

ΠΜΣ στη Βιομηχανική Διοίκηση & Τεχνολογία

Κατεύθυνση: Διαχείριση Ενέργειας και Περιβάλλοντος

Μάθημα: Π-ΕΚΕ303 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ POWER TO X

Αιθανόλη, ένα ανανεώσιμο εναλλακτικό καύσιμο.

**Παραγωγή αιθανόλης μέσω ζύμωσης και
απόσταξης αγροτικών προϊόντων.**

Μίγμα αιθανόλης-βενζίνης.

**Η επιδότηση της αιθανόλης και η επίδρασή της στις
τιμές και την διαθεσιμότητα των τροφίμων.**

19-10-2023

Δημήτριος Σιδηράς
Καθηγητής

Μεταφορές και Πράσινη Συμφωνία

- Σήμερα, οι εκπομπές από τις μεταφορές αντιπροσωπεύουν περίπου το 25 % των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου της ΕΕ, ενώ τα τελευταία χρόνια οι εν λόγω εκπομπές έχουν αυξηθεί.
- Ο στόχος μας να γίνει η Ευρωπη η πρώτη κλιματικά ουδέτερη ήπειρος έως το 2050 απαιτεί φιλόδοξες αλλαγές στις μεταφορές.
- Χρειάζεται σαφής πορεία για να επιτευχθεί μείωση κατά 90 % των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που σχετίζονται με τις μεταφορές έως το 2050.
- Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ενέκρινε σειρά προτάσεων με στόχο να προσαρμοστούν οι πολιτικές της ΕΕ για το κλίμα, την ενέργεια, τις μεταφορές και τη φορολογία στον σκοπό της μείωσης των καθαρών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 55 % έως το 2030, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990

- Το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο θα συνεχίσουν να αποτελούν κορυφαίες πηγές ενέργειας για τις επόμενες δεκαετίες εξαιτίας της καθυστέρησης που παρατηρείται στην ενεργειακή μετάβαση.
- Η ενεργειακή μετάβαση θα διαρκέσει πολύ, θα κοστίσει πολύ και θα χρειαστεί νέες τεχνολογίες που δεν υπάρχουν καν σήμερα. Όταν πρόκειται για καθαρή ενέργεια, ο κόσμος πρέπει να επενδύει 4 τρισεκατομμύρια δολάρια το χρόνο, κι αυτό δεν συμβαίνει.

(διάσκεψη Energy Asia, Κουάλα Λουμπούρ, Μαλαισία 30/6/2023)

Οι οδηγοί μπορούν να μειώσουν τις επιπτώσεις:

- διαλέγοντας καθαρότερα οχήματα,
- οδηγώντας με σύνεση

Αυτά τα μετρά θα οδηγήσουν σε:

- εξοικονόμηση χρημάτων
- περιβαλλοντικά οφέλη



εναλλακτικά καύσιμα

- Τα εναλλακτικά καύσιμα αποτελούν μία από τις προτεραιότητες της πολιτικής καυσίμων για τις χώρες της ΕΕ:
 - Προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η ατμοσφαιρική ρύπανση η οποία προκαλείται από τις οδικές μεταφορές.
 - Να υπάρξει μερική και σταδιακή απεξάρτηση των κρατών - μελών από τη χρήση συμβατικών καυσίμων.
- Ο επείγων χαρακτήρας της ανάγκης να διατηρηθεί ζωντανός ο στόχος της συμφωνίας του Παρισιού για 1,5 °C έχει καταστεί πιο σημαντικός μετά τα πορίσματα της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή στην έκτη έκθεση αξιολόγησής της, σύμφωνα με τα οποία η υπερθέρμανση του πλανήτη μπορεί να περιοριστεί σε 1,5 °C μόνο εάν πραγματοποιηθούν αμέσως ισχυρές και διαρκείς μειώσεις των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου εντός αυτής της δεκαετίας.

Νομοθετικό πλαίσιο της ΕΕ

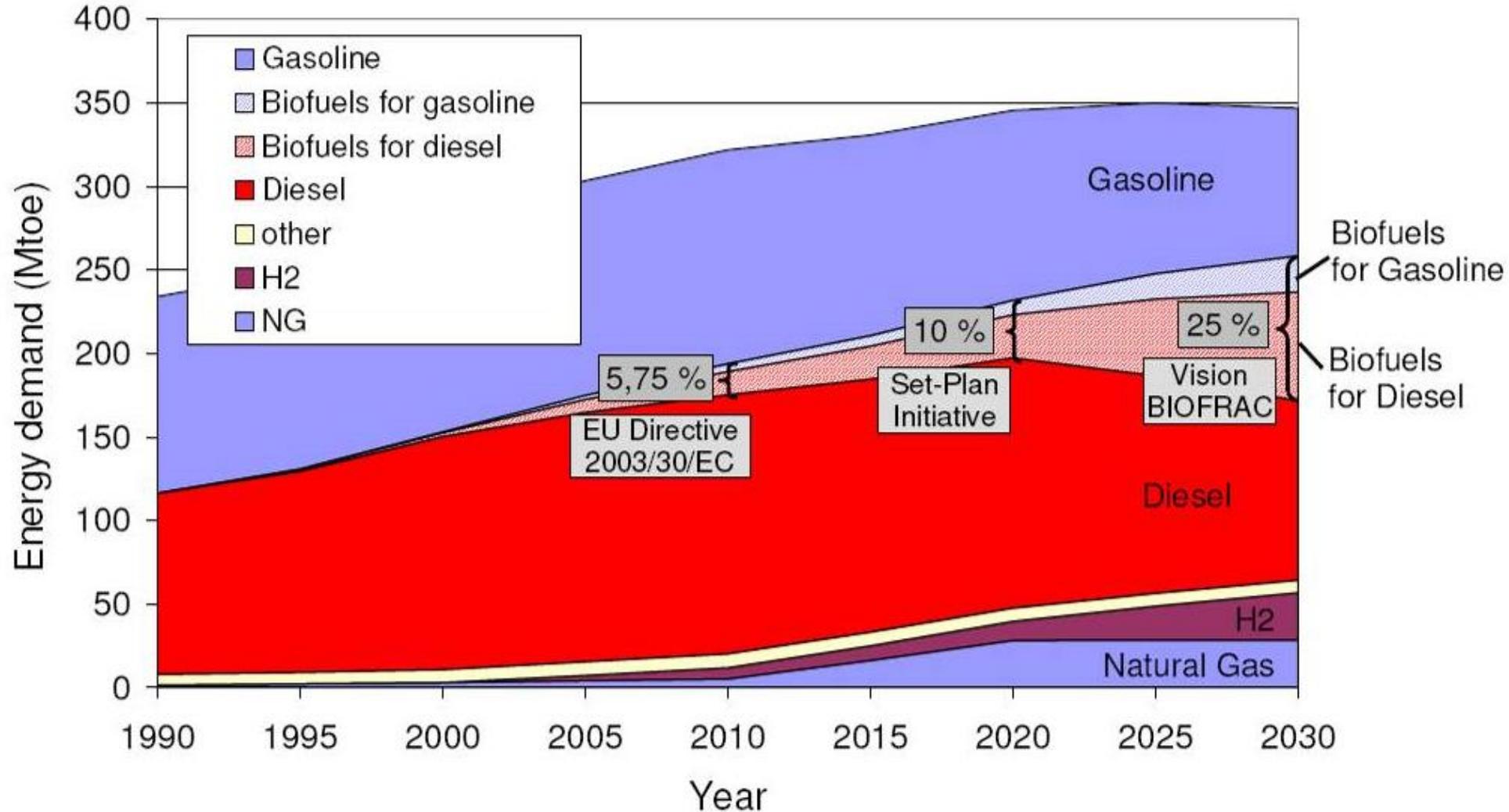
- Οδηγία 2003/30/ΕΚ «Προώθηση της χρήσης βιοκαυσίμων ή άλλων ανανεώσιμων καυσίμων για τις μεταφορές».
- Ποσοτικοί Στόχοι:

Ημερομηνία	31/12/2005	31/12/2010	31/12/2020
Στόχος*	2%	5,75%	10%

* Ποσοστό αντικατάστασης βενζίνης και πετρελαίου κίνησης που διατίθεται για χρήση στις μεταφορές, με βιοκαύσιμα.

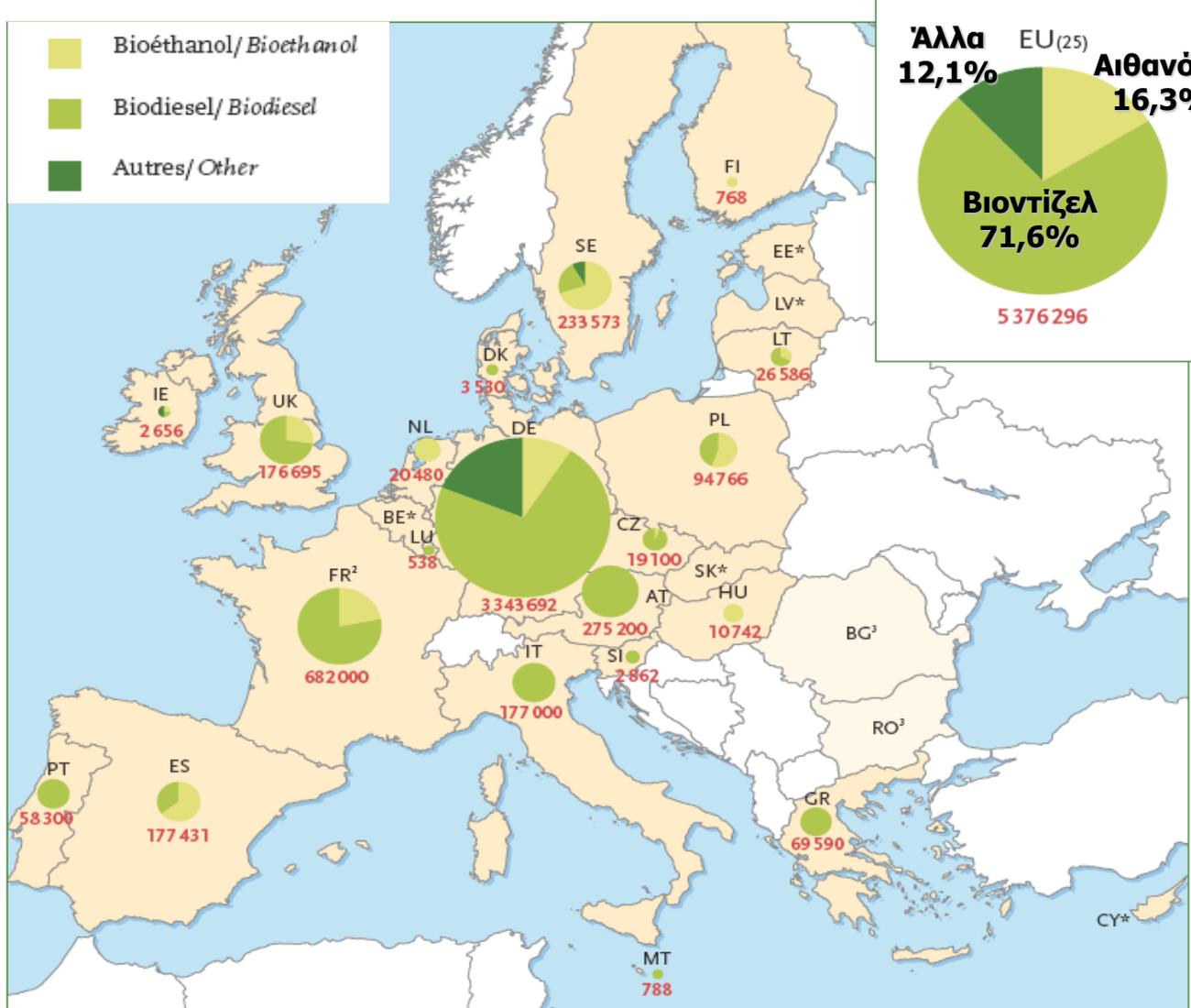
- Τα κράτη-μέλη υποχρεούνται να αναφέρουν για την πρόοδο εφαρμογής της οδηγίας στην ΕΕ κάθε Ιούλιο.
- Οδηγία 2003/96/ΕΚ.
- Εισάγονται μειωμένοι φορολογικοί συντελεστές ή και απαλλαγές σε στόλους οχημάτων που χρησιμοποιούν εναλλακτικά καύσιμα.

Ευρωπαϊκός Οδικός χάρτης για τα Καύσιμα (EUCAR)



Ευρωπαϊκή Αγορά Βιοκαυσίμων

BIOFUELS CONSUMPTION IN EUROPEAN UNION IN 2006



- Ευρωπαϊκή κατανάλωση 5,38 εκατ. τόνοι
- Βιοκαύσιμα στα μέσα μεταφοράς 1,8% (2006), 1% (2005)
- Εκτίμηση αύξησης αγοράς βιοκαυσίμων μεταξύ 2000-2030 κατά 14%
- Αύξηση ντίζελ 51%
- Αύξηση βενζίνης 60%

Επανέρχεται το σχέδιο για παραγωγή βιοαιθανόλης στις μονάδες της EBZ



Το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, ως τεχνικός σύμβουλος του κράτους, κατέθεσε τεκμηριωμένη πρόταση

- Επανέρχεται το σχέδιο για μετασχηματισμό των εργοστασίων ζάχαρης της **Ελληνικής Βιομηχανίας Ζάχαρης ΑΕ (EBZ)** στη Θράκη σε μονάδες παραγωγής **βιοαιθανόλης** και προηγμένων καυσίμων.
- Το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, κατέθεσε τεκμηριωμένη πρόταση για την ανάγκη δημιουργίας μονάδων βιοαιθανόλης (με άμεση εφαρμογή στο εργοστάσιο της Ορεστιάδας), η οποία μάλιστα κοινοποιήθηκε και στη Βουλή.
- Η ιστορία μετατροπής μονάδων της EBZ πάει πίσω πολλά χρόνια.
- Όταν την περίοδο 2007-2008 υπέβαλε αίτηση στην ΕΕ για συμμετοχή στο πρόγραμμα αναδιάρθρωσης του τομέα ζάχαρης διατήρησε σε λειτουργία τα τρία (Ημαθία, Σέρρες, Ορεστιάδα) από τα συνολικά πέντε εργοστάσιά της για παραγωγή ζάχαρης, καθώς σχεδίαζε τα άλλα δύο σε Λάρισα και Ξάνθη να μετατραπούν σε μονάδες παραγωγής βιοαιθανόλης.
- Λόγω μη εξεύρεσης στρατηγικού επενδυτή για την υλοποίηση του σχεδίου, το 2009, η EBZ ζήτησε την αποσύνδεση του σχεδίου αναδιάρθρωσης, από την δημιουργία μονάδων παραγωγής βιοαιθανόλης, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν ως κέντρα παραλαβής τεύτλων και τυποποίησης.
- Από τον Νοέμβριο 2019 λειτουργούν τα εργοστάσια στο Πλατύ Ημαθίας και στις Σέρρες, ενώ τα υπόλοιπα παραμένουν κλειστά.

- Η Ελλάδα από το 2019 έχει υποχρέωση πρόσμιξης της βενζίνης με βιοαιθανόλη σε ποσοστό τουλάχιστον 1%, το οποίο το 2020 προσαρμόστηκε στο 3,3%, γεγονός που επηρέασε και την τιμή της βενζίνης η οποία αυξήθηκε, λόγω της μη συμμόρφωσης της Ελλάδας με τη σχετική ευρωπαϊκή Οδηγία.
- Η χώρα μας παραμένει ουραγός στην ΕΕ στην παράγωγή πράσινων καυσίμων.
- Επίσης για το πετρέλαιο κίνησης το αντίστοιχο ποσοστό πρόσμιξης με καύσιμο βιολογικής προέλευσης είναι 7% κατ' όγκο.
- Έως σήμερα δεν υπάρχει καμία μονάδα παραγωγής βιοαιθανόλης στη χώρα μας.
- Τα διυλιστήρια θα πρέπει να μηδενίσουν το ανθρακικό τους αποτύπωμα και αυτό είναι μια τεράστια πρόκληση για τις πετρελαϊκές εταιρείες και όσες έχουν διυλιστήρια.
- Όπως δείχνουν οι διεθνείς τάσεις οι δύο-τρεις βασικές δραστηριότητες που θα επιβιώσουν θα είναι τα πετροχημικά και η παραγωγή πλαστικών, τα πράσινα συνθετικά καύσιμα και τα βιοκαύσιμα.
- Στο δεύτερο μισό του αιώνα μας, δεν θα καταναλώνουμε κανένα ορυκτό καύσιμο που παράγει αέρια του θερμοκηπίου και άρα είναι μονόδρομος, αρχικά, τα πράσινα καύσιμα και μετέπειτα τα μη-καύσιμα και η πρώτη εναλλακτική που ήδη χρησιμοποιούμε είναι τα βιοκαύσιμα.

Ethanol

- An alcohol-based alternative fuel made by fermenting and distilling crops such as corn, barley or wheat.
- It can be blended with gasoline to increase octane levels and improve emissions quality.
- **Positive:** Materials are renewable.
- **Negative:** Ethanol subsidies have a negative impact on food prices and availability.

(Βιο)αιθανόλη

- Η (βιο)αιθανόλη αποτελεί ένα βιοκαύσιμο, υψηλής ενεργειακής απόδοσης που μπορεί να υποκαθιστά την βενζίνη.
- Παράγεται από σακχαρούχα, κυτταρινούχα και αμυλούχα φυτά (σιτάρι, καλαμπόκι, σόργο, τεύτλα, άχυρο, ξύλο κ.ά.) και χρησιμοποιείται:
 - (i) ως έχει σε βενζινοκινητήρες που έχουν υποστεί κατάλληλες μετατροπές
 - (ii) σε μίγμα με βενζίνη σε κανονικούς βενζινοκινητήρες.
- Η βιοαιθανόλη μπορεί να προστεθεί σε ποσοστό 5% στη βενζίνη σύμφωνα με το πρότυπο EN 228.
- Αυτό το μίγμα δεν απαιτεί τροποποίηση του κινητήρα και καλύπτεται από τις εγγυήσεις του οχήματος.
- Με την κατάλληλη μετατροπή του κινητήρα, η βιοαιθανόλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε υψηλότερα επίπεδα, για παράδειγμα, σε ποσοστό 86% (E85).



Η Παραγωγή βιοαιθανόλης στην Ευρώπη

Παραγωγή καυσίμου βιοαιθανόλης – Κύριοι παραγωγοί (σε εκατ. λίτρα)

Έτος	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Benelux ¹	19	37	76	143	380	696	1,013	1,013
Γαλλία	294	539	746	906	942	949	949	949
Γερμανία	430	397	580	752	765	730	759	823
Ην. Βασίλειο	0	44	70	70	278	190	253	316
Ισπανία	405	359	346	465	471	465	465	465
Πολωνία	162	120	114	165	194	171	203	228
Λ. Χώρες	323	310	655	970	1,147	1,419	1,295	1,396
ΣΥΝΟΛΟ	1,633	1,806	2,587	3,471	4,177	4,620	5,000	5,380

1 Benelux : Βέλγιο, Ολλανδία και Λουξεμβούργο

Ο Κλάδος Βιοαιθανόλης της ΕΕ Παρήγαγε το 2021 Περισσότερες Ζωοτροφές από Καύσιμα

- Η παραγωγή βιοαιθανόλης στην Ευρώπη έχει οδηγήσει σε μεγαλύτερες αποδόσεις ζωοτροφών από ό,τι καυσίμων το 2021, σύμφωνα με νέα στοιχεία - μια περαιτέρω απόδειξη ότι τα βιοκαύσιμα μπορούν επίσης να συμβάλουν στη σταθερότητα των τροφίμων, σύμφωνα με τη βιομηχανία. Τα στοιχεία που συγκέντρωσε η ευρωπαϊκή ένωση ανανεώσιμης αιθανόλης ePURE διαπίστωσαν ότι, για πρώτη φορά, τα μέλη της παρήγαγαν περισσότερα παράγωγα ζωοτροφών από ό,τι ανανεώσιμη αιθανόλη.
- Τα αποτελέσματα πιστοποιήθηκαν από την ελβετική ελεγκτική εταιρεία Copartner.

- Περίπου 4,48 εκατομμύρια τόνοι ζωοτροφών υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες παρήχθησαν χάρη στην παραγωγή αιθανόλης στην Ευρώπη, ζωοτροφές που θα απαιτούσαν εισαγωγή, κυρίως από τη Λατινική Αμερική, ή πρόσθετη καλλιέργεια.
- Οι πράσινες ΜΚΟ έχουν παρουσιάσει την παραγωγή βιοκαυσίμων με βάση τις καλλιέργειες ως προβληματική τόσο για περιβαλλοντικούς λόγους όσο και για λόγους επισιτιστικής ασφάλειας.
- Οι οργανώσεις εκμεταλλεύονται τις ελλείψεις τροφίμων που παρατηρούνται μετά τον συνεχιζόμενο πόλεμο στην Ουκρανία για να απαιτήσουν τον τερματισμό των βιοκαυσίμων με βάση τις καλλιέργειες.

- Η βιομηχανία αιθανόλης υποστηρίζει ότι τα βιοκαύσιμα όχι μόνο μειώνουν την ανάγκη για εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα, αλλά και ότι η πρωτεϊνούχα τροφή για τα ζώα που παράγεται από τη διαδικασία παραγωγής ενισχύει την επισιτιστική ασφάλεια.
- Πολλές φορές έχουμε αποδείξει με τεκμηριωμένα γεγονότα ότι η βιομηχανική, γεωργική, οικονομική πραγματικότητα είναι τα τρόφιμα και τα καύσιμα.
- Εκτός από την παραγωγή ζωοτροφών, η παραγωγή βιοαιθανόλης στην ΕΕ οδηγεί σε ζάχαρη και άμυλο.
- Εάν υπονομευθεί η αγορά βιοκαυσίμων, είναι σαφές ότι αυτή η παραγωγή τροφίμων θα τεθεί σε κίνδυνο.
- Τα βιοκαύσιμα χρησιμεύουν επίσης για την ενίσχυση των εσόδων των γεωργών, γεγονός που τους ενθαρρύνει να συνεχίσουν να παράγουν τρόφιμα στην Ευρώπη.
- Μικρή γεωργική έκταση που χρησιμοποιείται για την καλλιέργεια αιθανόλης στην ΕΕ, η οποία ανέρχεται στο 2,2% της καλλιεργήσιμης έκτασης της ΕΕ.

Valérie Corre, πρόεδρος ePURE, συνέδριο της EURACTIV

Μείωση εκπομπών

- Σύμφωνα με τα στοιχεία της ePURE, το επίπεδο μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου της αιθανόλης που παράγεται στην ΕΕ σε σύγκριση με την ορυκτή βενζίνη έφτασε σε νέο υψηλό επίπεδο, φθάνοντας το 76,9%.
- Τα νέα δεδομένα επιβεβαιώνουν ότι η ανανεώσιμη αιθανόλη είναι η πιο αποδοτική λύση μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που διαθέτει η ΕΕ.
- Ο περιορισμός της παραγωγής βιοκαυσίμων αποτελεί πολιτικό λάθος.
- Παρά την άνοδο των ηλεκτρικών και υδρογονοκίνητων οχημάτων, τα βενζινοκίνητα και πετρελαιοκίνητα αυτοκίνητα θα συνεχίσουν να κυκλοφορούν στους ευρωπαϊκούς δρόμους για τις επόμενες δεκαετίες.

- Η σταδιακή κατάργηση των βιώσιμων βιοκαυσίμων, όπως η ανανεώσιμη αιθανόλη -όπως θέλουν να κάνουν ορισμένοι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής- δεν αντιβαίνει απλώς στην κοινή λογική, αλλά ανοίγει επίσης την πόρτα για μεγαλύτερη εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα. Κανείς δεν το θέλει αυτό.
- Η βιομηχανία ανανεώσιμης αιθανόλης έχει προβάλει το καύσιμο με βάση τις καλλιέργειες ως τον πιο αποδοτικό τρόπο για την απαλλαγή από τον άνθρακα στις οδικές μεταφορές.
- Η βιομηχανία υποστηρίζει ότι λαμβάνοντας υπόψη τη διάρκεια του κύκλου ζωής των εκπομπών CO₂, τα υψηλά μίγματα αιθανόλης ξεπερνούν τα υβριδικά και τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρία.
- Το μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας της ΕΕ που είναι βαρύ με ορυκτά καύσιμα σε συνδυασμό με την ένταση άνθρακα της παραγωγής μπαταριών σημαίνει ότι τα ηλεκτρικά οχήματα με μπαταρίες εξοικονομούν λιγότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από ό,τι ένα αυτοκίνητο με κινητήρα εσωτερικής καύσης που λειτουργεί με καύσιμο E85 σε επίπεδο κύκλου ζωής.

Βιοαιθανόλη

- Η εκπλήρωση του στόχου της Οδηγίας της ΕΚ για το 2010 για αντικατάσταση 5,75% του πετρελαίου και της βενζίνης στο τομέα των μεταφορών, δημιούργησε μια απαίτηση για ποσότητα βιοκαυσίμων ύψους 760 PJ.
- Υποθέτοντας ότι η βιοαιθανόλη αντιστοιχεί στη μισή από αυτή τη ποσότητα, η απαίτηση για βιοαιθανόλη το 2010 στην Ευρώπη ήταν περίπου 14,5 εκατομμύρια τόνους (ή 18 εκατομμύρια m³).
- Επιπλέον η ζήτηση της βιοαιθανόλης αναμένεται να αυξηθεί τα επόμενα έτη λόγω της οδηγίας για τις ΑΠΕ.
- Προκειμένου να εκπληρωθεί η αυξανόμενη απαίτηση για βιοαιθανόλη, δύο στρατηγικές μπορούν να εφαρμοστούν:
 - η χρήση νέων διαδικασιών που χρησιμοποιούν κυτταρινούχα βιομάζα ως πρώτη ύλη (δηλ. βιοαιθανόλη 2^{ης} γενιάς)
 - η χρήση καινοτόμων σακχαρούχων φυτών για την παραγωγή συμβατικής βιοαιθανόλης (δηλ. βιοαιθανόλη 1^{ης} γενιάς), μέσω οικονομικά βιώσιμων διαδικασιών.

- Η κυτταρινούχα βιομάζα είναι διαθέσιμη σε μεγάλες ποσότητες και με χαμηλό κόστος υπό μορφή γεωργικών (π.χ. άχυρο) και δασοκομικών υπολειμμάτων ή μπορεί να καλλιεργηθεί έχοντας υψηλή αποδοτικότητα ανά εκτάριο και χαμηλές ενεργειακές εισαγωγές, εάν συγκριθεί με αντίστοιχες συγκομιδές αμύλου και σακχάρων που χρησιμοποιούνται αυτήν την στιγμή.
- Η βιοαιθανόλη που παράγεται από την κυτταρίνη, αναμένεται να είναι οικονομικά πιο αποδοτική στη μείωση των αερίων εκπομπών του θερμοκηπίου από την τρέχουσα παραγωγή βιοαιθανόλης.

Αυτήν την περίοδο, τρεις τύποι διαδικασιών βασισμένων στην κυτταρίνη είναι υπό ανάπτυξη:

- η παραγωγή «κυτταρινικής» βιοαιθανόλης από κυτταρινούχα βιομάζα με φυσικό-χημική προγενέστερη επεξεργασία που ακολουθείται από την ενζυματική υδρόλυση, ζύμωση και την απόσταξη,
- η παραγωγή βιοαιθανόλης ή ενός μίγματος οινόπνευμάτων από κυτταρινούχα βιομάζα μέσω αεριοποίησης και στη συνέχεια καταλυτικής μετατροπής του συνθετικού αερίου σε αλκοόλες,
- η παραγωγή βιοαιθανόλης από κυτταρινούχα βιομάζα μέσω αεριοποίησης και στην συνέχεια ζύμωσης του συνθετικού αερίου σε αιθανόλη, ένας συνδυασμός δηλαδή θερμοχημικών και βιοχημικών τεχνικών.

Κυτταρίνη και ημικυτταρίνες

- Οι υδατάνθρακες (κυτταρίνη και ημικυτταρίνες) της φυτικής βιομάζας και το άμυλο μπορούν να μετατραπούν σε σάκχαρα με τη μέθοδο της οξινής ή ενζυμικής υδρόλυσης.
- Τα σάκχαρα μπορούν να μετατραπούν σε αλκοόλη μέσω της ζύμωσης, η οποία συνιστά μία αναερόβια βιολογική διεργασία που καταλύεται με τη δράση μικροοργανισμών, συνήθως ενζύμων.
- Η προκύπτουσα, από την εν λόγω διεργασία, αλκοόλη είναι η (βιο)αιθανόλη.
- Η καταλληλότητα του είδους της βιομάζας για την παραγωγή βιοαιθανόλης εξαρτάται από την ικανότητά της να μετατρέπεται σε σάκχαρα.

Σύσταση φυτικής βιομάζας

- Η φυτική ύλη, ξυλώδης και μη, αποτελείται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό (90-99%) από μεγαλομοριακές (πολυμερείς ενώσεις) και κατά το υπόλοιπο (1-10%) από απλές ή ολιγομερείς ενώσεις.
- Οι μεγαλομοριακές ενώσεις διακρίνονται σε τρεις βασικές ομάδες (βάσει της σύστασης και της δομής αυτών): **στην κυτταρίνη, στις ημικυτταρίνες και στην λιγνίνη.**
- Η κυτταρίνη συνιστά την πλέον διαδεδομένη οργανική ένωση στη φύση. Είναι ένα γραμμικό πολυμερές της ανυδρογλυκόζης με μεγάλο βαθμό πολυμερισμού και έχει εμπειρικό τύπο $(C_6H_{10}O_5)_m$.
- Παρουσιάζει μεγάλη χημική και μηχανική αντοχή και στην καθαρή της μορφή έχει χρώμα λευκό και ειδικό βάρος ίσο με 1,5.
- Τα μακρομόρια της κυτταρίνης διατάσσονται παράλληλα μεταξύ τους και αναπτύσσουν δεσμούς υδρογόνου, σχηματίζοντας έτσι τα στοιχειώδη ινίδια (ή κρυσταλλίτες), τα οποία θεωρούνται σήμερα ως η ελάχιστη ορατή δομική μονάδα της ίνας.
- Τα στοιχειώδη ινίδια ενώνονται μεταξύ τους με τη βοήθεια άμορφων ημικυτταρινών και λιγνίνης, με αποτέλεσμα να σχηματίζονται δέσμες αυτών.
- Αυτές ενώνονται μεταξύ τους (με τη βοήθεια άμορφων ημικυτταρινών και λιγνίνης) και σχηματίζουν τις ίνες.

Ημικυτταρίνες

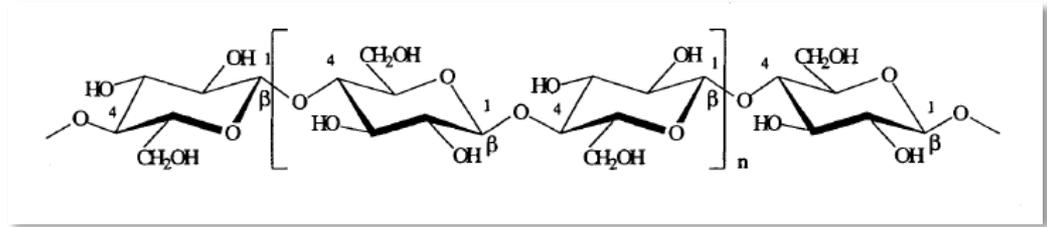
- Οι ημικυτταρίνες είναι γραμμικά διακλαδούμενα πολυμερή που προκύπτουν από ανυδρίτες διαφόρων σακχάρων, καθώς και από ανυδρίτες ουρανικών οξέων.
- Παρουσιάζουν μικρό βαθμό πολυμερισμού και μικρή μηχανική και χημική αντοχή.
- Συμμετέχουν σαν πληρωτικό υλικό στο σχηματισμό τόσο των ινιδίων όσο και των ινών.
- Οι ημικυτταρίνες και η λιγνίνη δεν συναντώνται ελεύθερες στη φύση, αλλά συνοδεύονται πάντα από την την λιγνίνη.

Λιγνίνη

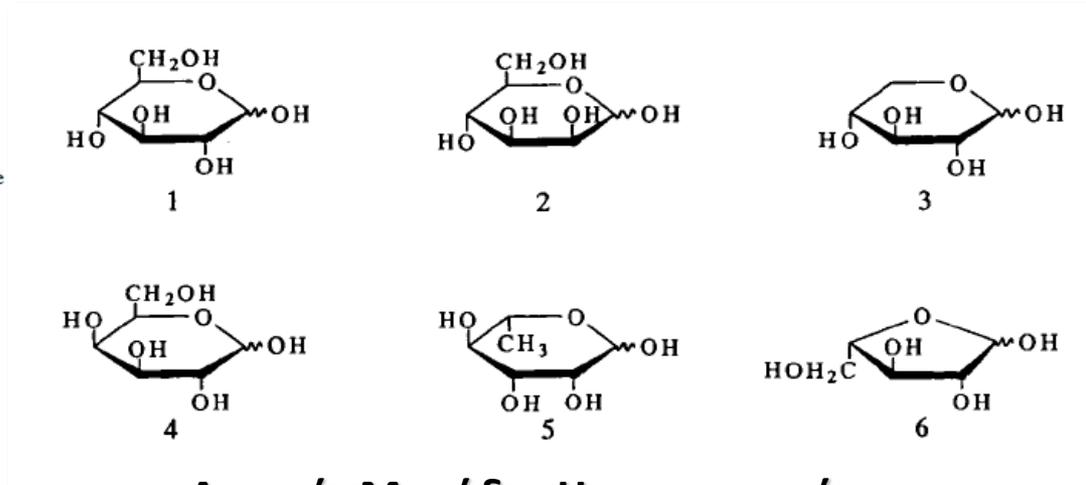
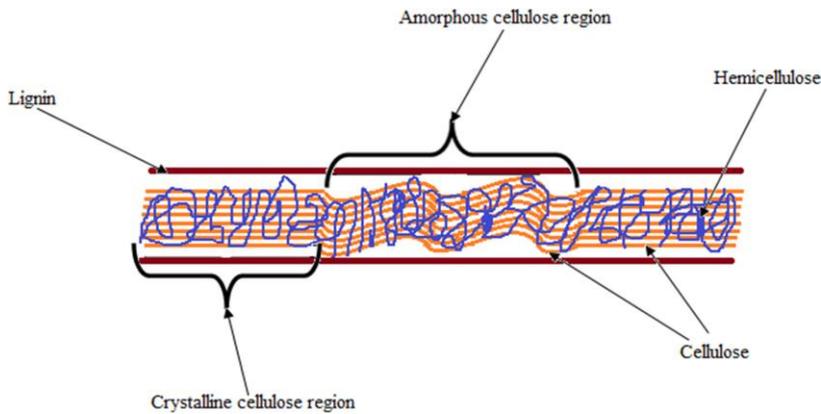
- Η λιγνίνη είναι το αφθονότερο και σπουδαιότερο, μετά την κυτταρίνη, συστατικό της φυτικής βιομάζας.
- Εν αντιθέσει με την κυτταρίνη και τις ημικυτταρίνες, δεν αποτελείται από υδατάνθρακες, αλλά προκύπτει από την συνένωση μονάδων φαινυλοπροπανίου.
- Η συνένωση αυτή οδηγεί στο σχηματισμό ενός άμορφου τρισδιάστατου πολυμερούς.
- Στο φυτό η λιγνίνη δρα σαν συγκολλητική ύλη τόσο των ινιδίων όσο και των ινών.
- Αξίζει ακόμη να σημειωθεί πως η περιεκτικότητα των ομάδων αυτών (κυτταρίνης, ημικυτταρινών και λιγνίνης) διαφέρει αναλόγως του είδους της φυτικής ύλης.
- Η κυτταρίνη περιέχεται κατά 40-50% στο ξύλο και στο μπαμπού, κατά 95-99% στο βαμβάκι και κατά 20-30% στο φλοιό των δένδρων.
- Οι ημικυτταρίνες είναι περισσότερες στα «σκληρά» ξύλα – hardwoods - (περίπου 36%) απ' ό τι στα «μαλακά» (περίπου 28%).
- Η λιγνίνη είναι περισσότερη στα «μαλακά» ξύλα – softwoods - (περίπου 30%) απ' ό τι στα σκληρά (περίπου 20%).

Λιγνοκυτταρινούχος Πρώτη Ύλη

- ❑ Κυτταρίνη 35-50%
- ❑ Ημικυτταρίνες 20-35%
- ❑ Λιγνίνη 10-25%
- ❑ Εκχυλίσιμα (τερπένια, ρητίνες, φαινόλες)
- ❑ Τέφρα 1-10%



Αλυσίδα Κυτταρίνης



Δομικές Μονάδες Ημικυτταρινών:

1. D-γλυκόζη, 2. D-μανόζη, 3. D-ξυλόζη,

4. D-γαλακτόζη, 5. L-ραμνόζη, 6. L-αραβινόζη

Δομή Λιγνοκυτταρινούχων Υλικών

Διαλυτότητα

- Η κυτταρίνη είναι αδιάλυτη στους περισσότερους διαλύτες και υδρολύεται δύσκολα υπό την επίδραση οξέων και ενζύμων.
- Η λιγνίνη αν και διασπάται σε ενώσεις μικρότερου μοριακού βάρους, δεν είναι ευδιάλυτη στο νερό.
- Επίσης, κατά την αποδόμησή της στους 525 K σχηματίζονται ρίζες φαινοξέος οι οποίες έχουν την τάση να σχηματίζουν ένα στερεό υπόλειμμα δια μέσου συμπύκνωσης ή πολυμερισμού.
- Οι ημικυτταρίνες είναι σε μεγάλο βαθμό διαλυτές σε αλκαλικές συνθήκες και, ως εκ τούτου, πιο εύκολα υδρολύονται.

Περιεκτικότητα σακχάρων στο κλάσμα των υδατανθράκων
της φυτικής ύλης (% w/w)

Σάκχαρα	Μαλακά ξύλα	Σκληρά ξύλα
Γλυκόζη	61-65	55-73
Ξυλόζη	9-13	20-39
Μανόζη	7-16	0,4-4
Γαλακτόζη	6-17	1-4
Αραβινόζη	<3,5	<1

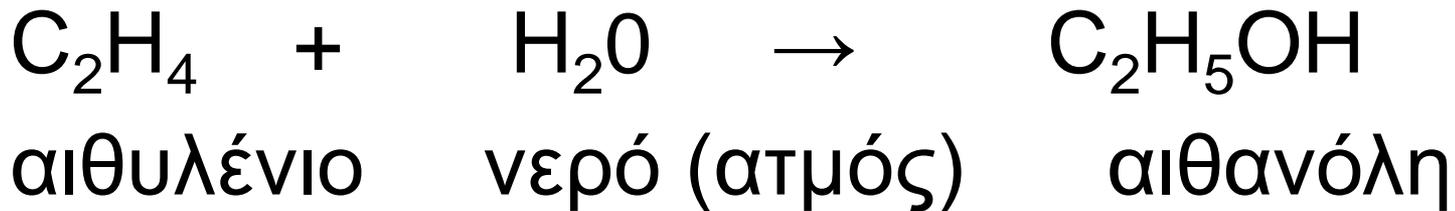
A. Demirbas (2008). The Importance of Bioethanol and Biodiesel from Biomass, *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, **3**, 177-185.

Hardwoods & Softwoods

- Στην κατηγορία των «σκληρών» ξύλων, που προέρχονται συνήθως από φυλλοβόλα δένδρα, ανήκουν αγγειόσπερμα φυτά, όπως η λεύκα, η οξυά, η σημύδα, ο ευκάλυπτος κτλ.
- Στην κατηγορία των «μαλακών» ξύλων, που, συνήθως, προέρχονται από αειθαλή δένδρα, περιλαμβάνονται γυμνόσπερμα φυτά, όπως το πεύκο, το έλατο, το κυπαρίσσι κτλ.

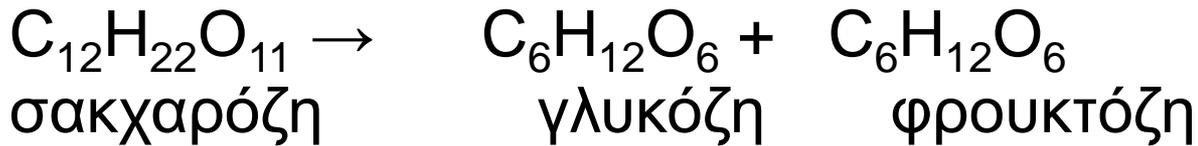
Παραγωγή βιοαιθανόλης

- Η **συνθετική αιθανόλη** παράγεται μέσω της καταλυτικής ενυδάτωσης (hydration) του αιθυλενίου, παράγωγου του πετρελαίου, σύμφωνα με την αντίδραση:

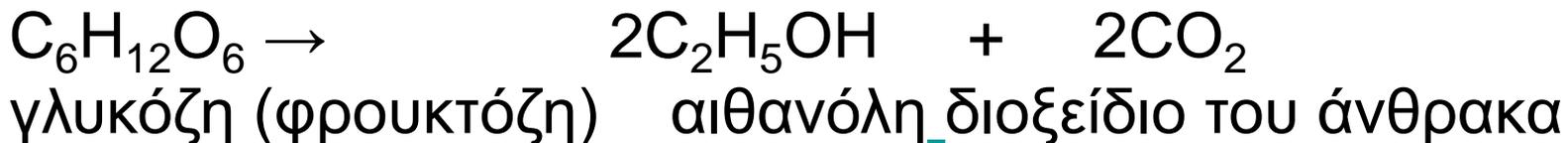


Βιοαιθανόλη

- Η **βιοαιθανόλη** μπορεί να παραχθεί από πλήθος υδατανθράκων με γενικό μοριακό τύπο $(\text{CH}_2\text{O})_n$.
- Η ζύμωση της σακχαρόζης έχει πραγματοποιηθεί με τη χρήση εμπορικών ενζυμικών σκευασμάτων.
- Αρχικώς η σακχαρόζη υδρολύεται προς γλυκόζη και φρουκτόζη.



- Στη συνέχεια, η γλυκόζη και η φρουκτόζη μετατρέπονται σε αιθανόλη.



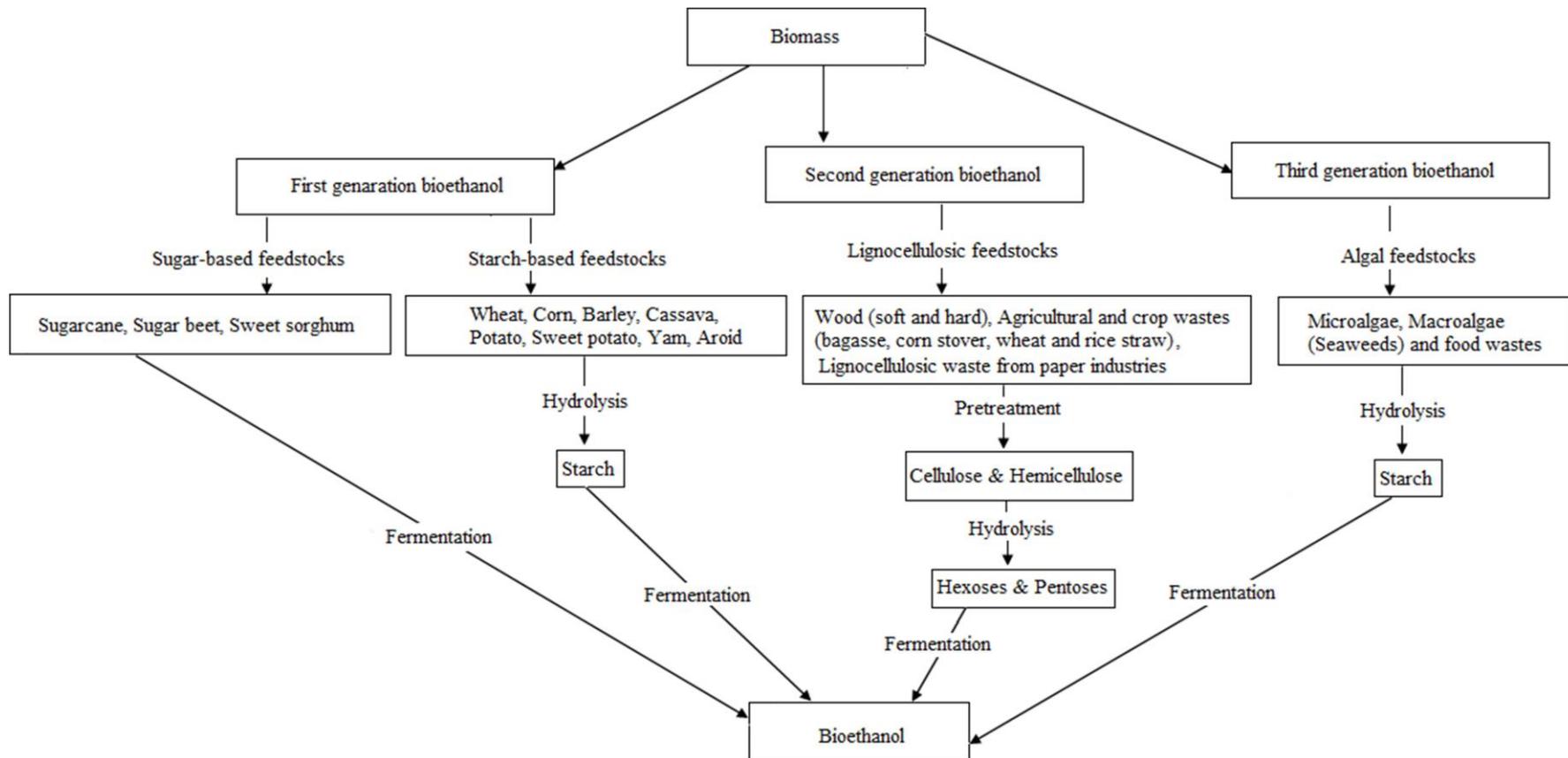
Το άμυλο

- Το **άμυλο** μπορεί να μετατραπεί σε D-γλυκόζη, με τη βοήθεια του ενζύμου γλυκοαμυλάση.
- Αυτή η **ενζυμική υδρόλυση** ακολουθείται, στη συνέχεια, από τη ζύμωση, την απόσταξη και την αφυδάτωση με σκοπό την παραγωγή άνυδρης βιοαιθανόλης.
- Το καλαμπόκι, το οποίο περιέχει άμυλο σε ποσοστό 60-70%, αποτελεί τη βασική πρώτη ύλη παγκοσμίως για τη βιομηχανική παραγωγή βιοαιθανόλης από άμυλο.

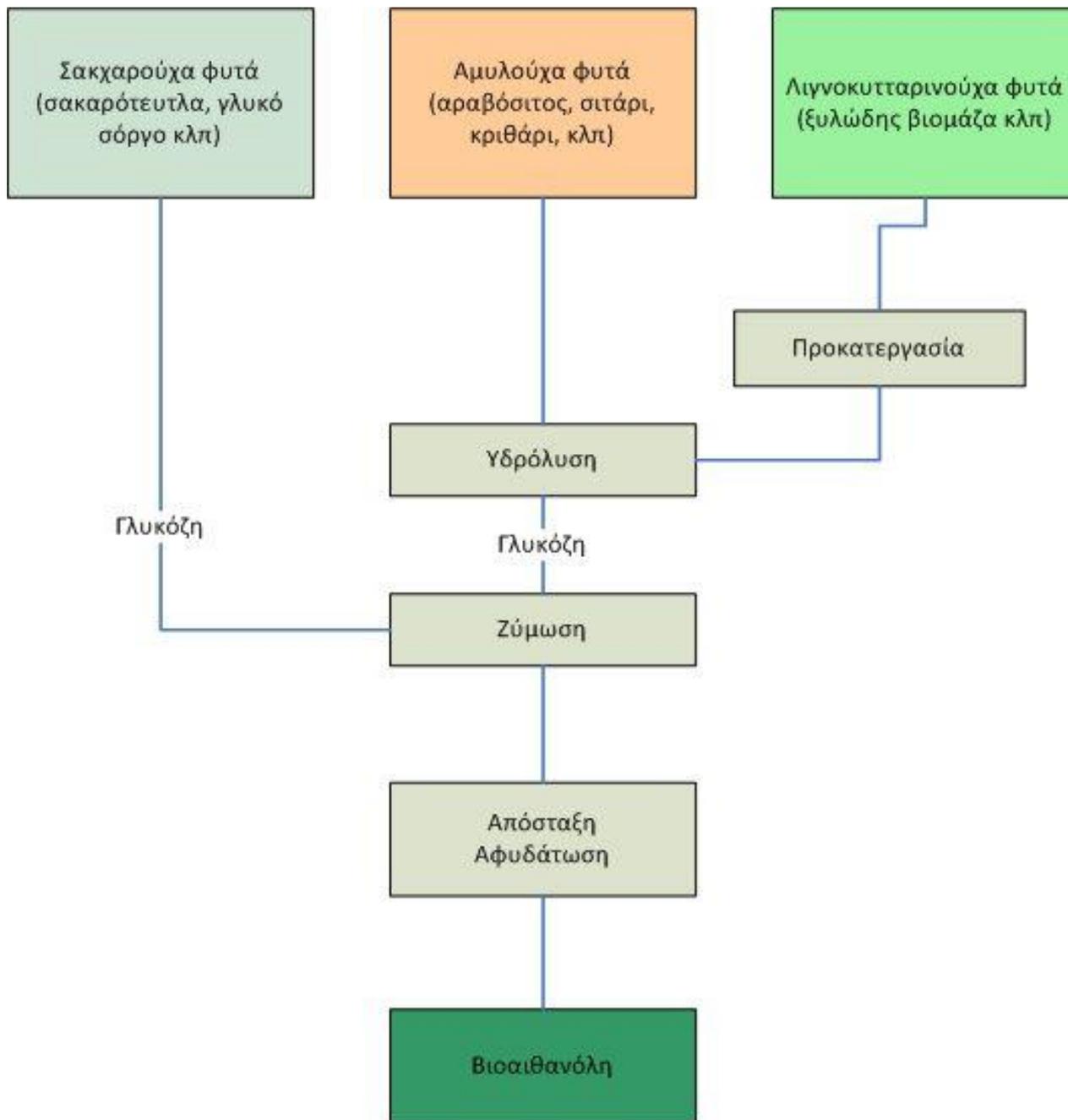
Οι υδατάνθρακες

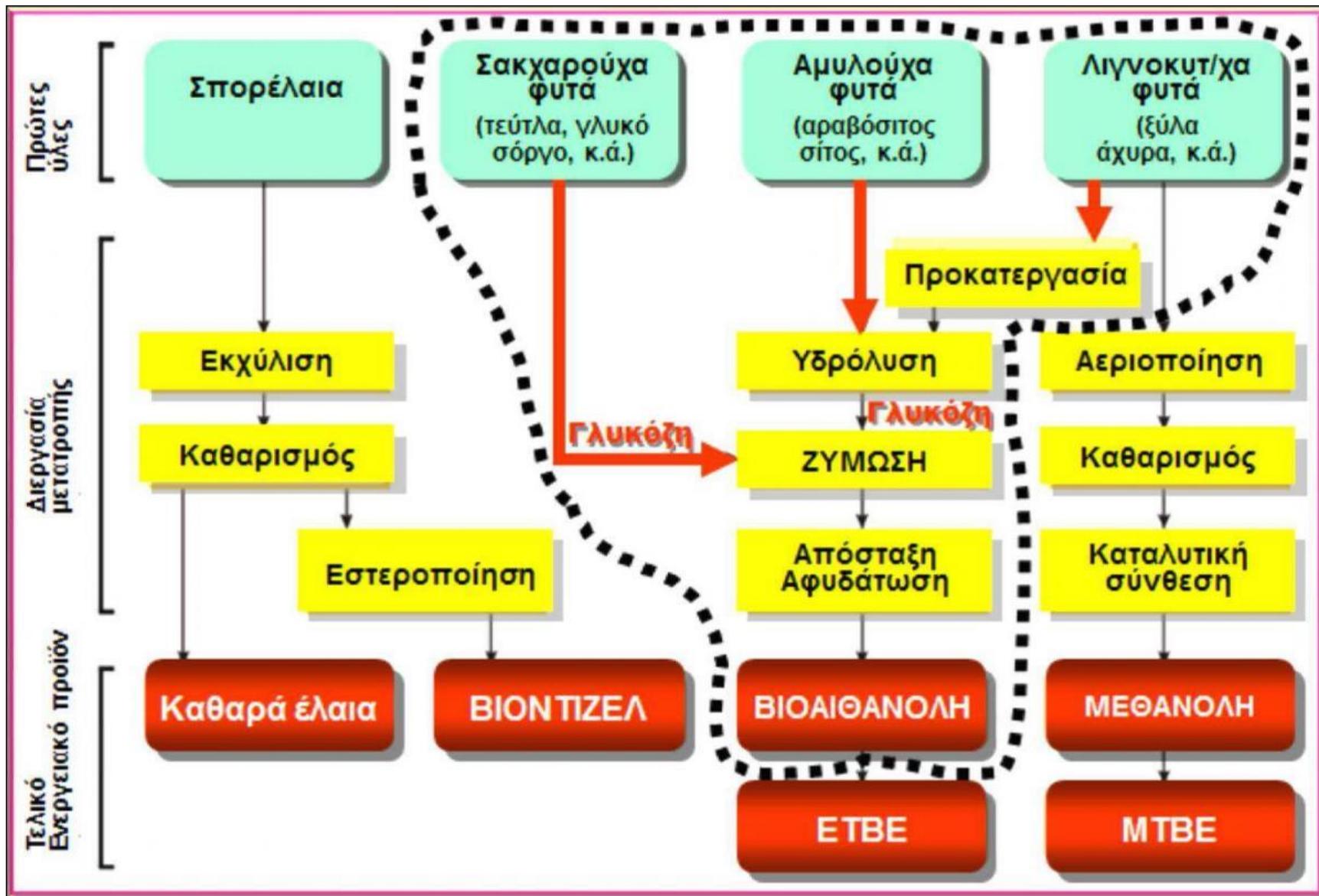
- Οι υδατάνθρακες (κυτταρίνη και ημικυτταρίνες) που βρίσκονται λιγνοκυτταρινούχα υλικά μπορούν να μετατραπούν σε **βιοαιθανόλη** αφού πρώτα λάβει χώρα απολιγνινοποίηση, ή επεξεργασία της ύλης με ατμό υπό πίεση ή μία ήπια όξινη υδρόλυση (προυδρόλυση).
- Κατόπιν των σταδίων αυτών λαμβάνει χώρα η ενζυμική υδρόλυση της κυτταρίνης και η ζύμωση των παραγομένων σακχάρων.
- Σημαντικό στάδιο της παραγωγής βιοαιθανόλης αποτελεί το στάδιο της ενζυμικής επεξεργασίας της κυτταρίνης για την παραγωγή σακχάρων.
- Συνήθως του σταδίου αυτού προηγείται ένα στάδιο προκατεργασίας.
- Μέσω της υδρόλυσης διασπώνται οι δεσμοί υδρογόνου των ημικυτταρινών και της κυτταρίνης με αποτέλεσμα τη μετατροπή τους σε σάκχαρα: πεντόζες και εξόζες, αντίστοιχα.
- Αυτά τα σάκχαρα μπορούν στη συνέχεια να υποστούν ζύμωση για την παραγωγή βιοαιθανόλης.
- Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες μέθοδοι υδρόλυσης μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο βασικές κατηγορίες: στη χημική υδρόλυση (με τη χρήση πυκνού ή αραιού οξέος) και στην ενζυμική υδρόλυση.
- Στη χημική υδρόλυση η προκατεργασία και η υδρόλυση είναι δυνατόν να υλοποιηθούν από κοινού σε ένα στάδιο, την προυδρόλυση.

Three generations of bioethanol production based on the feedstock.

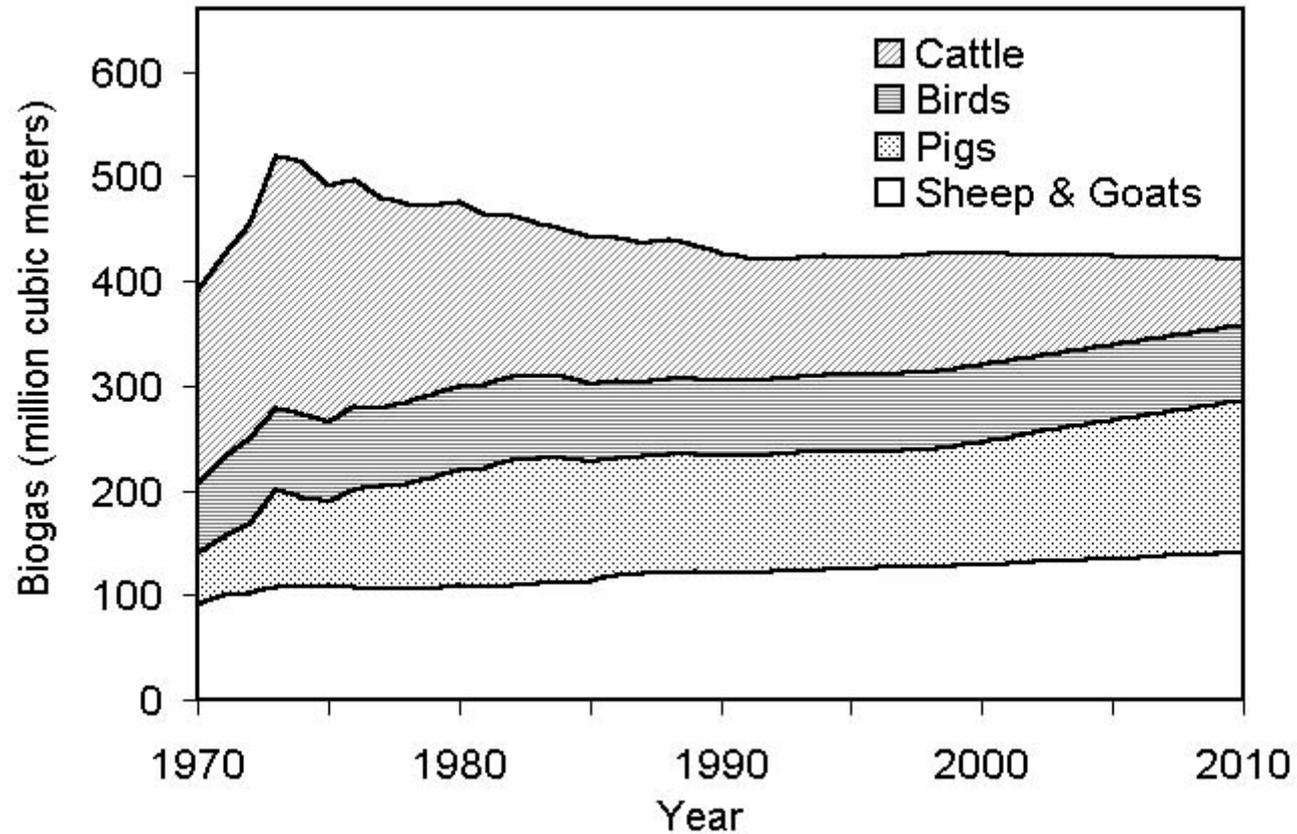


Jesus R. Melendez, Bence Mátyás, Sufia Hena, Daniel A. Lowy, Ahmed El Salous, Perspectives in the production of bioethanol: A review of sustainable methods, technologies, and bioprocesses, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 160, **2022**, 112260, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112260>

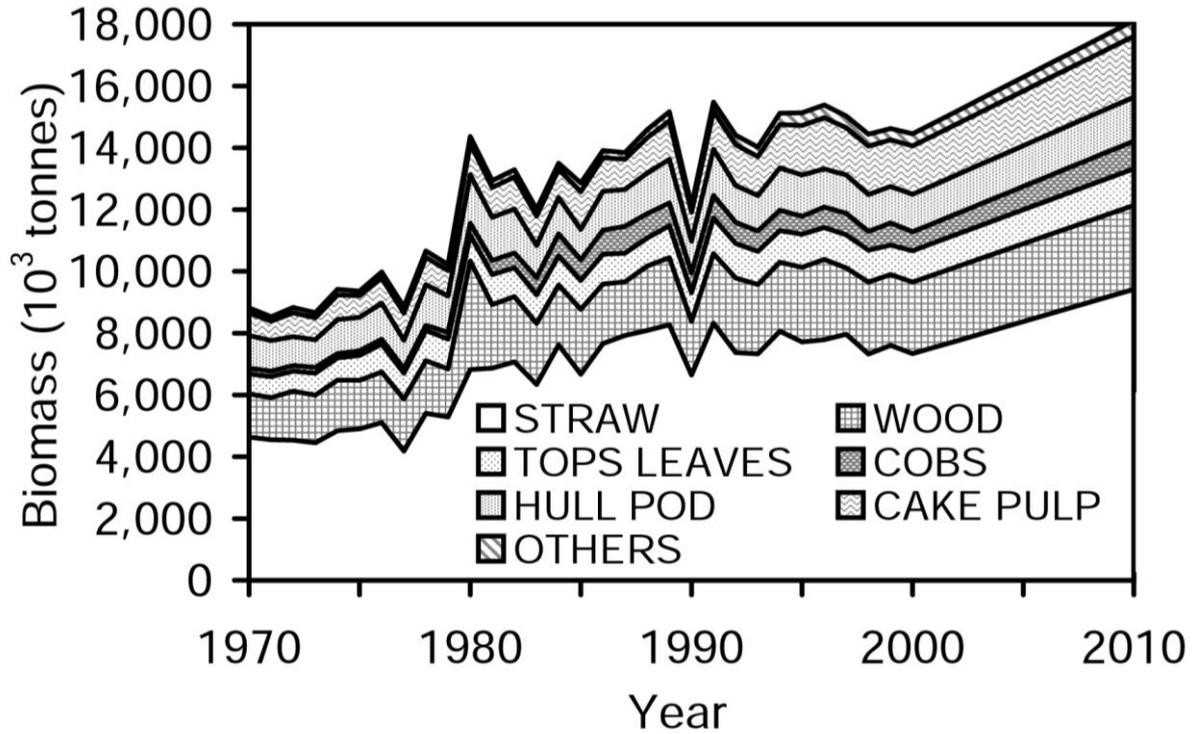




Παραγωγή βιομάζας από ζώα στην Ελλάδα



Παραγωγή βιομάζας από φυτά στην Ελλάδα



Αξιοποίηση Βιομάζας

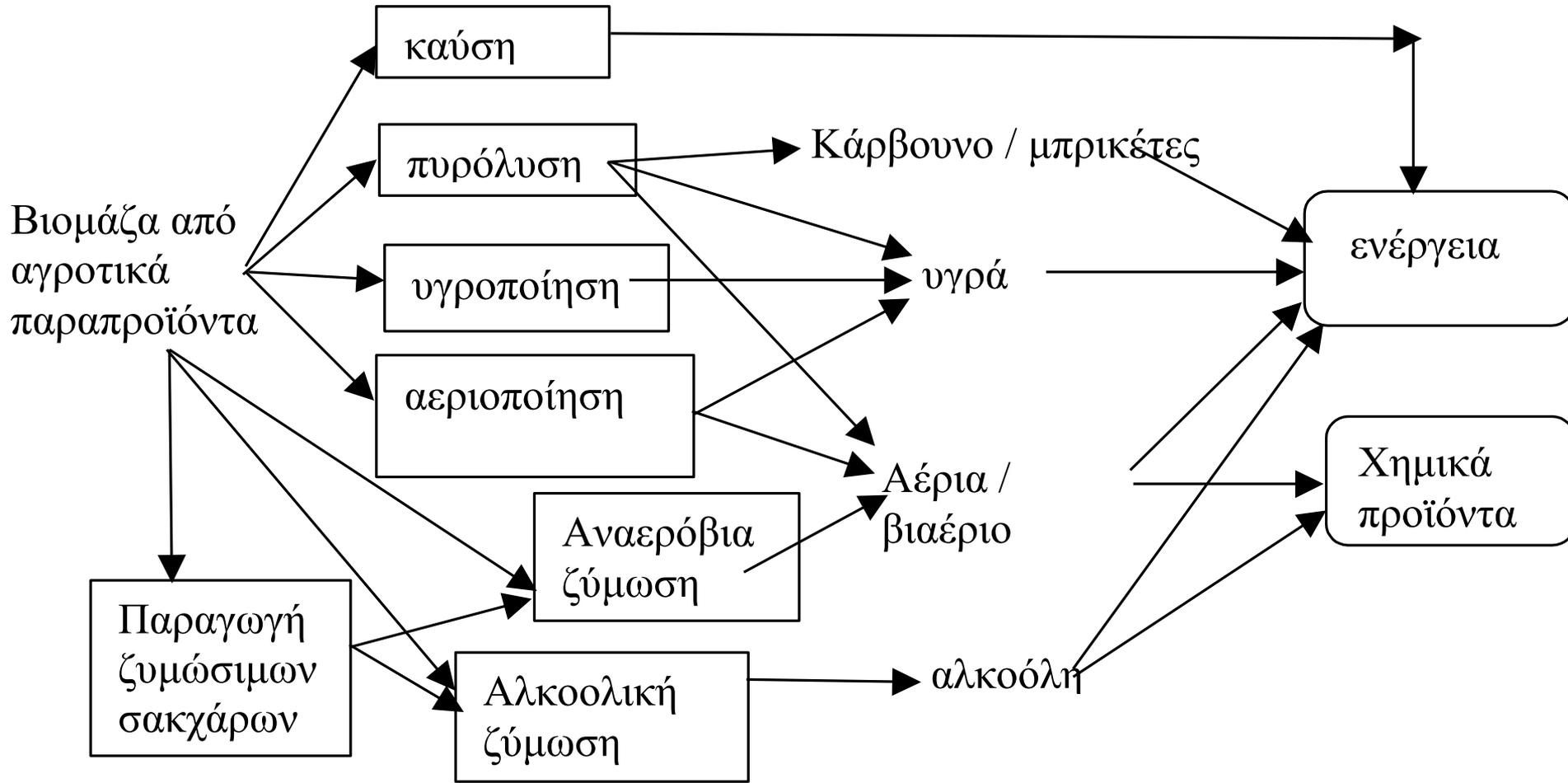
- Τις τελευταίες δεκαετίες εμφανίζεται ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τις τεχνολογίες των ανανεώσιμων πηγών υλικών και ενέργειας.
- Γίνονται σημαντικές προσπάθειες για την έρευνα, ανάπτυξη και βιομηχανική εφαρμογή τεχνολογιών κλασμάτωσης των συστατικών των βιολογικών πόρων, καθώς και προκατεργασίας τους που να αντιμετωπίζει τα προβλήματα χημικής ή / και βιολογικής τους μετατροπής σε χρήσιμα προϊόντα.
- Έμφαση δίνεται στην επεξεργασία των λιγνοκυτταρινούχων υλικών (άχυρα, ξύλο κλπ) με στόχο την αξιοποίηση των τριών βασικών συστατικών (κυτταρίνη, ημικυτταρίνες, λιγνίνη).
- Βιομηχανικές διεργασίες επεξεργασίας των λιγνοκυτταρινούχων υλικών, που αποτελούν αντικείμενο έντονων ερευνητικών προσπαθειών και εκτεταμένων βιομηχανικών εφαρμογών σε διεθνές επίπεδο είναι η όξινη υδρόλυση, η απολιγνίνωση, η άλεση και η χρήση διαλυτών.

- Η κυτταρίνη είναι η πιο διαδεδομένη από τις υπάρχουσες στη φύση οργανικές ενώσεις, ανέρχεται τουλάχιστον στο 1/3 της συνολικής φυτικής ύλης στον κόσμο, και είναι το κύριο συστατικό των κυτταρικών τοιχωμάτων των ανώτερων φυτών.
- Οι συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες της σύγχρονης βιομηχανίας για μεγάλες ποσότητες κυτταρίνης την φέρνει αντιμέτωπη με υλικά που προέρχονται από πολλές διαφορετικές φυτικές πηγές.
- Η ετήσια παραγωγή γεωργικών υπολειμμάτων, άχυρου κυρίως, αποτελεί σημαντική πηγή κυτταρίνης η οποία δεν έχει αξιοποιηθεί επαρκώς στην Ελλάδα.
- Ειδικότερα τα άχυρα των δημητριακών χρησιμοποιούνται από καιρό στη βιομηχανία χαρτιού.

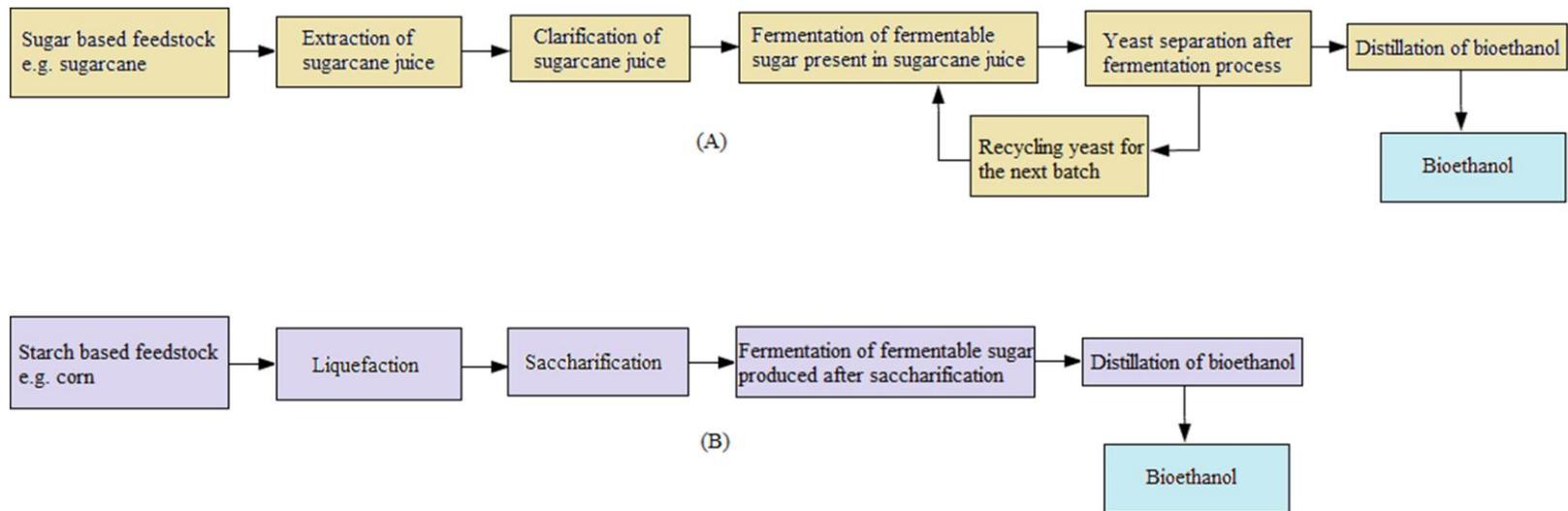
- Από το 1918 που πραγματοποιήθηκε για πρώτη φορά η υδρόλυση της κυτταρίνης με πυκνό θειικό οξύ, πολυάριθμοι ερευνητές ασχολήθηκαν με την χημεία και την βιομηχανική αξιοποίηση της όξινης υδρόλυσης.
- Σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές των κυτταρινούχων υλικών λαμβάνει χώρα όξινη υδρόλυση.
- Η ετερογενής σύσταση των λιγνοκυτταρινούχων υλικών, που αποτελούνται από κυτταρίνη, ημικυτταρίνες και λιγνίνη, και η μερικώς κρυσταλλική και μερικώς άμορφη δομή της κυτταρίνης, επιτρέπουν αναρίθμητες πιθανότητες χημικής αντίδρασης.
- Η όξινη υδρόλυση των κυτταρινούχων υλικών (κυρίως ξύλου) έχει εφαρμοστεί εκτεταμένα σε βιομηχανική κλίμακα για την βιομηχανική παραγωγή της εμπορικής αιθανόλης από βιομάζα (βιοαιθανόλης).
- Πολλές βιομηχανικές εγκαταστάσεις λειτουργούν στην πρώην Σοβιετική Ένωση.
- Στην Βραζιλία γίνεται βιομηχανική παραγωγή βιοαιθανόλης από παραπροϊόντα της βιομηχανίας ζάχαρης, και χρησιμοποιείται σε μίγμα με την βενζίνη στις μηχανές εσωτερικής καύσης των αυτοκινήτων.
- Υπάρχει μεγάλο διεθνές ενδιαφέρον για την όξινη υδρόλυση αγροτικών παραπροϊόντων και στερεών αποβλήτων, με σκοπό την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας και πολύτιμων ή / και ανανεώσιμων χημικών προϊόντων.

- Η φυσικοχημική και βιοχημική διεργασία αποικοδόμησης της κυτταρίνης είναι το κυριότερο εμπόδιο για την οικονομικά βελτιστοποιημένη βιομηχανική μετατροπή των λιγνοκυτταρινούχων υλικών σε χρήσιμα προϊόντα.
- Για αξιοποίηση των υδατανθράκων που περιέχονται στο ξύλο και στα αγροτικά παραπροϊόντα, με την βιομηχανική διεργασία «σακχαροποίησης - ζύμωσης», η νέα βιομηχανία βιοαιθανόλης πρέπει να χρησιμοποιήσει κάποιες κατεργασίες που να καταστρέφουν την δομή των κυτταρινούχων συστατικών.
- Από τις πολλές φυσικές και χημικές βιομηχανικές διεργασίες που έχουν μελετηθεί για την βελτίωση της σακχαροποίησης των λιγνοκυτταρινούχων, είτε με ένζυμα είτε με οξέα, η άλεση σε σφαιρόμυλο είναι η πλέον υποσχόμενη άμεση δομική μετατροπή της κυτταρίνης.

- Η υδρόλυση λιγνοκυτταρινούχου υλικού με αραιό οξύ, είναι ετερογενής αντίδραση και η προσομοίωσή της έχει απασχολήσει πάρα πολλούς ερευνητές.
- Στο Εργαστήριο είναι εφικτή η πειραματική προσομοίωση της βιομηχανικής χημικής διεργασίας της όξινα καταλυόμενης υδρόλυσης μονοσακχαριτών, ολιγοσακχαριτών, κυτταρίνης, ξυλάνης, ημικυτταρινών, άχυρου σιταριού και πολλών άλλων λιγνοκυτταρινούχων υλικών σε εργαστηριακής κλίμακας αντιδραστήρα διαλείποντος έργου (αυτόκλειστο).
- Η ανάγκη βελτιστοποίησης της απόδοσης της όξινης υδρόλυσης λιγνοκυτταρινούχων υλικών εντάσσεται στο γενικότερο πλαίσιο της αξιοποίησης της βιομάζας για την παραγωγή βιοαιθανόλης, δηλαδή ως Ήπιας Ανανεώσιμης Πηγής Ενέργειας.

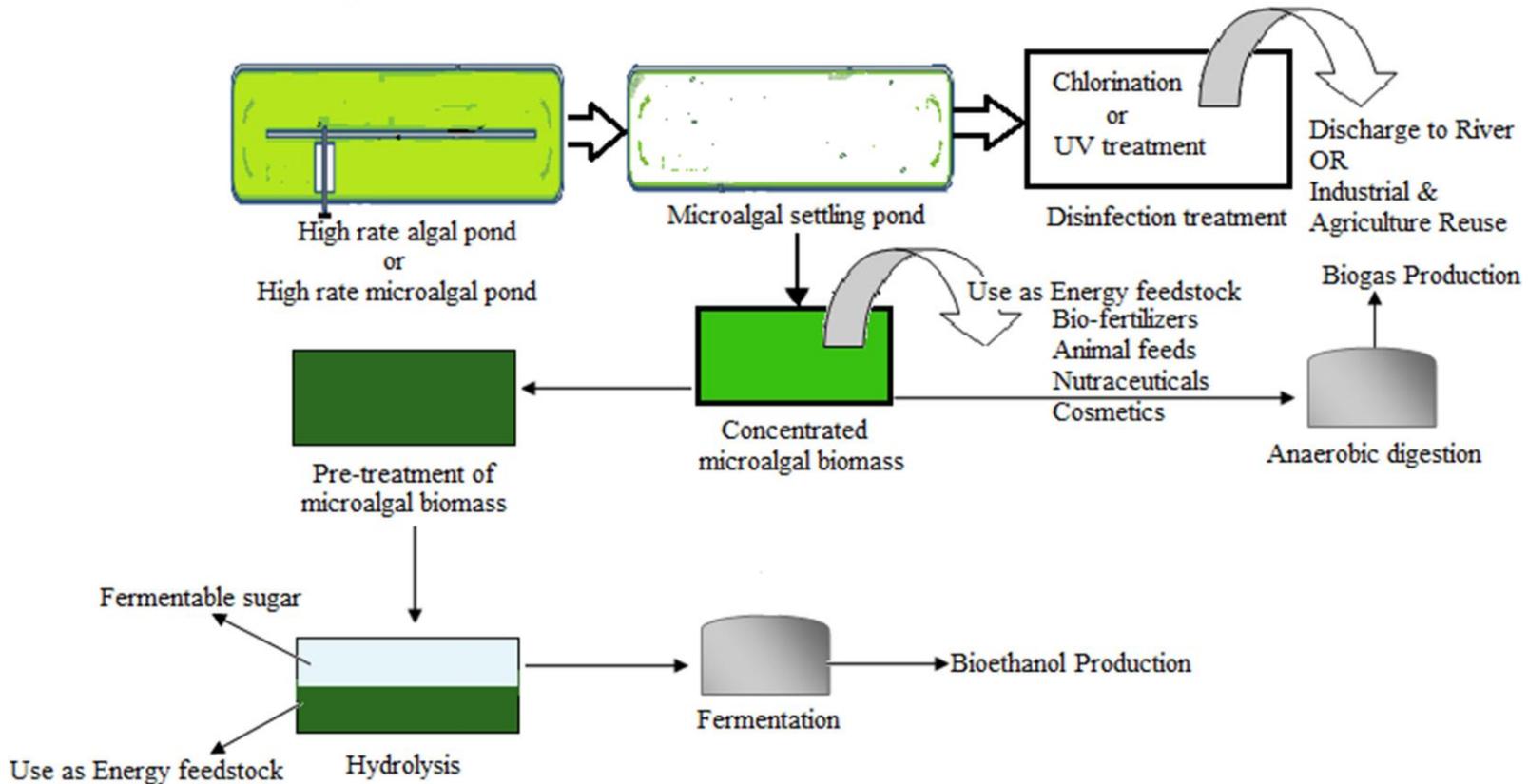


Schematic diagram comparing first-generation bioethanol production from (A) sugar based and (B) starch based feedstocks.

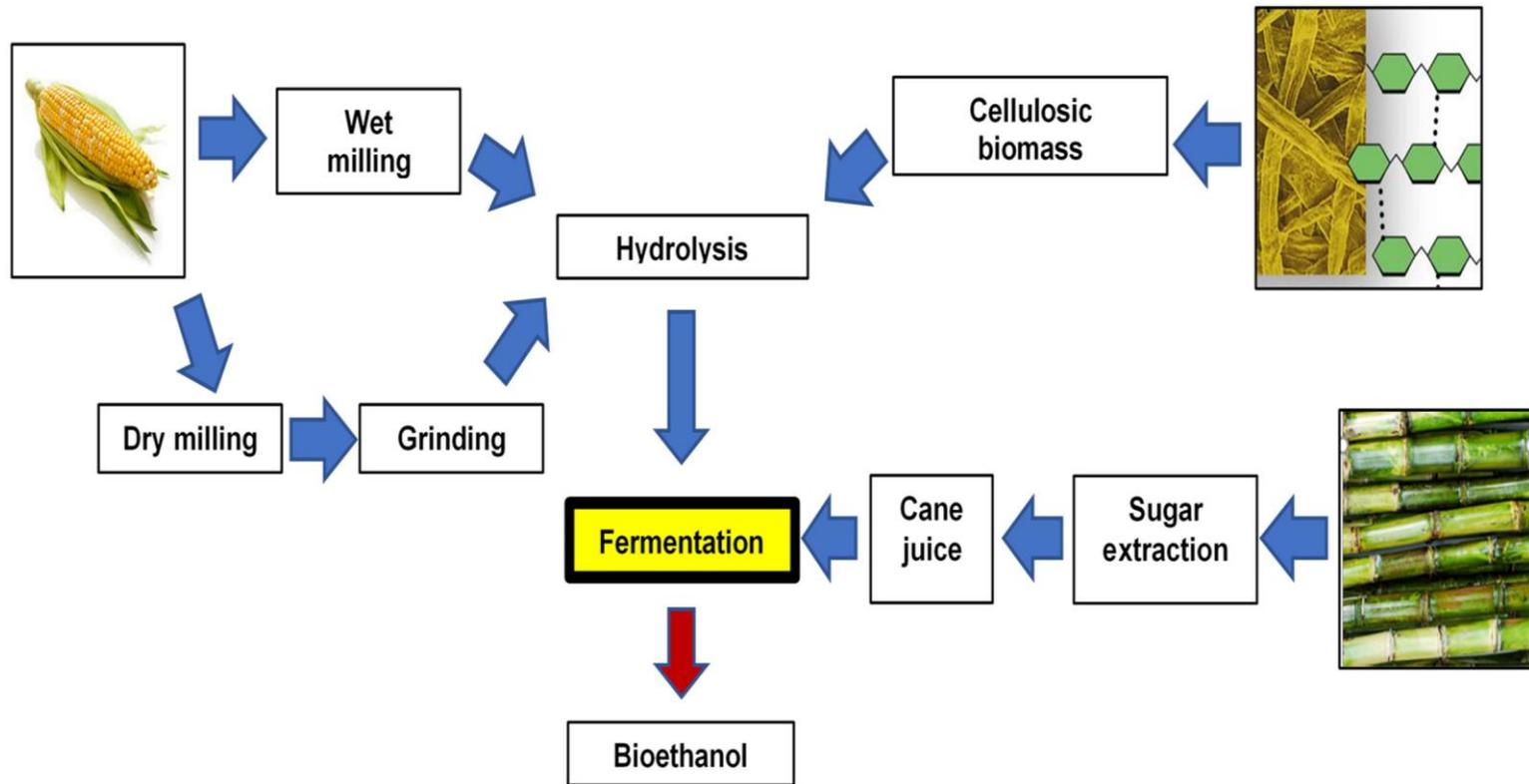


Jesus R. Melendez, Bence Mátyás, Sufia Hena, Daniel A. Lowy, Ahmed El Salous, Perspectives in the production of bioethanol: A review of sustainable methods, technologies, and bioprocesses, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 160, **2022**, 112260, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112260>

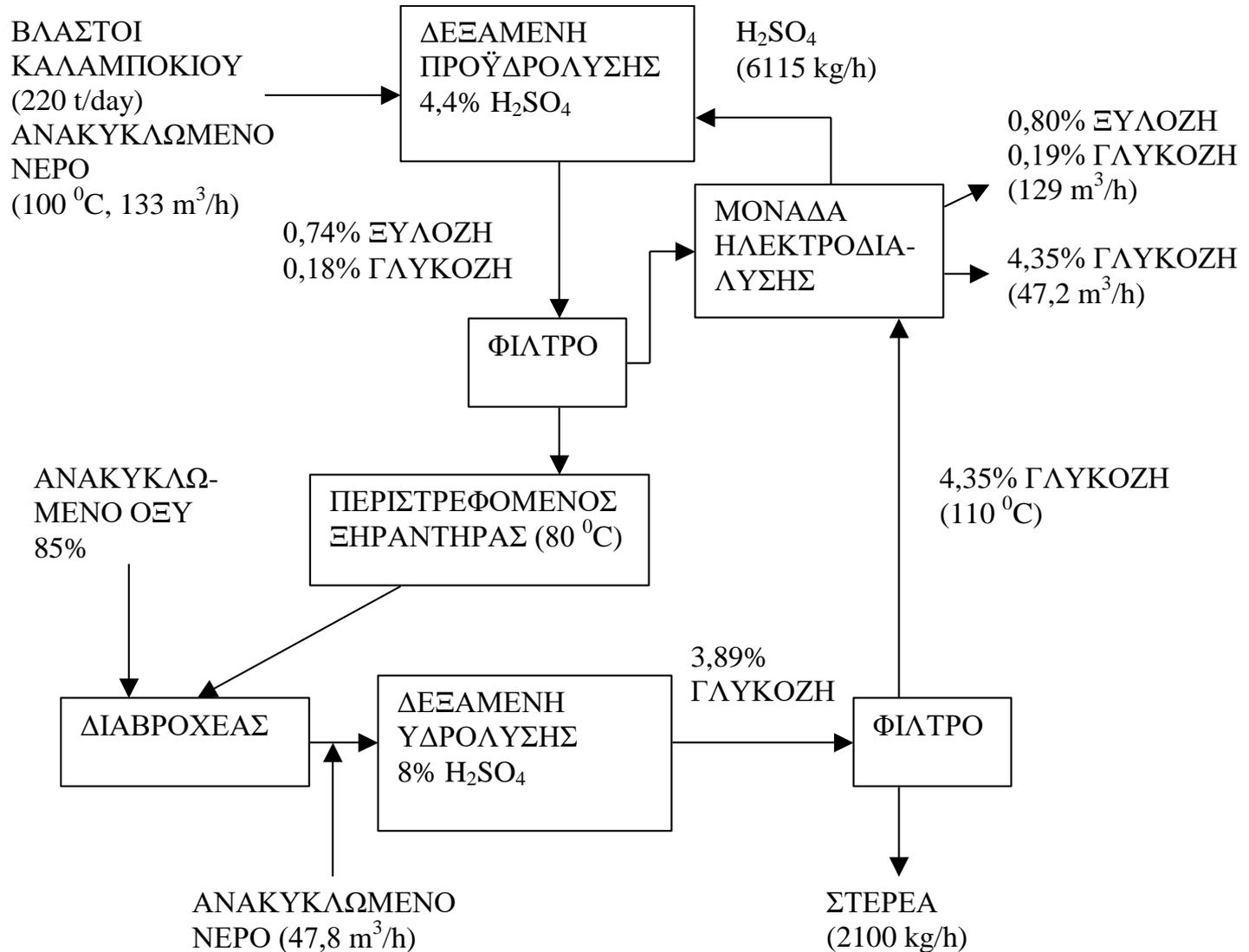
Process flow diagram of bioethanol production from microalgal biomass.



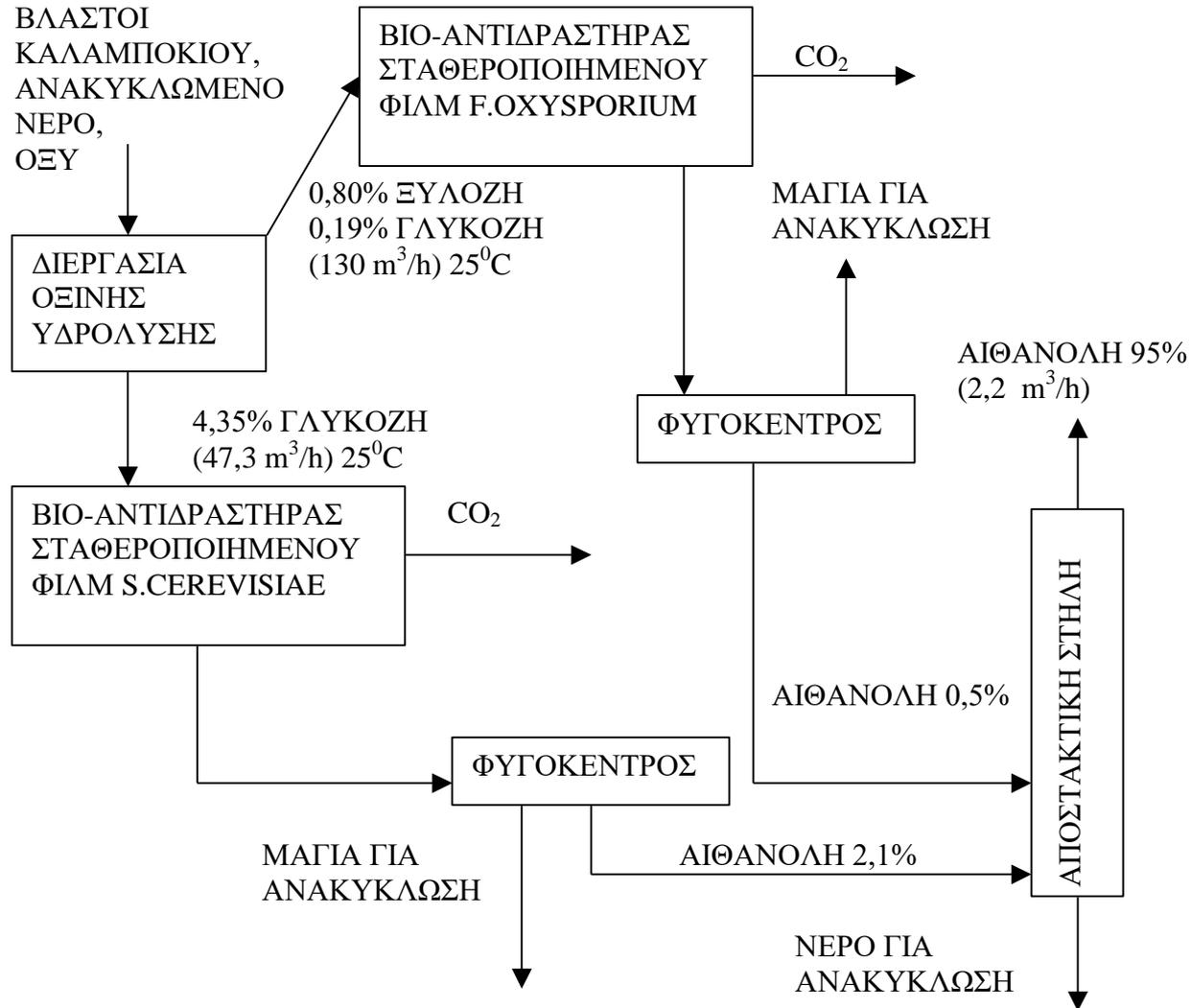
General comparison of the bioethanol production process in pathway 1G and 2G.



Σχήμα 1. Διάγραμμα ροής διεργασιών όξινης υδρόλυσης βλαστών καλαμποκιού.



Σχήμα 2. Διάγραμμα ροής διεργασιών μετατροπής των σακχάρων από όξινη υδρόλυση βλαστών καλαμποκιού σε βιοαιθανόλη.



ΔΙΑΛΕΙΠΟΝΤΟΣ ΕΡΓΟΥ				
ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ gal/ΕΤΟΣ				
ΑΙΘΑΝΟΛΗΣ		20.000.000		
m ³ /ΕΤΟΣ		75.700		
ΤΟΝΝΟΙ/ΕΤΟΣ		60.560		
	ΕΚΑΤΟΜΜΥΡΙ			
ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΓΙΩΝ ΚΕΦΑΛΑΙΩΝ	A \$ US			
ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΠΡΩΤΗΣ ΥΛΗΣ		2,1		
ΥΔΡΟΛΥΣΗ		8,0		
ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΟΞΕΟΣ		12,0		
ΖΥΜΩΣΗ ΚΑΙ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ		8,5		
ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ / ΕΚΤΟΣ ΠΟΛΗΣ		11,6		
ΣΥΝΟΛΟ		42,2		
	ΕΚΑΤΟΜΜΥΡΙ \$			
ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	A \$ US /ΕΤΟΣ	US/gal	\$ US/L	
ΒΛΑΣΤΟΙ ΚΑΛΑΜΠΟΚΙΟΥ (20\$/ΤΟΝΝΟ)		6,7	0,34	0,089
ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ		4,3	0,22	0,057
ΧΗΜΙΚΑ		5,6	0,28	0,074
ΕΡΓΑΤΙΚΑ		3,0	0,15	0,040
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ (5%)		2,1	0,11	0,028
ΑΠΟΣΒΕΣΗ (10%)		4,2	0,21	0,056
ΦΟΡΟΙ, ΑΣΦΑΛΕΙΑ (2%)		0,8	0,04	0,011
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ		26,8	1,34	0,354
ΚΕΡΔΟΣ (28%)		10,4	0,52	0,138
ΣΥΝΟΛΟ		37,2	1,86	0,491
ΒΛΑΣΤΟΙ ΚΑΛΑΜΠΟΚΙΟΥ (ΤΟΝΝΟΙ/ΕΤΟΣ)		335.000		
ΑΠΟΔΟΣΗ %		18%		

ΣΥΝΕΧΗΣ ΖΥΜΩΣΗ

ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΕΝΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ, ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΟΞΕΟΣ

ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ gal/ΕΤΟΣ

ΑΙΘΑΝΟΛΗΣ

20.000.000

m³/ΕΤΟΣ

75.700

ΤΟΝΝΟΙ/ΕΤΟΣ

60.560

ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΓΙΩΝ ΚΕΦΑΛΑΙΩΝ

ΕΚΑΤΟΜΜΥΡΙΑ \$ US

ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΠΡΩΤΗΣ ΥΛΗΣ

2,1

ΥΔΡΟΛΥΣΗ

4,8

ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΟΞΕΟΣ

6,2

ΖΥΜΩΣΗ ΚΑΙ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ

2,0

ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ / ΕΚΤΟΣ ΠΟΛΗΣ

5,0

ΣΥΝΟΛΟ

20,1

ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

**ΕΚΑΤΟΜΜΥΡΙΑ \$
A \$ US /ΕΤΟΣ US/gal \$ US/L**ΒΛΑΣΤΟΙ ΚΑΛΑΜΠΟΚΙΟΥ
(20\$/ΤΟΝΝΟ)

6,7

0,34

0,088507

ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ

4,3

0,22

0,056803

ΧΗΜΙΚΑ

5,6

0,28

0,073976

ΕΡΓΑΤΙΚΑ

3,0

0,15

0,03963

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ (5%)

1,0

0,05

0,013276

ΑΠΟΣΒΕΣΗ (10%)

2,0

0,10

0,026552

ΦΟΡΟΙ, ΑΣΦΑΛΕΙΑ (2%)

0,4

0,02

0,00531

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ

23,0

1,15

0,304055

ΚΕΡΔΟΣ (38%)

14,1

0,71

0,186357

ΣΥΝΟΛΟ

37,1

1,86

0,490412

ΒΛΑΣΤΟΙ ΚΑΛΑΜΠΟΚΙΟΥ
(ΤΟΝΝΟΙ/ΕΤΟΣ)

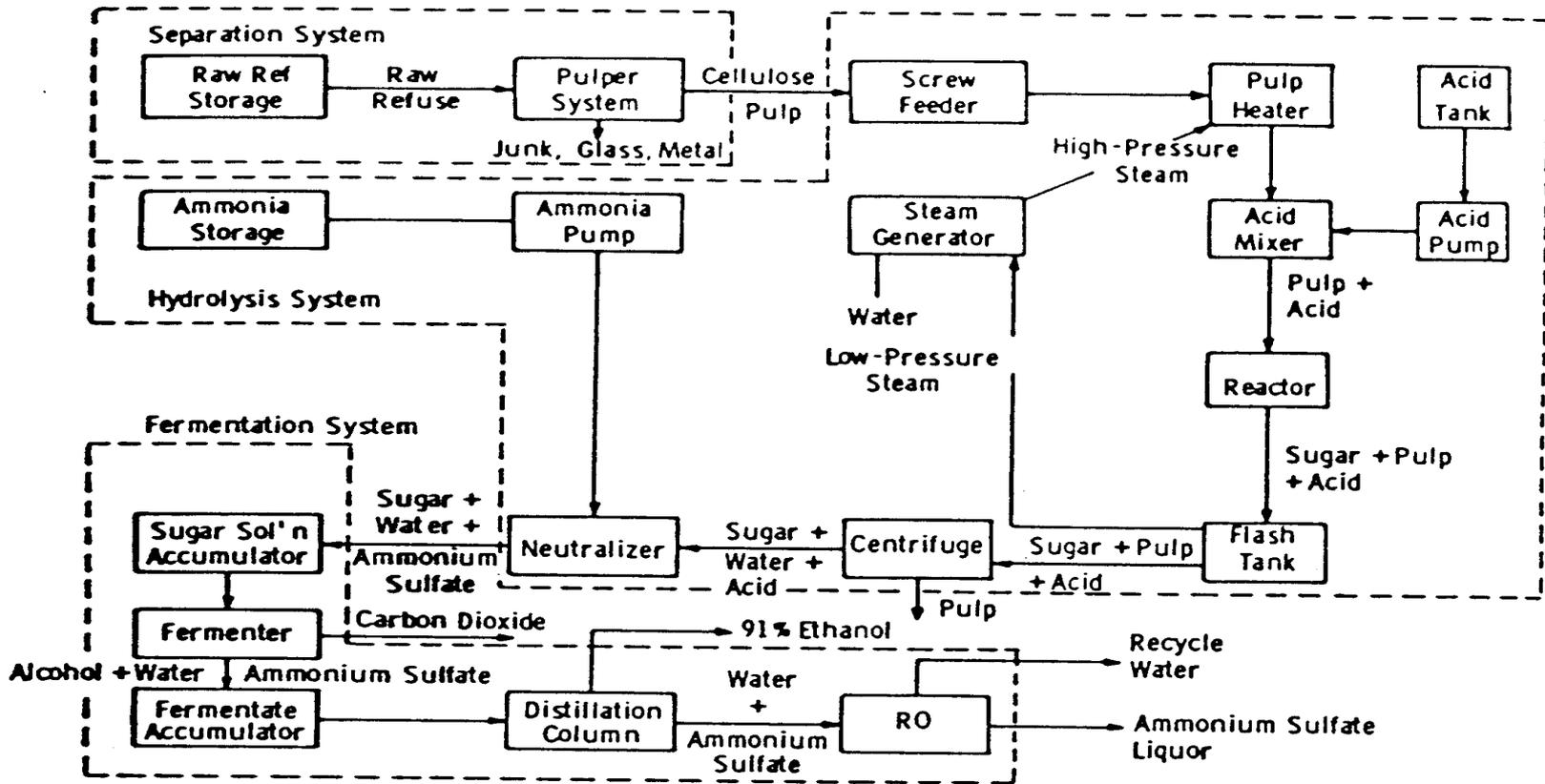
335.000

ΑΠΟΔΟΣΗ %

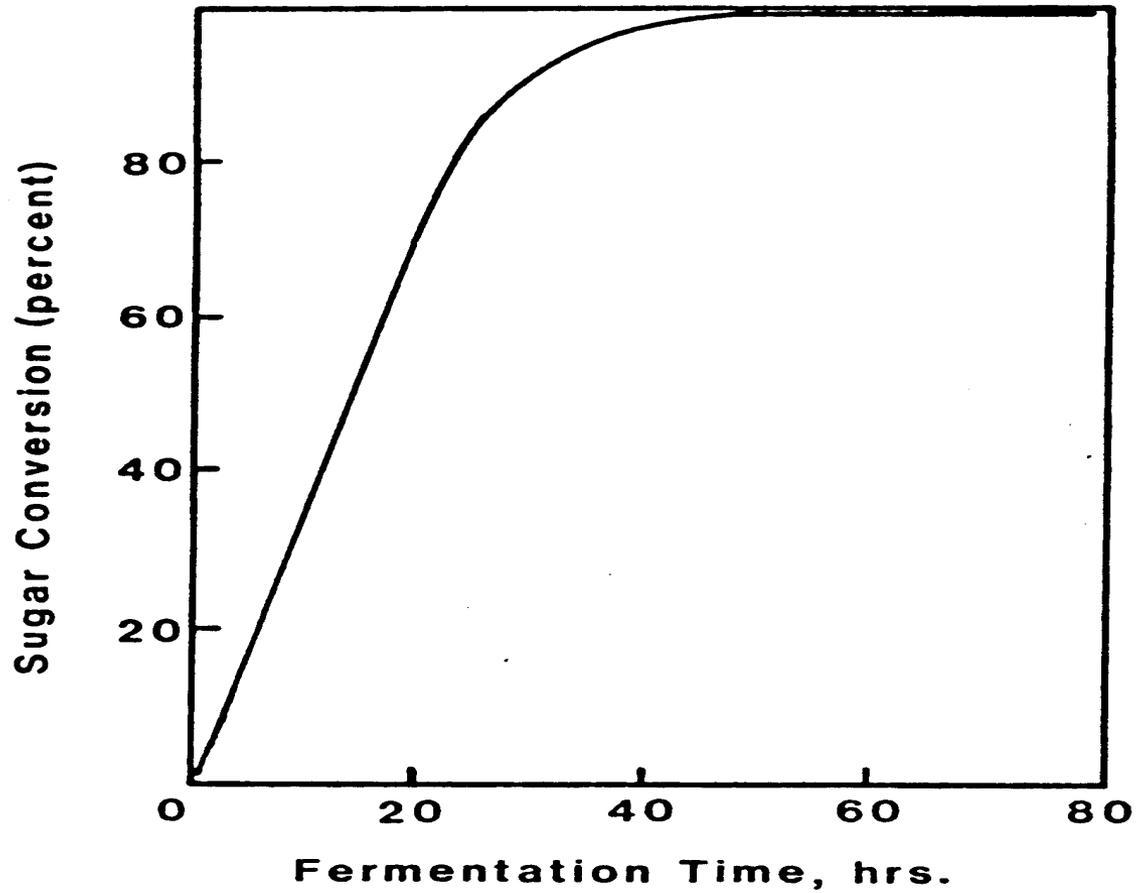
18,1%

ΣΥΝΕΧΗΣ ΖΥΜΩΣΗ		
ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΕΝΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ, ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΟΞΕΟΣ		
ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ gal/ΕΤΟΣ		
ΑΙΘΑΝΟΛΗΣ	4.491.413	
L/ΕΤΟΣ	17.000.000	
kg/ΕΤΟΣ	13.600.000	
L/h	2.200	
24h/y	322	
ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΓΙΩΝ ΚΕΦΑΛΑΙΩΝ	\$ US	
ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΥΔΡΟΛΥΣΗΣ 1-115000 L	89.200	
ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ ΥΔΡΟΛΥΣΗΣ 1-17000 L	55.800	
ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΑ ΦΙΛΤΡΑ ΚΕΝΟΥ 2-1300 m	394.000	
ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟΣ ΞΗΡΑΝΤΗΡΑΣ 8200 kg/h	277.700	
ΔΙΑΒΡΟΧΕΑΣ 309000 kg/d	334.500	
ΒΙΟΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ 2-3,8X15 m	512.100	
ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΟΙ 2-Helical conveyor	389.900	
ΣΤΗΛΗ ΑΠΟΣΤΑΞΗΣ ΑΝΑΒΡΑΣΤΗΡΑΣ & ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΡΑΣ	670.200	
ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΟΞΕΟΣ (ΜΟΝΑΔΑ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑΛΥΣΗΣ)	2.472.000	
ΑΝΑΜΕΙΚΤΗΡΕΣ, ΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	113.200	
ΑΝΤΛΙΕΣ & ΣΩΛΗΝΩΣΕΙΣ	253.300	
ΘΕΡΜΑΝΤΗΡΕΣ	203.500	
ΣΥΜΠΙΕΣΤΗΣ & ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ	27.700	
ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ	5.793.100	
ΕΦΕΔΡΙΚΑ 30%	1.737.930	
ΣΥΝΟΛΟ	7.531.030	

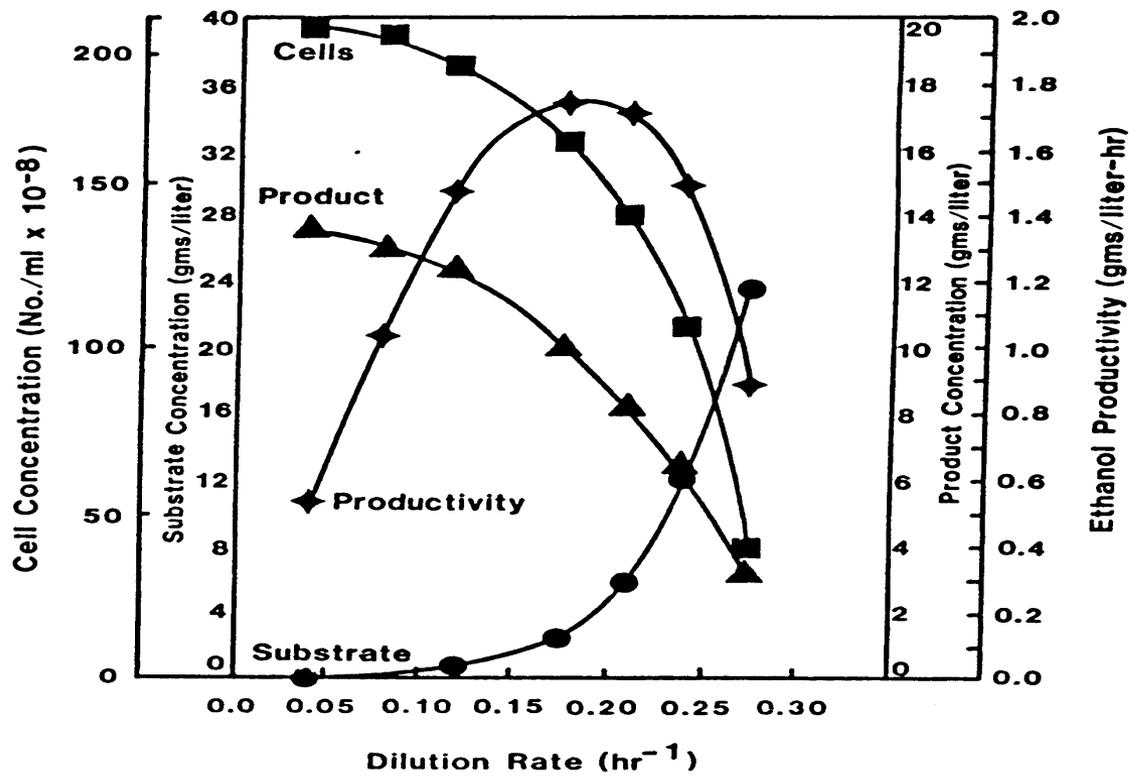
ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	\$ US /ΕΤΟΣ	\$ US/L
ΒΛΑΣΤΟΙ ΚΑΛΑΜΠΟΚΙΟΥ	1.825.000	0,107
ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΟΞΕΟΣ	300.700	0,018
ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗ ΟΞΕΟΣ	421.700	0,025
ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ	381.200	0,022
ΕΞΟΥΔΕΤΕΡΩΣΗ	265.000	0,016
ΕΚΧΥΛΙΣΗ ΜΑΓΙΑΣ	256.000	0,015
ΕΡΓΑΤΙΚΑ 5%	376.552	0,022
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ 5%	376.552	0,022
ΑΠΟΣΒΕΣΗ, ΦΟΡΟΙ, ΑΣΦΑΛΕΙΑ 12%	903.724	0,053
ΣΥΝΟΛΟ	5.106.427	0,300
ΒΛΑΣΤΟΙ ΚΑΛΑΜΠΟΚΙΟΥ (ΤΟΝΝΟΙ/ΕΤΟΣ)	70.840	
ΑΠΟΔΟΣΗ %	19%	
1 gal = 3,785.1e-3 m ²		
2 gal = 3,785 L		



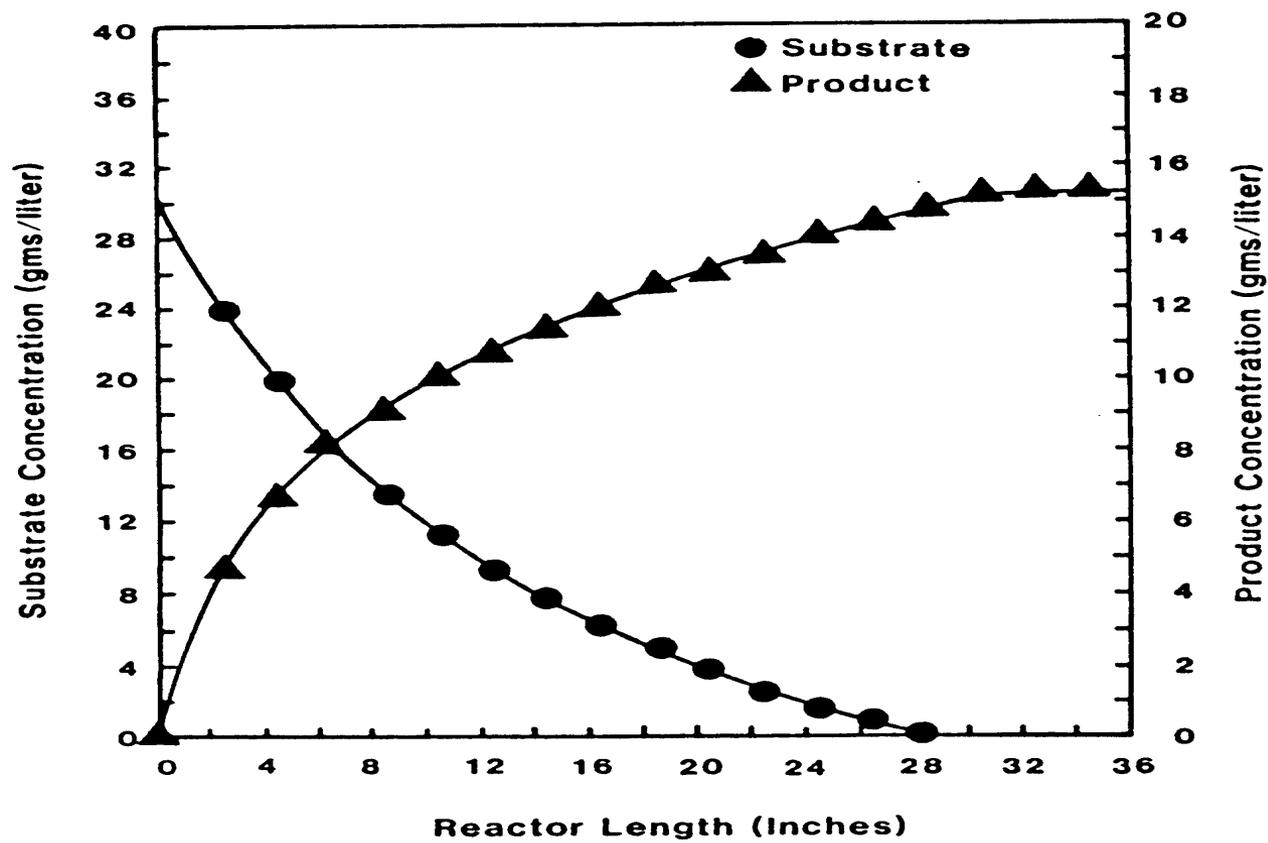
Σχήμα 3-1: Σχηματικό διάγραμμα της μεθόδου μετατροπής σε αιθανόλη [75].



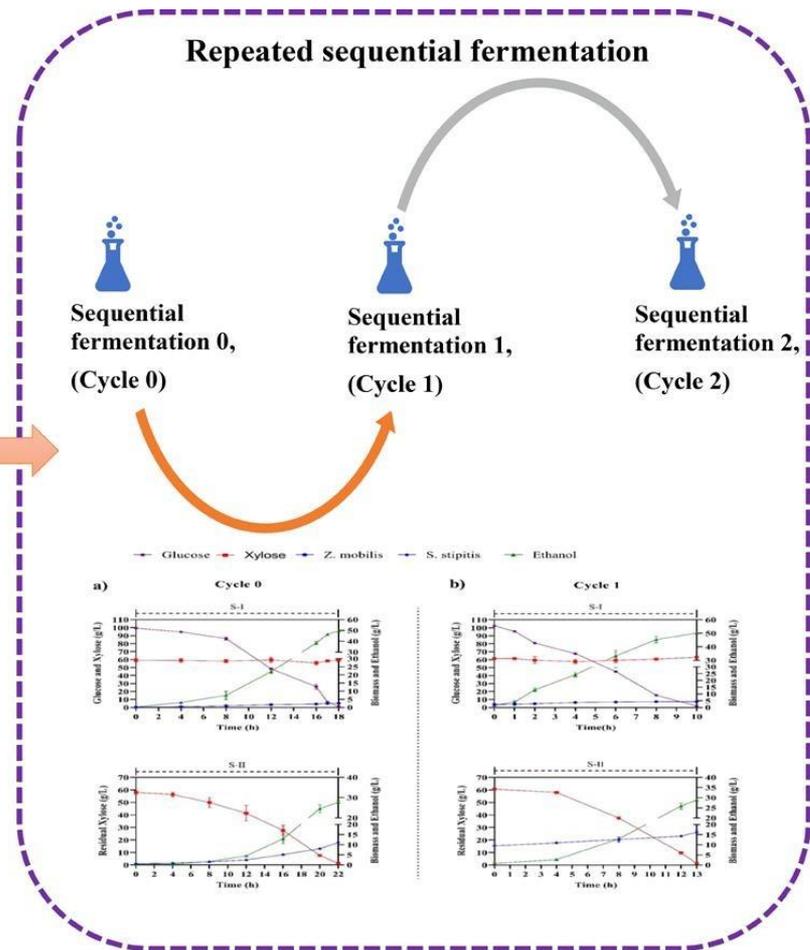
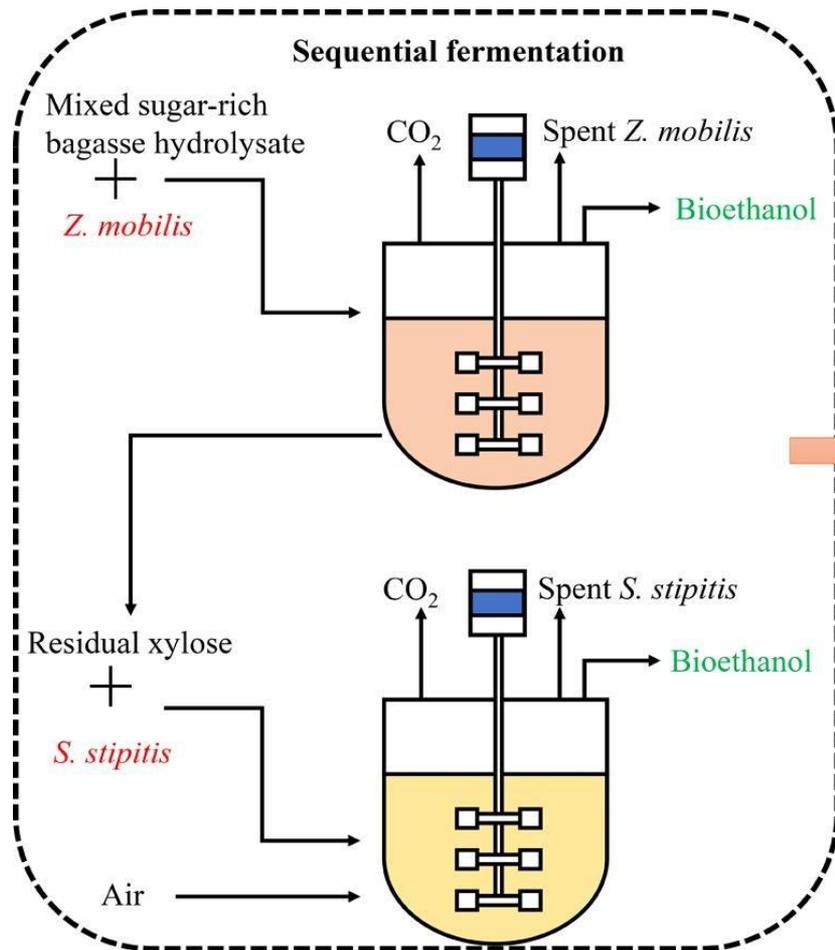
Σχήμα 3-3: ζύμωση υδρολυμάτων και συνθετικής γλυκόζης [15].



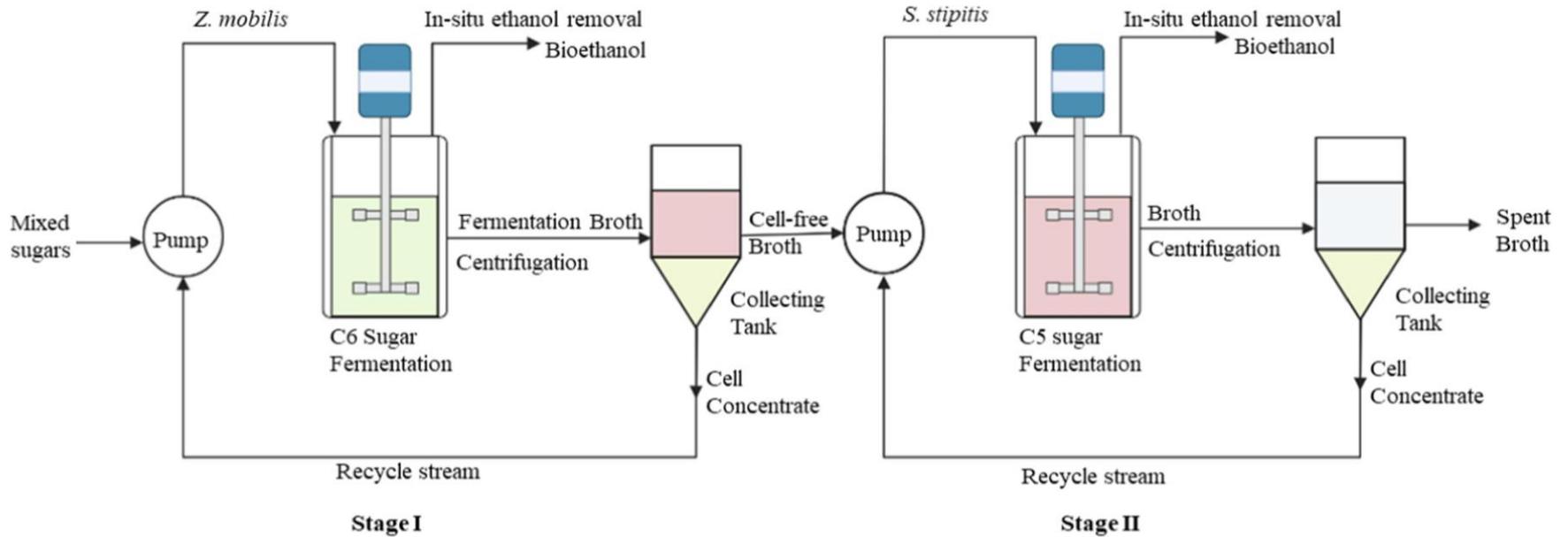
Σχήμα 3-4: Ζύμωση υδρολυμάτων σε CSTR [15].



Σχήμα 3-5: Ζύμωση υδρολυμάτων σε ICR [15].



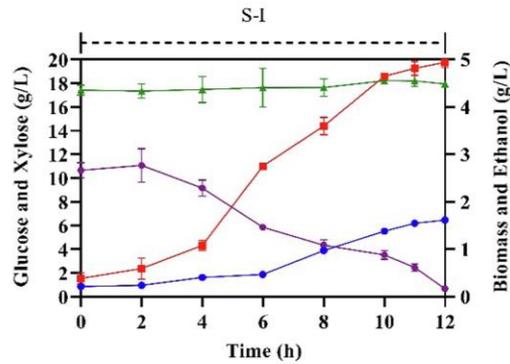
Ruplappara Sharath Kumar, Abhinav Jain, Neeraj Kumar Singh, Sanjoy Ghosh, Bioethanol production from mixed sugars at a semi-pilot scale through two-step repeated sequential fermentation, *Fuel*, 357, Part C, 2024, 130042, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.130042>



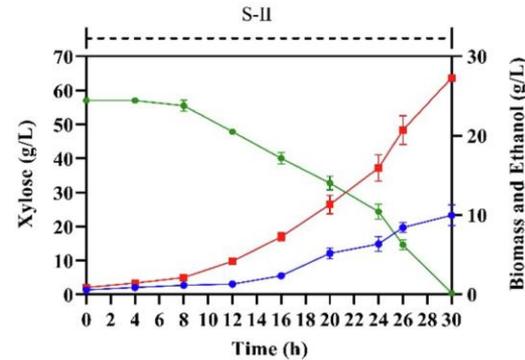
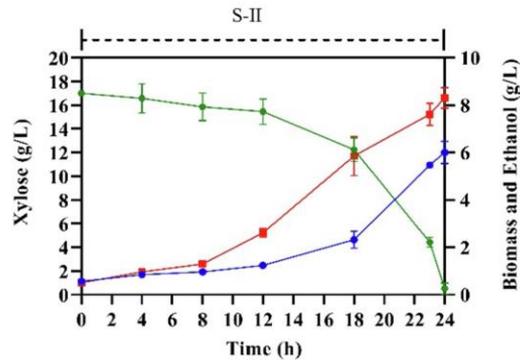
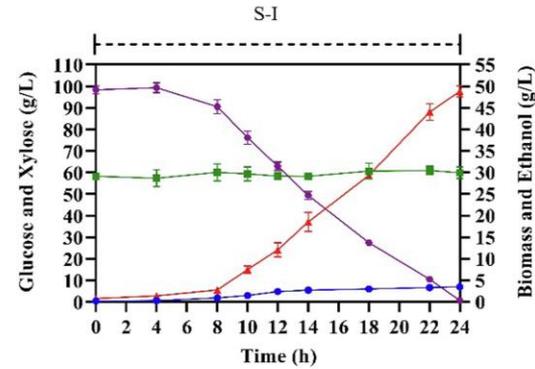
Repeated sequential fermentation of mixed sugars. Stage I: Glucose fermentation using *Z. mobilis*; Stage II: [Xylose](#) fermentation using *S. stipitis*.

● Glucose
 ■ Xylose
 ● *Z. mobilis*
● *S. stipitis*
▲ Ethanol

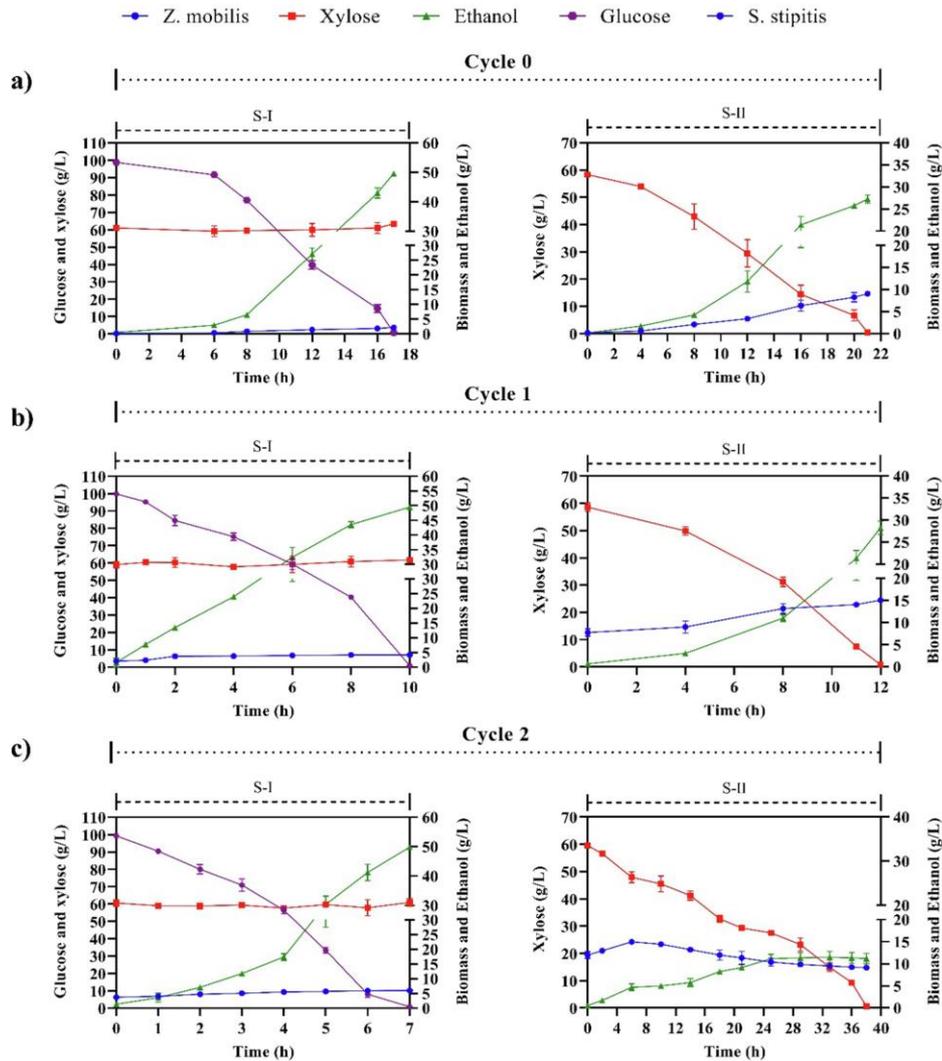
a)



b)



(a). Config. 1: Sequential fermentation of mixed sugars from acid-treated [bagasse hydrolysate](#) in a bench-top [bioreactor](#). (b). Config. 2: Sequential fermentation of mixed sugar-rich acid-treated bagasse hydrolysate in a bench-top bioreactor. S - I: Glucose fermentation profile of *Z. mobilis*; S-II: [Xylose](#) fermentation profile of *S. stipitis*. S - I: First stage. S - II: Second stage.



Repeated sequential fermentation of mixed sugars in a bench-top [bioreactor](#). (a). Cycle 0 (b). Cycle 2 (c). Cycle 3. S - I: Glucose fermentation profile of *Z. mobilis*; S-II: Xylose fermentation profile of *S. stipitis*. S - I: First stage. S - II: Second stage.

Βιβλιογραφία

- ❑ Ruplappara Sharath Kumar, Abhinav Jain, Neeraj Kumar Singh, Sanjoy Ghosh, Bioethanol production from mixed sugars at a semi-pilot scale through two-step repeated sequential fermentation, *Fuel*, 357, Part C, **2024**, 130042, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.130042>
- ❑ Jesus R. Melendez, Bence Mátyás, Sufia Hena, Daniel A. Lowy, Ahmed El Salous, Perspectives in the production of bioethanol: A review of sustainable methods, technologies, and bioprocesses, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 160, **2022**, 112260, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112260>
- ❑ Biomass and Alternate Fuel Systems: An Engineering and Economic Guide, Edited by Thomas F. McGowan, Michael L. Brown, William S. Bulpitt & James L. Walsh Jr, Wiley-AIChE, 2011.
- ❑ Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals, by Donald L. Klass. Academic Press, 1998.
- ❑ Energy: Ethanol: The Production and Use of Biofuels, Biodiesel, and Ethanol, Agriculture-Based Renewable Energy Production Inc, by Brent Yacobucci & Randy Schnepf, TheCapitol.Net, Inc. 2010.
- ❑ Ethanol and Biodiesel: What You Need To Know, by Terry Boudreaux. Hart Energy Publishing, 2007.
- ❑ Handbook of Cellulosic Ethanol, by Ananda S. Amarasekara. Wiley-Scrivener, 2013.
- ❑ Production of Ethanol from Sugarcane in Brazil (Natural Resource Management and Policy, vol. 43) by Márcia Azanha Ferraz & David Zilberman. Springer, 2014.

- ❑ A. Demirbas (2008). *The Importance of Bioethanol and Biodiesel from Biomass, Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, **3**, 177-185.
- ❑ Ye Sun, Jiayang Cheng (2002). *Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. Bioresource Technology*, **83**, 1-11.
- ❑ M. Galbe, G. Zacchi (2002). *A review of the production of ethanol from softwood. Appl Microbiol Biotechnol*, **59**, 618–628
- ❑ <http://www.biomassenergy.gr/articles/technology/bioethanol/477-paragwgh-bioaithanolhs-biomaza-m1-ethanol-production-biomass-p1>
- ❑ <http://www.biofuels.gr/bioethanol/bioethanol-production-in-europe/>
- ❑ <http://www.agroenergy.gr/en/categories/%ce%b2%ce%b9%ce%bf%ce%b1%ce%b9%ce%b8%ce%b1%ce%bd%cf%8c%ce%bb%ce%b7>
- ❑ <https://www.worldenergynews.gr/diaxirisi-apovliton-kiklikioikonomia/articles/523467/vioaithanoli-sta-ergostasia-zaxaristis-thrakis>
- ❑ <https://www.energia.gr/article/190949/o-klados-bioaithanolhs-ths-ee-parhgage-to-2021-perissoteres-zootrofes-apo-kaysima>