ΟΛΙΣΤΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΤΟΥ ΦΥΤΟΥ *TYPHA DOMINGENSIS* ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΖΥΜΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΓΛΥΚΟΖΗΣ: ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΛΥΣΗ ΤΟΥ ΑΜΥΛΟΥΧΟΥ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΦΥΤΟΥ

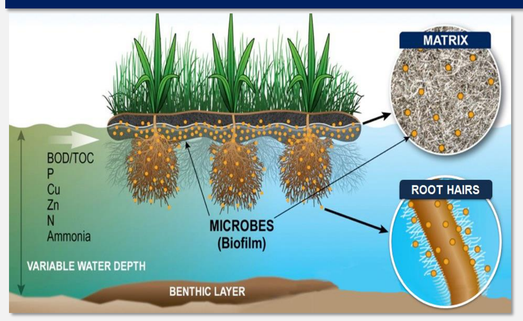
Γ. Ιωαννίδου[1], Α. Καραπατσιά[1,2], Χ. Χατζηδούκας[1,2]*

[1]Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα;

[2]Ινστιτούτο Χημικών Διεργασιών και Ενεργειακών Πόρων, ΙΔΕΠ/ΕΚΕΤΑ

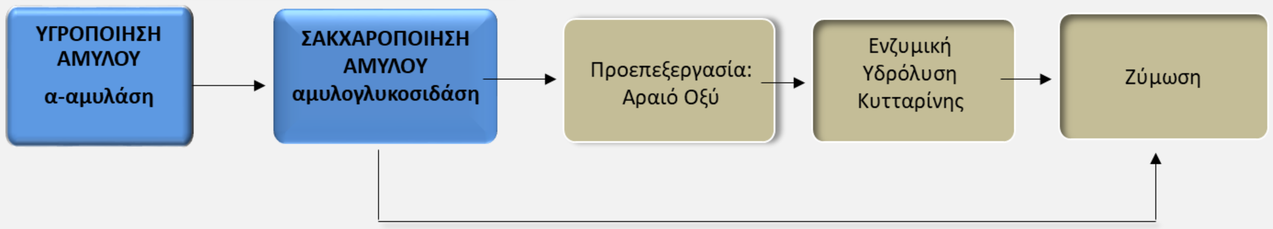
(*chatzido@auth.gr)

ΕΙΣΑΓΩΓΗ



Μελετάται το μακρόφυτο ***Typha* domingensis**, το οποίο:

- Αποτελεί αντιπροσωπευτικό ενεργειακό φυτό.
- Χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση ρύπων από υδάτινα απόβλητα.
- Αποτελεί διπλή πηγή πολυσακχαριτών (άμυλο – κυτταρίνη).



ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Η χημική σύσταση της βιομάζας πραγματοποιείται με τη βοήθεια υγρού χρωματογράφου υψηλής απόδοσης (HPLC), ύστερα από:

- Εκχύλιση: Σε δύο στάδια με διαλύτες νερό και αιθανόλη.
- Όξινη υδρόλυση με 72% w/w H_2SO_4: Η βιομάζα υδρολύεται στα μονομερή συστατικά των πολυσακχαριτών.

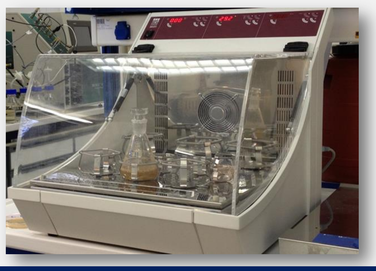
Συστατικό	Ξηρή Βάση (%)
Άμυλο	21.59
Κυτταρίνη	36.01
Ημικυτταρίνες	14.00
Λιγνίνη	20.59
Εκχυλίσιμα συστατικά	5.21
Τέφρα	2.6

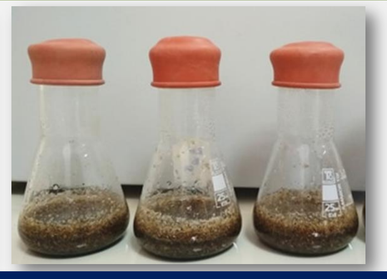
ΥΔΡΟΛΥΣΗ ΑΜΥΛΟΥ

Το άμυλο είναι ένας μη δομικός πολυσακχαρίτης. Για τη μετατροπή του στο μονομερές της γλυκόζης απαιτούνται δύο υδρολυτικά ένζυμα, η **α – αμυλάση** που σπάει τα γραμμικά τμήματα του αμύλου και **η αμυλογλυκοσιδάση** που σπάει τα διακλαδωμένα τμήματα του αμύλου.

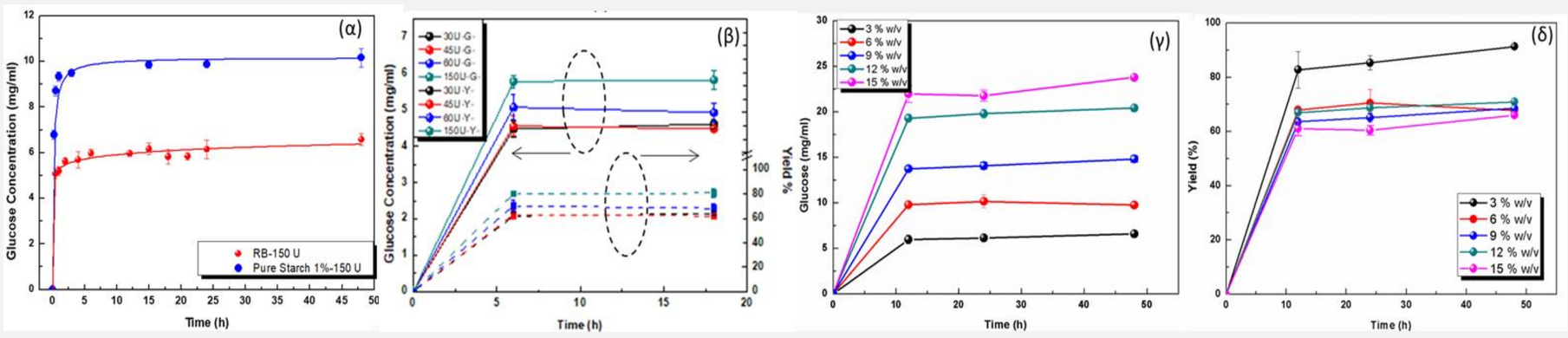
- **Ομογενοποίηση:** Η ομογενοποίηση της βιομάζας πραγματοποιείται με τη βοήθεια ρυθμιστικού διαλύματος οξικού οξέος 0.1M (pH=5) σε υδατικό λουτρό στους 80 ^oC για 0.5 h.
- **Υγροποίηση:** Η αντίδραση πραγματοποιείται σε υδατικό λουτρό στους 80 ^oC για 2 h με την προσθήκη του ενζύμου α-αμυλάση ($U/g_{υποστρ}$).
- **Σακχαροποίηση:** Ρύθμιση του pH στο 4.8 με τη χρήση διαλύματος HCl 0.1M. Με την προσθήκη της αμυλογλυκοσιδάσης (αναλογία ενζύμων 1:2) η αντίδραση λαμβάνει χώρα σε επωαστήρα κυκλικής ανάδευσης.
- **Υγρός χρωματογράφος υψηλής απόδοσης (HPLC):** Η συγκέντρωση της γλυκόζης αναλύεται με τη μέθοδο HPLC, με ροή 1.4 ml/min και κινητή φάση 70% ακετονιτρίλιο – 30% νερό.

$$\text{Άμυλο} \xrightarrow{\text{α-αμυλάση}} \text{Αμυλόζη + Αμυλοπηκτίνη} \xrightarrow{\text{αμυλογλυκοσιδάση}} \text{Γλυκόζη}$$





ΔΙΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ



- Η αύξηση της συγκέντρωσης του υποστρώματος προκαλεί αύξηση της συγκέντρωσης της γλυκόζης, επειδή υπαρχούν περισσότερες ενεργές θέσεις, στις οποίες μπορούν να προσδεθούν τα ένζυμα (γ).
- Απουσιάζουν φαινόμενα μεταφοράς μάζας σε συγκεντρώσεις βιομάζας ≤ 15% w/v.

- Σύγκριση υδρόλυσης καθαρού αμύλου με φυτική βιομάζα υπέδειξε ίδιο ποσοστό απόδοσης γλυκόζης (91.4%).
- Ο προτεινόμενος χρόνος αντίδρασης για τη συγκεκριμένη υδρόλυση είναι 6 h, καθώς η απόδοση της αντίδρασης ανέρχεται στο 82.83%, που αντιστοιχεί στο 91.13% της μέγιστης απόδοσης (α).
- Ικανοποιητικές αποδόσεις επιτυγχάνονται με χαμηλές ποσότητες ενζύμων (45 U/g: 62.26%, 60 U/g: 68.4%) (β).
- Μικρές αλλαγές στην ποσότητα του ενζύμου δεν επιφέρουν σημαντική αύξηση στη συγκέντρωση της γλυκόζης (β).

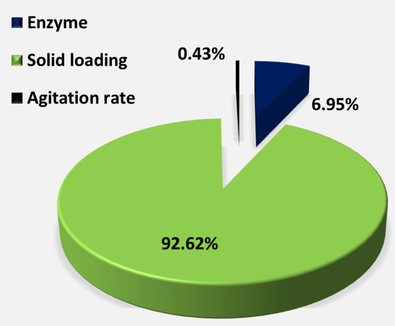
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ BOX BEHNKEN

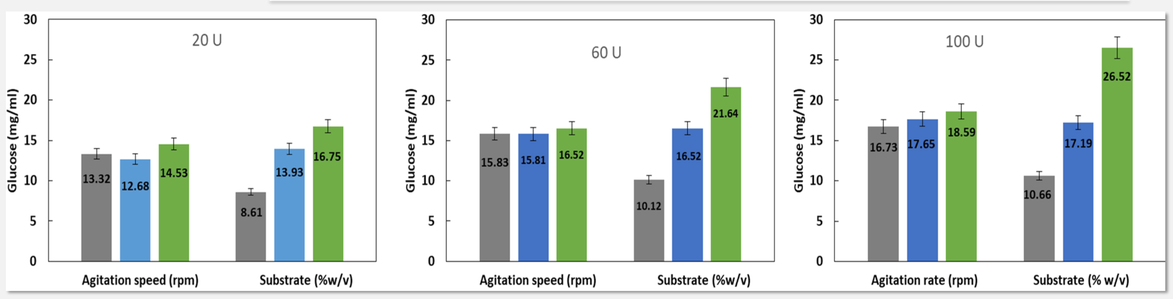
Δύο στατιστικά μοντέλα περιγράφουν την επίδραση τριών παραμέτρων στις μεταβλητές απόκρισης της διεργασίας.

- Η αλληλεπίδραση της συγκέντρωσης του υποστρώματος με τη δραστικότητα του ενζύμου επιδρούν σημαντικά στην παραγόμενη γλυκόζη, ενώ η αλληλεπίδραση της ανάδευσης με τη δραστικότητα του ενζύμου δεν επιδρούν σημαντικά.
- Η συνεισφορά της συγκέντρωσης του υποστρώματος και της δραστικότητας του ενζύμου αποτελούν τους πιο καθοριστικούς παράγοντες στις μεταβλητές απόκρισης.

Πειράματα	Συγκέντρωση Υποστρώματος (%w/v)	Λόγος Δραστικότητας Ενζύμου-Υποστρώματος (U/g υποστρ.)	Ανάδευση (rpm)	Γλυκόζη (mg/ml)	Απόδοση (%)
1	6	100	150	10.655	74.027
2	12	60	150	16.517	57.376
3	18	60	200	22.180	51.367
4	6	20	150	8.608	59.809
5	18	100	150	26.516	61.409
6	12	60	150	16.517	57.376
7	6	60	200	9.484	65.891
8	12	20	200	14.527	50.465
9	12	60	150	15.619	57.376
10	18	60	100	21.089	48.841
11	18	20	150	16.752	38.796
12	12	100	200	17.652	61.320
13	12	100	100	18.401	63.920
14	6	60	100	10.760	74.759
15	12	20	100	13.323	46.283

Contribution to Final Glucose Concentration





ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ

Για την προετοιμάσια του ρεύματος τροφοδοσίας στο στάδιο της ζύμωσης, επιλέγεται το τελευταίο κριτήριο που δεν προϋποθέτει συμπύκνωση σε μεγάλο βαθμό.

Παράμετροι	Τιμές	Τιμή Πρόβλεψης Κριτηρίου	Κριτήριο
Συγκέντρωση Υποστρώματος Λόγος Δραστικότητας Ενζύμου-Υποστρώματος Ανάδευση	18% w/v 100 U/ g υποστρώματος 200 rpm	**26.72 g/l** (Απόδοση: 62.38%)	Μέγιστη Συγκέντρωση Γλυκόζης
Συγκέντρωση Υποστρώματος Λόγος Δραστικότητας Ενζύμου-Υποστρώματος Ανάδευση	6% w/v 100 U/ g υποστρώματος 100 rpm	**76.92 %** (Συγκέντρωση γλυκόζης: 10.75 g/l)	Μέγιστη Απόδοση
Συγκέντρωση Υποστρώματος Λόγος Δραστικότητας Ενζύμου-Υποστρώματος Ανάδευση	9.6% w/v 100 U/ g υποστρώματος 200 rpm	• **65.09%** • **15.02 g/l**	• Μέγιστη Απόδοση • Συγκέντρωση γλυκόζης ≥ 15 g/l

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η τεχνολογία διαχείρισης του συγκεκριμένου ενεργειακού φυτού συνεισφέρει στην απομείωση του περιβαλλοντικού φορτίου.
- Λόγω της διπλής πηγής πολυσακχαριτών, η συγκεκριμένη βιομάζα κρίνεται κατάλληλη για τη βελτίωση της βιωσιμότητας μιας ολοκληρωμένης βιοχημικής επεξεργασίας, με την προοπτική της ανάπτυξης μιας εμπορικά αξιοποιήσιμης τεχνολογίας.