           // Start FW-112
16           FW_112 := TRUE ;
17       ELSE
18           // Stop FW-112
19           FW_112 := FALSE ;
20       END_IF
21
22       IF Level2_Zimotira THEN
23           // Start Stir Motor
24           StirMotor := TRUE ;
25       END_IF
26
27       // Start Biomass Furnace
28       BiomassFurnace := TRUE ;
29
30       WHILE TT_FS_102 < 80.0 AND Time <> T#15m DO
31           // Start HS-100, WPM-100, HS-102
32           HS_100 := TRUE ;
33           WPM_100 := TRUE ;
34           HS_102 := TRUE ;
35       ELSE
36           // Stop HS-102
37           HS_102 := FALSE ;
38       END_WHILE
39
40       WHILE TT_AY_101 < 30.0 DO
41           // Start HS-100, WPM-100, HS-101
42           HS_100 := TRUE ;
43           WPM_100 := TRUE ;
44           HS_101 := TRUE ;
45       END_WHILE
46
47       IF TT_AY_101 = 30.0 AND TT_FS_102 = 80.0 AND Time = T#15m THEN
48           // Stop HS-100, WPM-100
49           HS_100 := FALSE ;
50           WPM_100 := FALSE ;
51       END_IF
52
53       WHILE LevelT_Yeast DO
54           IF Time = T#15m AND TT_FS_102 = 30.0 THEN
55               // Start AY-101, AY-102, YPM-101
56               AY_101 := TRUE ;
57               AY_102 := TRUE ;
58               YPM_101 := TRUE ;
59           ELSE

```

```
60           // Stop AY-101, AY-102, YPM-101
61           AY_101 := FALSE ;
62           AY_102 := FALSE ;
63           YPM_101 := FALSE ;
64       END_IF
65   END_WHILE
66
67   IF NOT LevelB_Yeast THEN
68       // Start FW-111
69       FW_111 := TRUE ;
70   END_IF
71
72   IF LevelB_Yeast THEN
73       // Stop FW-111
74       FW_111 := FALSE ;
75   END_IF
76
77   IF NOT Start AND Stop AND Status THEN
78       // Repeat Stir Motor On for 10 days, every day for 10 minutes
79       IF ( Time MOD T#24h ) < T#10m THEN
80           StirMotor := TRUE ;
81       ELSE
82           StirMotor := FALSE ;
83       END_IF
84   END_IF
85 ELSE
86     // All motors and components off when not in production
87     SiloMotor := FALSE ;
88     CrusherMotor := FALSE ;
89     BiomassFurnace := FALSE ;
90     StirMotor := FALSE ;
91     WPM_100 := FALSE ;
92     YPM_101 := FALSE ;
93     HS_100 := FALSE ;
94     HS_101 := FALSE ;
95     HS_102 := FALSE ;
96     FW_111 := FALSE ;
97     FW_112 := FALSE ;
98     AY_101 := FALSE ;
99     AY_102 := FALSE ;
100    UPM_101 := FALSE ;
101 END_IF
102
103 IF EmergencyStop THEN
104     // All motors, valves, pumps, stirrer, and other components off
105     SiloMotor := FALSE ;
106     CrusherMotor := FALSE ;
107     BiomassFurnace := FALSE ;
108     StirMotor := FALSE ;
109     WPM_100 := FALSE ;
110     YPM_101 := FALSE ;
```

```
111         HS_100 := FALSE ;
112         HS_101 := FALSE ;
113         HS_102 := FALSE ;
114         FW_111 := FALSE ;
115         FW_112 := FALSE ;
116         AY_101 := FALSE ;
117         AY_102 := FALSE ;
118         UPM_101 := FALSE ;
119     END_IF
120     TIME := TIME + T#1S ;
121 END_WHILE
122 END_PROGRAM
123
```



```
1  PROGRAM BioethanolProduction
2  VAR
3      Start : BOOL := FALSE ;
4      Stop : BOOL := FALSE ;
5      EmergencyStop : BOOL := FALSE ;
6      Timer : TIME := T#0s ;
7
8      Heater : BOOL := FALSE ;
9      EthanolSensor : BOOL := FALSE ;
10
11     FullLoad_Dist1 : BOOL := FALSE ;
12     MinLoad_Dist1 : BOOL := FALSE ;
13     MinLoad_Dist2 : BOOL := FALSE ;
14
15     FSPM_102 : BOOL := FALSE ;
16     WPM_212 : BOOL := FALSE ;
17     WPM_200 : BOOL := FALSE ;
18     FSPM_201 : BOOL := FALSE ;
19     FSPM_202 : BOOL := FALSE ;
20
21     FS_102 : BOOL := FALSE ;
22     FS_2011 : BOOL := FALSE ;
23     FS_2012 : BOOL := FALSE ;
24     HS_200 : BOOL := FALSE ;
25     HS_201 : BOOL := FALSE ;
26     HS_202 : BOOL := FALSE ;
27
28     TT_HS_200 : REAL := 0.0 ;
29     PT_HS_200 : REAL := 0.0 ;
30     TT_HS_201 : REAL := 0.0 ;
31     PT_HS_201 : REAL := 0.0 ;
32     TT_FS_201 : REAL := 0.0 ;
33     PT_FS_201 : REAL := 0.0 ;
34     TT_HS_202 : REAL := 0.0 ;
35     PT_HS_202 : REAL := 0.0 ;
36     TT_FS_202 : REAL := 0.0 ;
37     PT_FS_202 : REAL := 0.0 ;
38     PT_VOC_205 : REAL := 0.0 ;
39     TT_FW_212 : REAL := 0.0 ;
40 END_VAR
41
```

```
1  BEGIN
2      WHILE TRUE DO
3          IF Start THEN
4              IF NOT FullLoad_Dist1 THEN
5                  // Start FS-102, FSPM-102, FS-2011
6                  FS_102 := TRUE ;
7                  FSPM_102 := TRUE ;
8                  FS_2011 := TRUE ;
9              ELSE
```

```

10          // Stop FS-102, FSPM-102, FS-2011
11          FS_102 := FALSE ;
12          FSPM_102 := FALSE ;
13          FS_2011 := FALSE ;
14      END_IF
15
16      IF NOT FullLoad_Dist1 AND NOT MinLoad_Dist1 THEN
17          Stop := TRUE ;
18          Heater := TRUE ;
19          Timer := T#0s ;
20      END_IF
21
22      IF NOT Start THEN
23          Timer := T#0s ;
24          Heater := FALSE ;
25          WHILE TT_FS_201 < 110.0 DO
26              // Start HS-200, WPM-200, HS-201
27              HS_200 := TRUE ;
28              WPM_200 := TRUE ;
29              HS_201 := TRUE ;
30          ELSE
31              // Stop HS-201
32              HS_201 := FALSE ;
33          END_WHILE
34
35          WHILE TT_FS_202 < 110.0 DO
36              // Start HS-200, WPM-200, HS-201
37              HS_200 := TRUE ;
38              WPM_200 := TRUE ;
39              HS_201 := TRUE ;
40          ELSE
41              // Stop HS-202
42              HS_202 := FALSE ;
43          END_WHILE
44
45          IF TT_FS_201 > 110.0 AND TT_FS_202 > 110.0 THEN
46              // Stop HS-200, WPM-200
47              HS_200 := FALSE ;
48              WPM_200 := FALSE ;
49          END_IF
50      END_IF
51
52      IF EthanolSensor = FALSE AND Timer > T#20m THEN
53          WHILE MinLoad_Dist1 DO
54              // Start FS-2012, FSPM-201
55              FS_2012 := TRUE ;
56              FSPM_201 := TRUE ;
57          ELSE
58              // Stop FS-2012, FSPM-201
59              FS_2012 := FALSE ;
60              FSPM_201 := FALSE ;

```

```
61         END_WHILE
62     END_IF
63
64     IF MinLoad_Dist2 THEN
65         // Start FSPM-202
66         FSPM_202 := TRUE ;
67     ELSE
68         // Stop FSPM-202
69         FSPM_202 := FALSE ;
70     END_IF
71 END_IF
72
73 IF NOT Start OR Stop OR EmergencyStop THEN
74     // Reset all variables
75     Start := FALSE ;
76     Stop := FALSE ;
77     EmergencyStop := FALSE ;
78     Timer := T#0s ;
79     Heater := FALSE ;
80     EthanolSensor := FALSE ;
81     FullLoad_Dist1 := FALSE ;
82     MinLoad_Dist1 := FALSE ;
83     MinLoad_Dist2 := FALSE ;
84     FSPM_102 := FALSE ;
85     WPM_212 := FALSE ;
86     WPM_200 := FALSE ;
87     FSPM_201 := FALSE ;
88     FSPM_202 := FALSE ;
89     FS_102 := FALSE ;
90     FS_2011 := FALSE ;
91     FS_2012 := FALSE ;
92     HS_200 := FALSE ;
93     HS_201 := FALSE ;
94     HS_202 := FALSE ;
95     TT_HS_200 := 0.0 ;
96     PT_HS_200 := 0.0 ;
97     TT_HS_201 := 0.0 ;
98     PT_HS_201 := 0.0 ;
99     TT_FS_201 := 0.0 ;
100    PT_FS_201 := 0.0 ;
101    TT_HS_202 := 0.0 ;
102    PT_HS_202 := 0.0 ;
103    TT_FS_202 := 0.0 ;
104    PT_FS_202 := 0.0 ;
105    PT_VOC_205 := 0.0 ;
106    TT_FW_212 := 0.0 ;
107 END_IF
108 Timer := Timer + T#1S ;
109 END_WHILE
110 END_PROGRAM
111
```

4.5 Συμπεράσματα

Η παραγωγή βιοαιθανόλης προκύπτει ως μια εξαιρετικά υποσχόμενη και επιστημονικά τεκμηριωμένη πρακτική για την Ελλάδα, μια χώρα που στο μεγάλο μέρος της είναι εξαρτημένη από τη γεωργία και διαθέτει αφθονία σακχαρούχων βιομάζων. Η παραγωγή βιοαιθανόλης δεν αποτελεί μόνο μια πιθανή πηγή ανανεώσιμης ενέργειας αλλά και μια σημαντική πρακτική που μπορεί να ενισχύσει την ενεργειακή αυτονομία της χώρας.

Τα πλεονεκτήματα της βιοαιθανόλης είναι πολλαπλά και πολύ ουσιαστικά.

Πρώτον, προσφέρει μια περιβαλλοντικά φιλική εναλλακτική λύση στα παραδοσιακά πετρελαιοκίνητα οχήματα, μειώνοντας σημαντικά το ανθρακικό αποτύπωμα και συμβάλλοντας στην εκπλήρωση των περιβαλλοντικών στόχων.

Δεύτερον, η βιοαιθανόλη είναι εφαρμόσιμη σε υφιστάμενους κινητήρες χωρίς την ανάγκη για σημαντικές τροποποιήσεις και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορα ποσοστά αιθανόλης, συμπεριλαμβανομένου του E85, που περιέχει ψηλές ποσοότητες βιοαιθανόλης.

Τρίτον, αναδεικνύει τη δυνατότητα ανάπτυξης νέων κινητήρων και τεχνολογιών που μπορούν να λειτουργήσουν με ακόμα υψηλότερα ποσοστά αιθανόλης, όπως το E100 ή και την ένυδρη αιθανόλη, προσφέροντας περαιτέρω προοπτικές και ευκαιρίες έρευνας και ανάπτυξης σε εθνικό επίπεδο.

Τέταρτον, η βιοαιθανόλη χρησιμοποιεί την υπάρχουσα υποδομή, όπως φορτηγά και διυλιστήρια, μειώνοντας την ανάγκη για νέες εγκαταστάσεις και δαπανηρές αλλαγές.

Πέμπτον, επισημαίνεται ότι η παραγωγή βιοαιθανόλης συμβάλλει στην ανάπτυξη της κυκλικής οικονομίας, συνδυάζοντας διάφορες βιομηχανίες και επιχειρηματικές δραστηριότητες, με αποτέλεσμα τη μείωση των ρύπων, των κοστών και τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών. Επιπλέον, η τεχνική αποθήκευσης ενέργειας που παρέχει η βιοαιθανόλη συμβάλλει στην αντιμετώπιση των σύγχρονων προκλήσεων στον τομέα της ενέργειας, συμβάλλοντας στην αποτελεσματική διαχείριση των ενεργειακών αποθεμάτων. Η βιοαιθανόλη ανοίγει το δρόμο για την ανάπτυξη βιώσιμων καυσίμων που μπορούν να ανταγωνιστούν τα πετρελαιοκίνητα όχι μόνο ως προς την οικολογική επίδραση αλλά και ως προς την οικονομική βιωσιμότητα και την αποδοτικότητα.

Οι προκλήσεις που συνδέονται με την παραγωγή βιοαιθανόλης απαιτούν σοβαρή και λεπτομερή μελέτη ώστε να διασφαλιστεί η βιωσιμότητα και η κερδοφορία των επενδύσεων. Πρέπει να δοθεί έμφαση στην ανάλυση της διαδικασίας παραγωγής, στη βέλτιστη διαχείριση των logistics και στην αποτελεσματική διανομή του βιοαιθανόλης. Επίσης, είναι αναγκαία η λεπτομερής έρευνα για την προσαρμογή των υπαρχόντων κινητήρων στη χρήση βιοαιθανόλης και η πρόληψη των πρακτικών αισχροκέρδειας, προκειμένου να διασφαλιστεί η ασφάλεια και η αποδοτικότητα του συστήματος. Επιπλέον, είναι σημαντικό να ενσωματωθούν οι έννοιες της κυκλικής οικονομίας και των εναλλακτικών καυσίμων στην κουλτούρα των καταναλωτών. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω εκπαιδευτικών εκστρατειών και ενημέρωσης σχετικά με τα οφέλη της βιοαιθανόλης για το περιβάλλον και την οικονομία.

Τέλος, η καλή συνεργασία με το δίκτυο παραγωγής ενέργειας απαιτείται για να διασφαλιστεί η ομαλή ενσωμάτωση της βιοαιθανόλης στον ενεργειακό τομέα. Εντούτοις, πρέπει να αντιμετωπιστούν και οι προκλήσεις που προκύπτουν από τα αντίθετα συμφέροντα ορισμένων ανταγωνιστικών βιομηχανιών, που ενδεχομένως να αντιτίθενται στην ένταξη ενός νέου καυσίμου στην αγορά. Εδώ, απαιτείται συνεργασία για την επίλυση τυχόν συγκρούσεων συμφερόντων με στόχο την κοινή επίτευξη βιώσιμων λύσεων και άνοιγμα των αγορών.

4.6 Προτάσεις

Η υιοθέτηση του καυσίμου βιοαιθανόλης στην Ελλάδα αποτελεί μια σημαντική ευκαιρία για τη μετάβαση σε ένα πιο αειφορικό και περιβαλλοντικά φιλικό ενεργειακό σύστημα. Για να επιτευχθεί αυτό, απαιτούνται δράσεις και προτάσεις που θα καθοδηγήσουν την πορεία προς την επιτυχή εφαρμογή της στη χώρα.

Καταρχάς, είναι αναγκαία η **ενημέρωση** του κοινού και η ευαισθητοποίηση των πολιτών σχετικά με τα οφέλη της βιοαιθανόλης για το περιβάλλον και την ενεργειακή αυτονομία. Πρέπει να ενημερωθούν για τη χρήση του καυσίμου και τα οικονομικά του πλεονεκτήματα.

Επιπλέον, θα πρέπει να δοθεί έμφαση στην **έρευνα και την ανάπτυξη** για τη βελτίωση των παραγωγικών διαδικασιών, την αύξηση της απόδοσης και τη μείωση των δαπανών παραγωγής. Αυτό θα ενισχύσει την ανταγωνιστικότητα της βιοαιθανόλης στην αγορά.

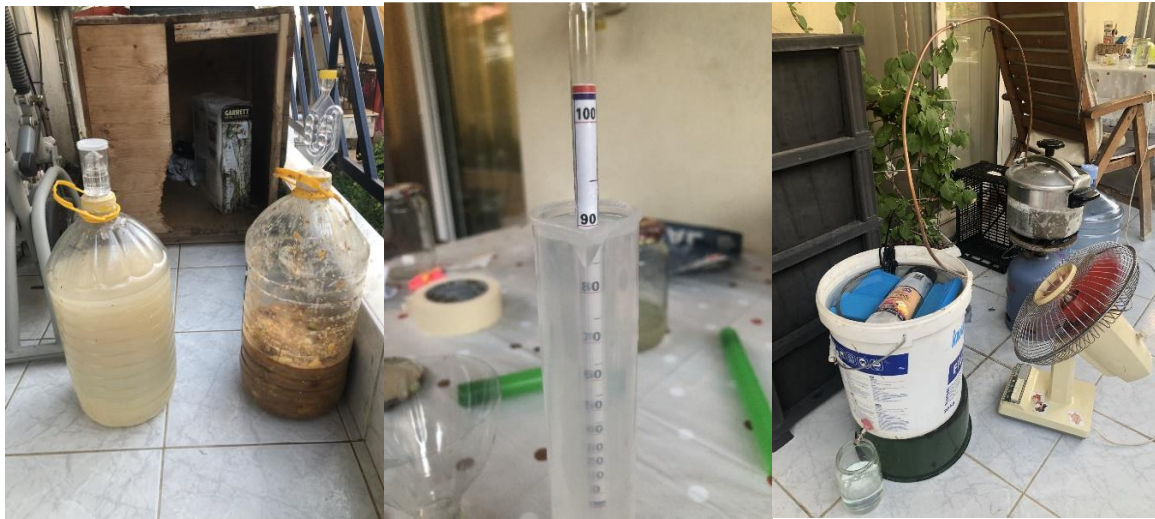
Παράλληλα, πρέπει να δημιουργηθεί και να ενισχυθεί οι **υποδομές** που απαιτούνται για την παραγωγή, τη μεταφορά και την αποθήκευση της βιοαιθανόλης, συμπεριλαμβανομένων εγκαταστάσεων παραγωγής, αποθηκευτικών χώρων και δικτύων διανομής.

Για να ενθαρρυνθεί η παραγωγή βιοαιθανόλης, πρέπει να παρέχονται **κίνητρα** και ενίσχυση στους αγρότες για την καλλιέργεια των σακχαρούχων βιομαζών που απαιτούνται για την παραγωγή της. Τα κίνητρα αυτά δε θα πρέπει να έρχονται σε ανταγωνιστικότητα με τη γεωργία αλλά να προωθηθούν παράλληλα.

Τέλος, η κυβέρνηση πρέπει να δημιουργήσει και να εφαρμόσει συστήματα παρακολούθησης και ρύθμισης για την **εξασφάλιση της ποιότητας και της ασφάλειας** της βιοαιθανόλης καθώς και το κατάλληλο νομοθετικό πλαίσιο που θα ορίζει τη σωστή παραγωγή και διανομή του καυσίμου.

Η μαζική ένταξη της βιοαιθανόλης στην αγορά της Ελλάδας απαιτεί διαρκή δέσμευση, συνεργασία και καινοτομία. Με τη σωστή προσέγγιση και την εφαρμογή αυτών των προτάσεων, μία χώρα σαν την Ελλάδα μπορεί να επιτύχει τη μετάβαση προς ένα πιο βιώσιμο, πράσινο και ενεργειακά αυτόνομο μέλλον.

DIY Πειραματισμοί



Διαδικασία ζύμωσης

Ζάχαρη με μαγιά (αριστερά)

Φρούτα διάφορα με μαγιά (δεξιά)

Μέγιστοι επιτευχθείς

βαθμοί αιθανόλης

Διάταξη απόσταξης



Διαδικασία μετεστεροποίησης – παραγωγή βιοντίζελ

Καλιέργεια άλγης – παραγωγή 3^{ης} γενιάς βιοκαυσίμων

