



2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Εναλλακτικών
Καυσίμων και Βιοκαυσίμων

bm2bh:
**SELECTING BIOMASS FEEDSTOCKS FOR
BIOHYDROGEN PRODUCTION
A NEW APPROACH**

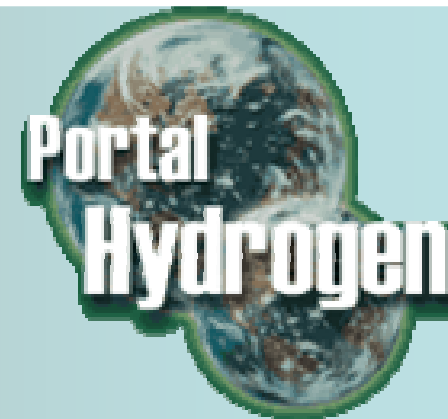
**Λ.Κ.ΔΙΑΜΑΝΤΟΠΟΥΛΟΥ*, Λ.Σ.ΚΑΡΑΟΓΛΑΝΟΓΛΟΥ, Ι. Α.
ΠΑΝΑΓΙΩΤΟΠΟΥΛΟΣ, Δ.Π.ΚΟΥΛΛΑΣ, R. BAKKER και Ε.Γ.ΚΟΥΚΙΟΣ**

© ΟΜΑΔΑ ΒΙΟΤΟΠΟΣ, ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΜΠ, ΕΛΛΑΔΑ
© AFSG WUR, Wageningen, The Netherlands





2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Εναλλακτικών
Καυσίμων και Βιοκαυσίμων



HYVOLUTION

Η μεθοδολογική αυτή προσέγγιση πρόκειται να ακολουθηθεί
μέσα από το πρόσφατα επιλεγμένο από την Ευρωπαϊκή
Επιτροπή πρόγραμμα

Integrated Project (IP) “HYVOLUTION”

(“Non-thermal production of pure hydrogen from biomass”)





2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Εναλλακτικών
Καυσίμων και Βιοκαυσίμων

Integrated Project (IP) “HYVOLUTION”

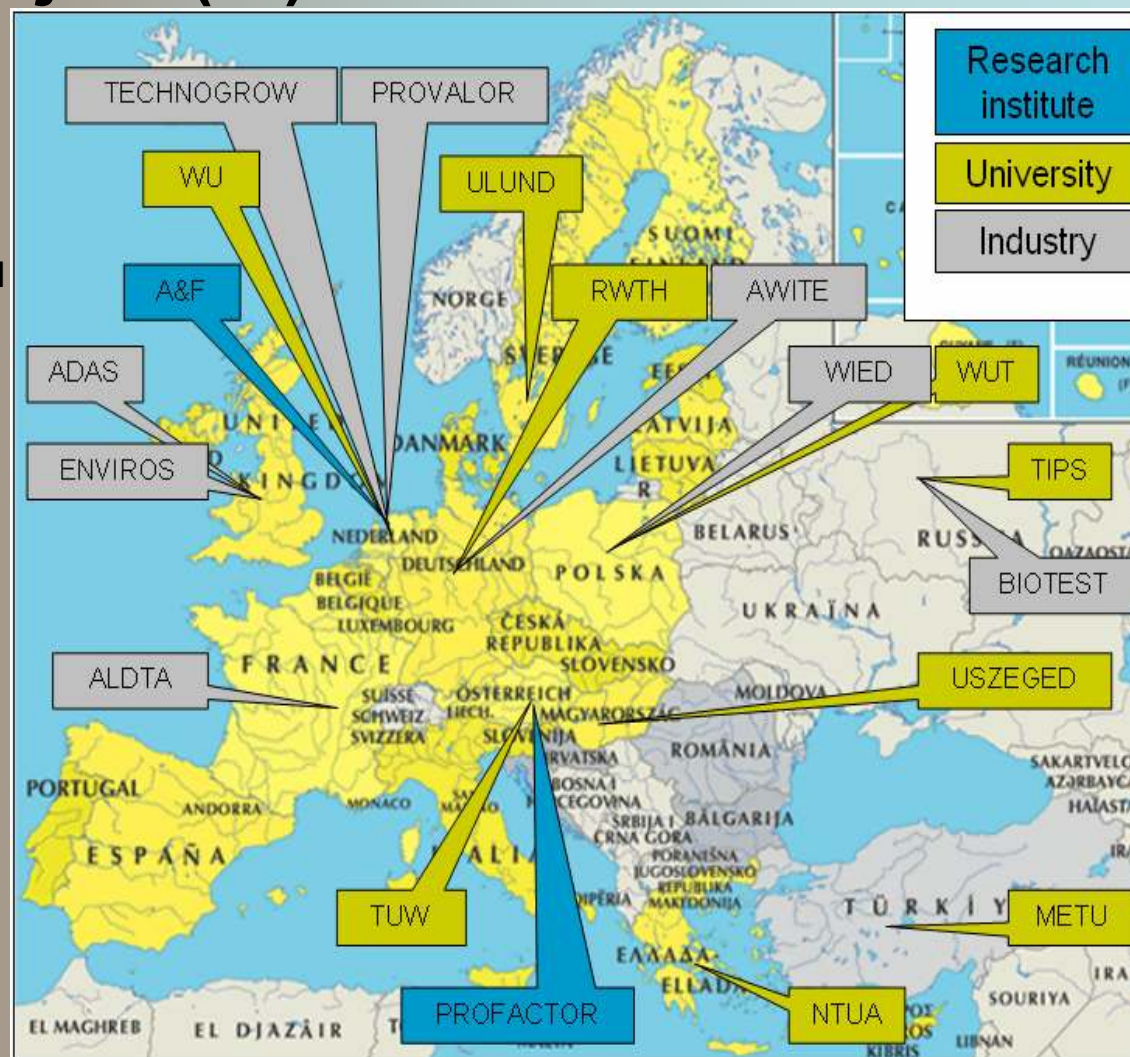
Το πρόγραμμα χρηματοδοτείται
από την Ε.Ε, από το 6^ο
πρόγραμμα πλαίσιο, με
προτεραιότητα “Τα βιώσιμα
Ενεργειακά Συστήματα”.

Έναρξη : 01/01/2006

Λήξη : 31/12/ 2010

19 Συμμετέχουσες Ερευνητικές
Ομάδες από Πανεπιστήμια και
Ινστιτούτα

12 χώρες





HYVOLUTION

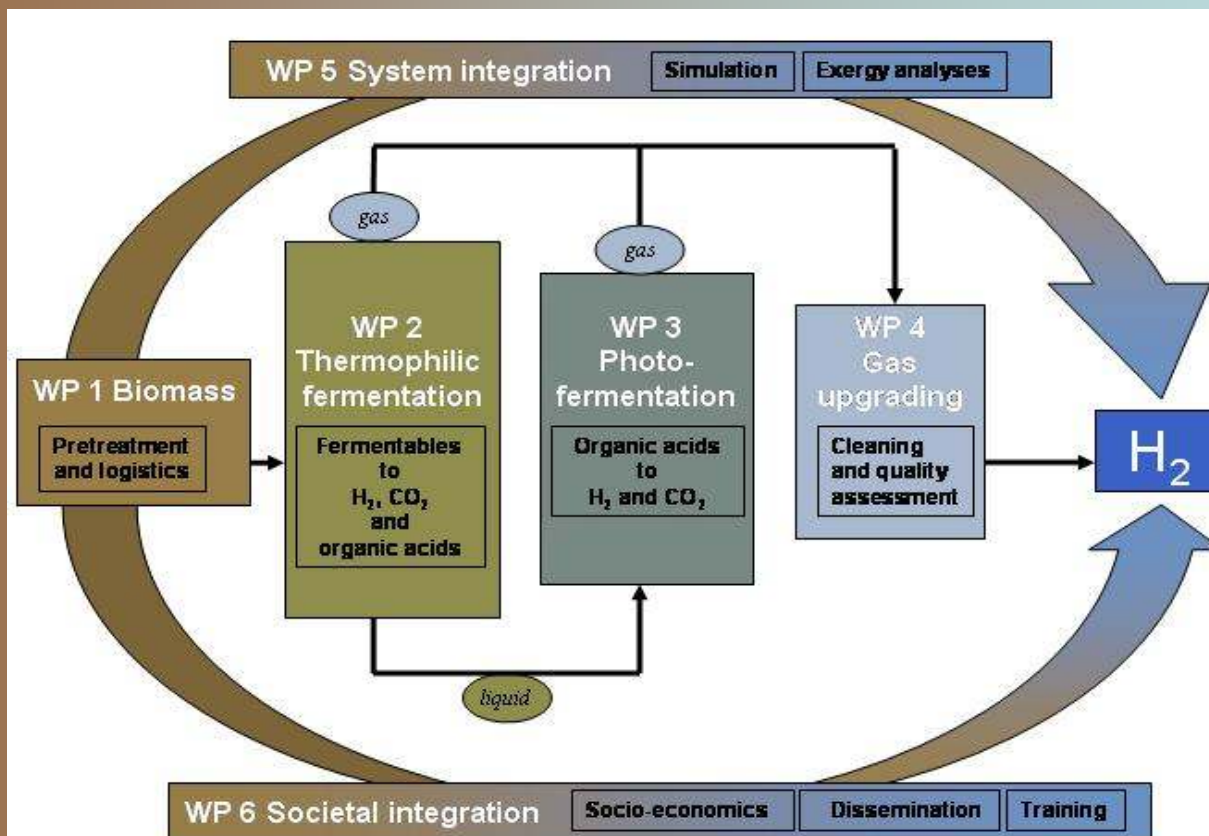
Βασικό Αντικείμενο Έρευνας

Η ανάπτυξη μιας βιοδιεργασίας 2 σταδίων με στόχο την οικονομικά βιώσιμη παραγωγή βιο-υδρογόνου από πολλαπλά είδη βιόμαζας

Κοινωνικο-οικονομικές Δραστηριότητες

- Ανάπτυξη της κοινωνικής επιμόρφωσης και αποδοχής,
- Ορισμός των μελλοντικών στόχων και ευκαιριών,
- Ρόλος των “stakeholders” για την ανάπτυξη βιώσιμων, αποκεντρωμένων αλυσίδων παραγωγής βιο-υδρογόνου

Ολοκληρωμένη προσέγγιση συνεργαζόμενων ομάδων εργασίας, πολλαπλών επιστημονικών πεδίων





Ομάδα Εργασίας 1: **ΒΙΟΜΑΖΑ**

Σκοπό των εργασιών αυτής αποτελεί η αποδοτική μετατροπή επιλεγμένων ομάδων αγροτικών προϊόντων και βιο-αποβλήτων προς ειδικά επιλεγμένες πρώτες ύλες για την παραγωγή βιο-υδρογόνου. Ο στόχος αυτός είναι δυνατό να εκφραστεί με δύο βασικά και έντονα συναρτώμενα αντικείμενα:

- **Βελτιστοποίηση επιλογής** των πιο υποσχόμενων αγροτικών προϊόντων και βιο-αποβλήτων
- **Μεγιστοποίηση της απόδοσης** μετατροπής της βιόμαζας προς βιο-υδρογόνο

Το ΕΜΠ συντονίζει τις παρακάτω εργασίες:

- Εργασία 1:** Ελαχιστοποίηση Κόστους ά
υλών
- Εργασία 2:** Μεγιστοποίηση καταλληλότητας
α' υλών
- Εργασία 3:** Διασφάλιση συνεχούς
τροφοδοσίας της βιόμαζας
- Εργασία 4:** Δημιουργία αιεφόρων/βιώσιμων
αλυσίδων τροφοδοσίας βιόμαζας

ΕΡΓΑΣΙΑ 1 (ΕΜΠ): ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

1. Γενική εικόνα ερευνητικής εργασίας
2. Διαγράμματα ροής A,B,C για τα τρία είδη βιόμαζας
3. Διαγράμματα πρώτων αποτελεσμάτων για σακχαρούχα φυτά κι άχυρο
4. Συμπερασματικά σχόλια

Προτεινόμενη Προσέγγιση Μοντελοποίησης “bm2bh”

Βασίζεται σε πρόσφατα αποτελέσματα του **Viewls Network** (DG TREN)

- Είναι αναγνωρισμένο από την ΕΕ και άλλους μεγάλους παράγοντες & stakeholders
- Ενδιαφέρον και αναβαθμισμένο εργαλείο προς χρήση
- Καλή μεθοδολογική Βάση
- Ιδιαίτερα ανεπτυγμένη βάση δεδομένων
- Διαθέσιμη στο διαδίκτυο
- ΔΕΝ ΚΑΛΥΠΤΕΙ ΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΗΣ ΒΙΟΧΗΜΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Ωστόσο, η προσαρμογή του εργαλείου στις ανάγκες του έργου είναι απαραίτητη:

- ✓ Χρήση Ανάλυσης Κύκλου Ζωής
- ✓ 3 βήματα A, B and C: Παραγωγή, Logistics και Αποθήκευση, Μετατροπή
- ✓ Δομημένη έτσι ώστε να ολοκληρώνεται αργότερα και σε μοντέλα διεργασιών της πλήρους αλυσίδας
- ✓ Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συλλογή αλλά και εκτίμηση δεδομένων
- ✓ Χαρτογράφηση των πηγών βιομάζας με χρήση ειδικών εργαλείων
- ✓ Προσθήκη Αλγορίθμων Logistics & Βιοδιύλισης

ΕΦΑΡΜΟΓΗ: Biohydrogen

- * Μεθοδολογία
- * Διαθέσιμα δεδομένα
- * Εναλλακτικές τεχνολογίες έχουν ήδη καλυφθεί
- * Αποτελέσματα
 - Κόστος-Στόχος για το Βιο-υδρογόνο
 - Επίδραση της βιόμαζας
 - Επίδραση των τεχνολογικών βελτιώσεων
 - Σύγκριση: Βιοαιθανόλη
- Πρόσθετα εργαλεία και Αλγόριθμοι:
 - Χρήση της μεθόδου (A,B,C), π.χ.,
 - A=0 για απόβλητα
 - B=0 για τοπική χρήση
 - C=0 για άμεσα μετατρέψιμη ά ύλη
 - (A) Εργαλεία Χαρτογράφησης Πηγών Βιόμαζας, π.χ., GIS
 - (B) Μοντέλα Logistics
 - (C) Μοντέλα Βιοδιυλιστιρίου, σύμφωνα με το είδος της βιόμαζας



Κρίσιμες Παράμετροι

- (A) Περιγραφή Αγροτικής Παραγωγής
- (B) Δυναμικότητα συστήματος- Απόσταση Μεταφοράς α' υλών
- (C) Δομή του Βιοδιυλιστηρίου

Βήματα στο Σύνολό τους

- Απόδοση α' ύλης
- Ποιότητα α' ύλης
- Βασικά Στοιχεία Κόστους
 - ✓ Κόστος γης
 - ✓ Πάγιο Κόστος
 - ✓ Μεταβλητό Κόστος
- Βασικά Εισαγόμενα Δεδομένα Μεταβλητού Κόστους:
 - ✓ Εργασία
 - ✓ Ενέργεια
 - ✓ Νερό
- Βασικά Εξαγόμενα Δεδομένα:
 - ✓ Παραπροϊόντα (Ποιότητα και Ποσότητα)
 - ✓ CO₂ και άλλα GHG
 - ✓ Externalities



Σενάρια για παραγωγούς *bm2bh*

I. BIOMASS FARMERS

Producers provide with suitable biomass forms local and regional biorefineries; e.g., for lignocellulosics (LC)

2006: 4 Euro/GJ – 2010: 3 Euro/GJ

II. BIORAF FARMERS

Producers provide with appropriate biomass fractions or substrates local/regional biohydrogen plants; e.g., for LC

2006: 8 Euro/GJ – 2010: 6 Euro/GJ

III. BIOGEN FARMERS

Producers provide with biohydrogen local and regional hydrogen uses, networks and markets; e.g., for LC

2006: 12 Euro/GJ – 2010: 9 Euro/GJ

FOSSIL FUELS REFERENCE COSTS

2002: 8 Euro/GJ - 2006: 10 Euro/GJ – 2010: 12 Euro/GJ

Είδη Βιόμαζας

- **Σακχαρούχες ά ύλες και υπολείμματα**, π.χ.,
ΣΤΕΛΕΧΗ σακχαρούχου σόργου,
ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΟ, Jerusalem artichoke
(ΑΛΛΗ: ΛΟΒΟΙ, π.χ., χαρούπι)
- **Αμυλούχες ά ύλες και υπολείμματα**, π.χ.,
ΚΑΡΠΟΙ δημητριακών,
ΠΑΤΑΤΑ
(ΑΛΛΗ, π.χ., διάφορα απόβλητα)
- **Λιγνοκυτταρινούχες ά ύλες**, π.χ.,
ΑΧΥΡΑ υπολειμμάτων,
BAGASSE από το σακχαρούχο σόργο
ΑΛΛΑ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ & ΑΠΟΒΛΗΤΑ, (ξύλο, ενεργειακά φυτά
π.χ., Miscanthus)

Διύλιση Βιόμαζας

- **Σακχαρούχες α' ύλες**

Απλή μηχανική κλασμάτωση & προετοιμασία υπολειμμάτων
Εκχύλιση των σακχάρων (90%)
(Προετοιμασία χυμού για βιομετατροπή)

- **Αμυλούχες α' ύλες**

Απλή μηχανική κλασμάτωση & προετοιμασία υπολειμμάτων
Εκχύλιση του αμύλου (90%)
(Ενζυματική επεξεργασία & καθαρισμός)

- **Λιγνοκυτταρινούχες α' ύλες**

Μηχανική προετοιμασία συγκομιδών και υπολειμμάτων ή άλλη
προεπεξεργασία (π.χ. υδρόλυση, κλασμάτωση)
Όξινη (αραιή ή πυκνή) ή ενζυματική υδρόλυση ή
συνδιασμοί (στους κατάλληλους συνδιασμούς
αντιδραστήρων)
(Καθαρισμός υποστρωμάτων)



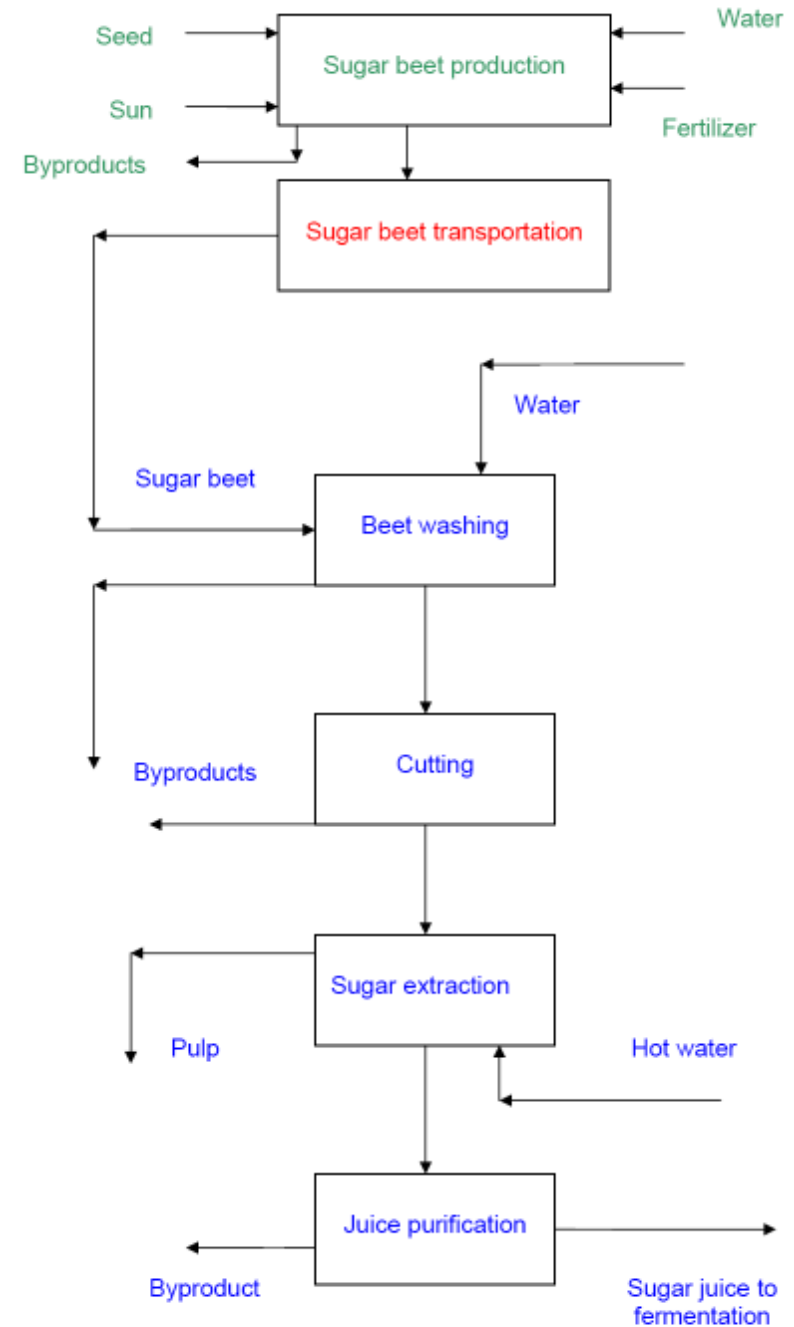
2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Εναλλακτικών
Καυσίμων και Βιοκαυσίμων

PRODUCTION

TRANSPORTATION
STORAGE

SUGAR CROPS

REFINING



Production of fermentable sugar juice from sugar beet



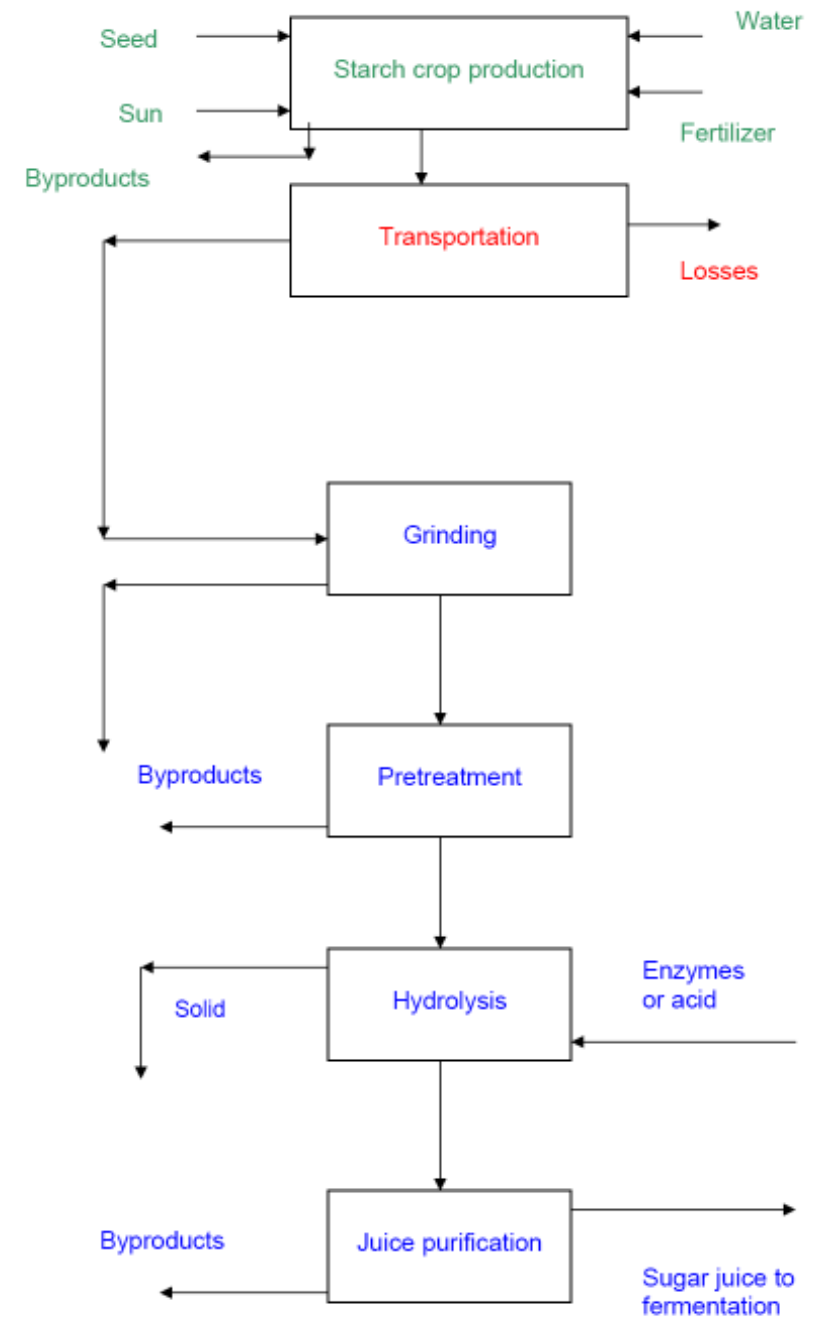
2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Εναλλακτικών
Καυσίμων και

PRODUCTION

TRANSPORTATION
STORAGE

STARCH CROPS

REFINING



Production of fermentable sugar juice from starch crop



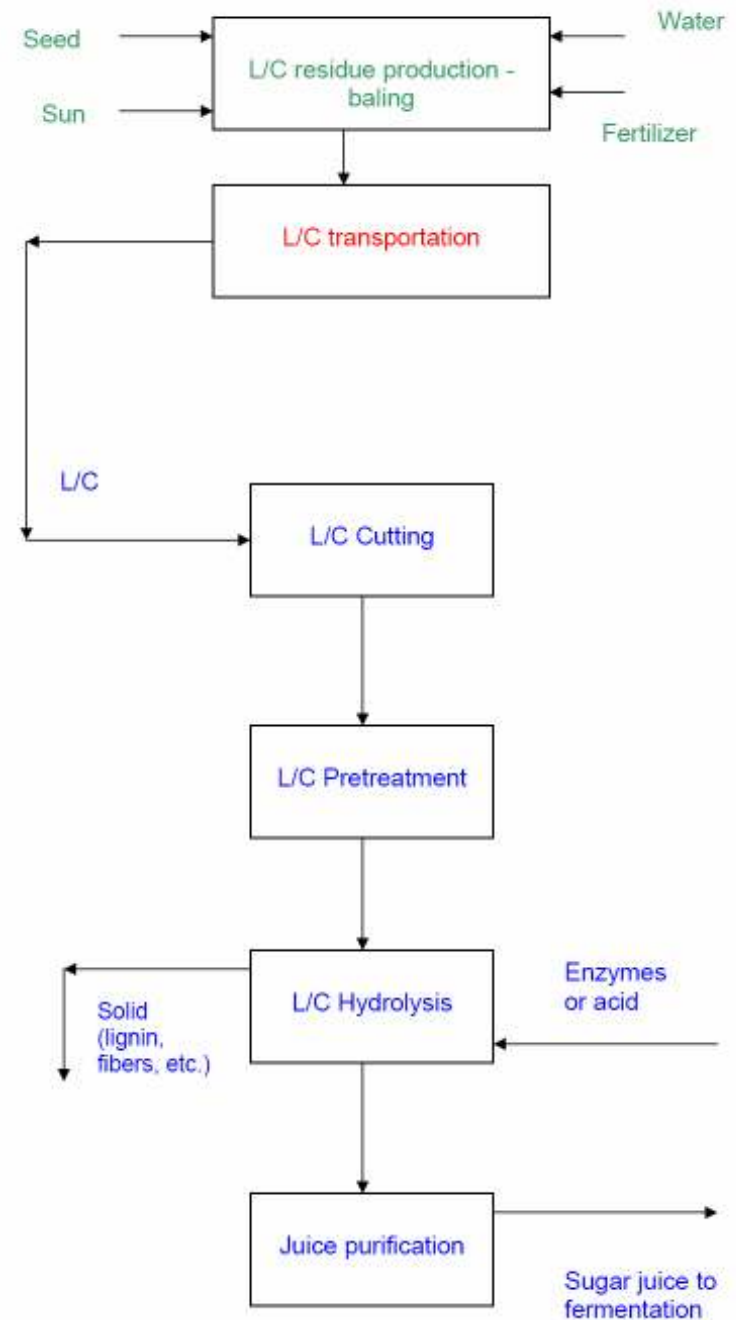
2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Εναλλακτικών
Καυσίμων και Βιοκαυσίμων

PRODUCTION

TRANSPORTATION
STORAGE

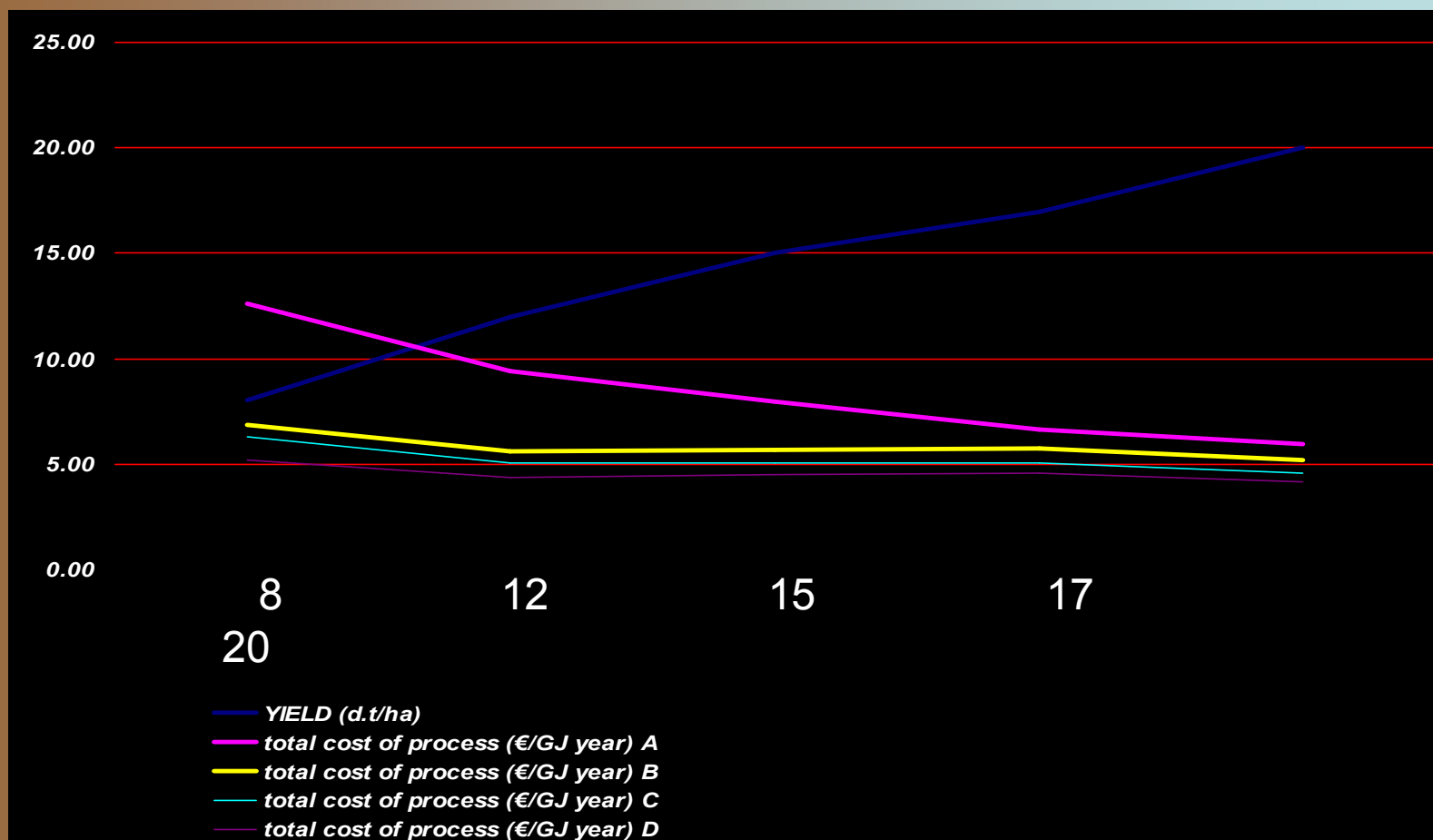
L/C CROPS/Residues

REFINING

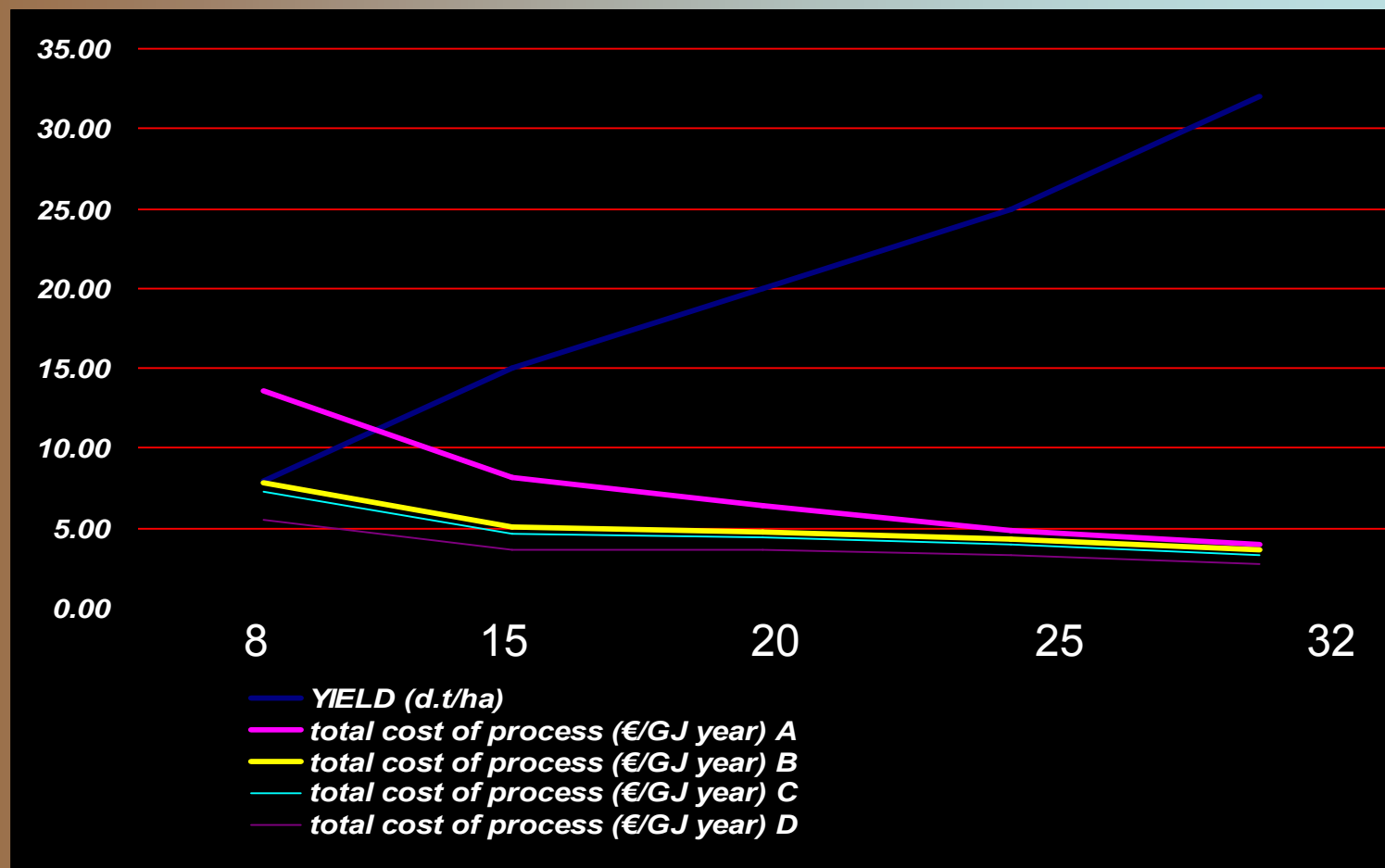


Production of fermentable sugar juice from lignocellulosics (L/C)

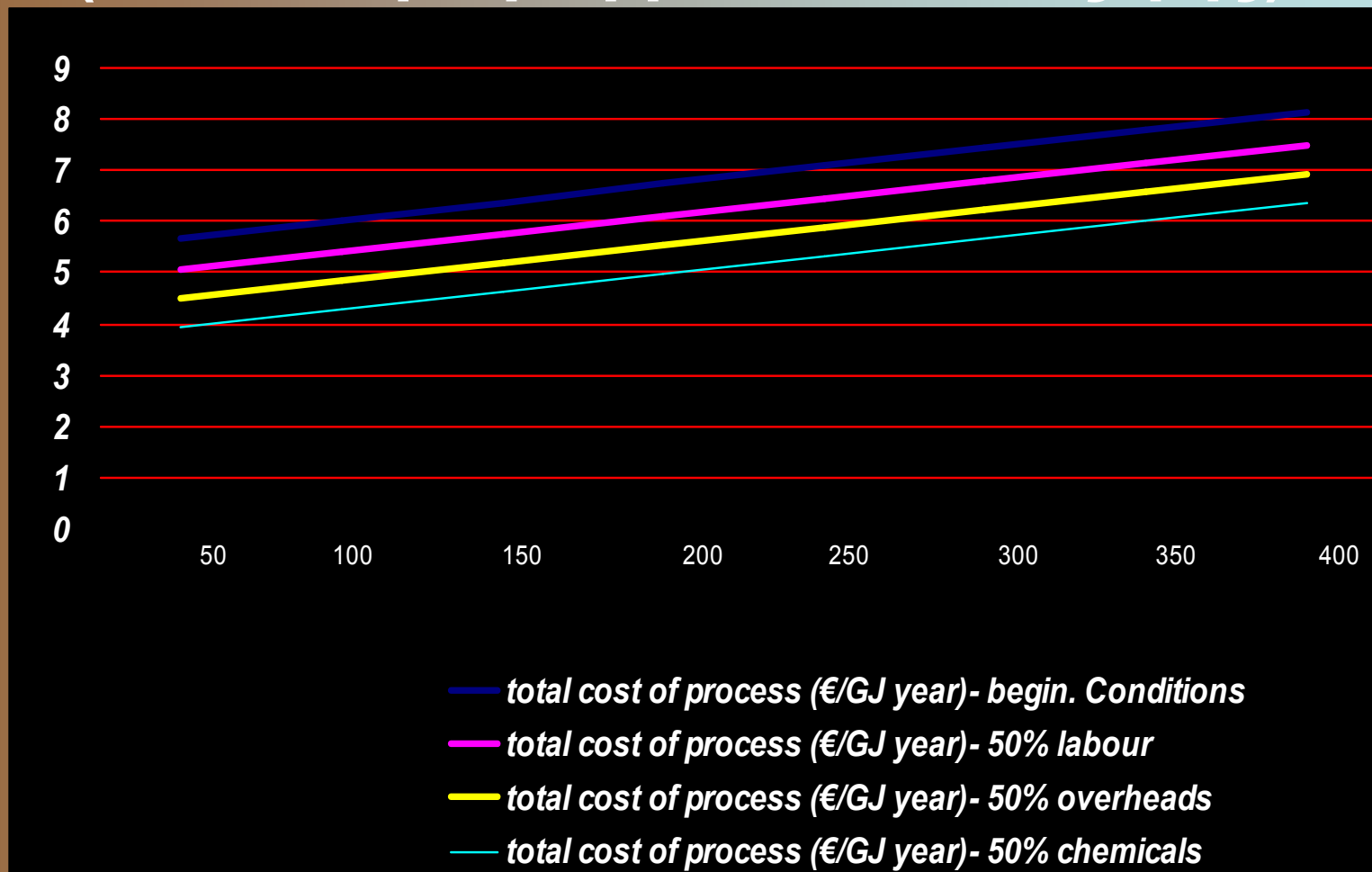
Κόστος Σακχαρότευτλου (σε συνάρτηση με την στρεμματική απόδοση)



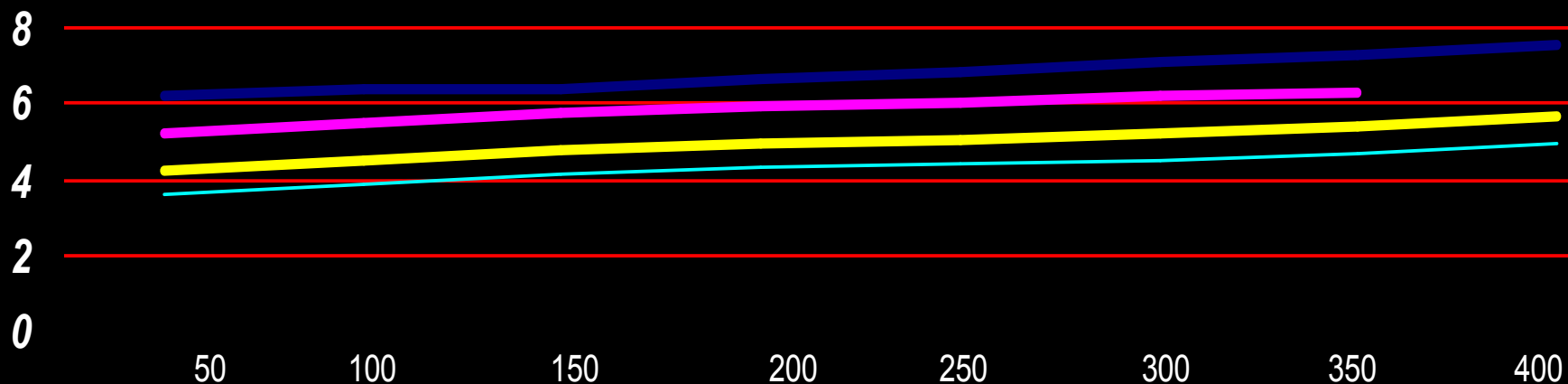
Κόστος Σακχαρούχου Σόργου (σε συνάρτηση με την στρεμματική απόδοση)



Κόστος Σακχαρότευτλου (σε συνάρτηση με το κόστος γης)

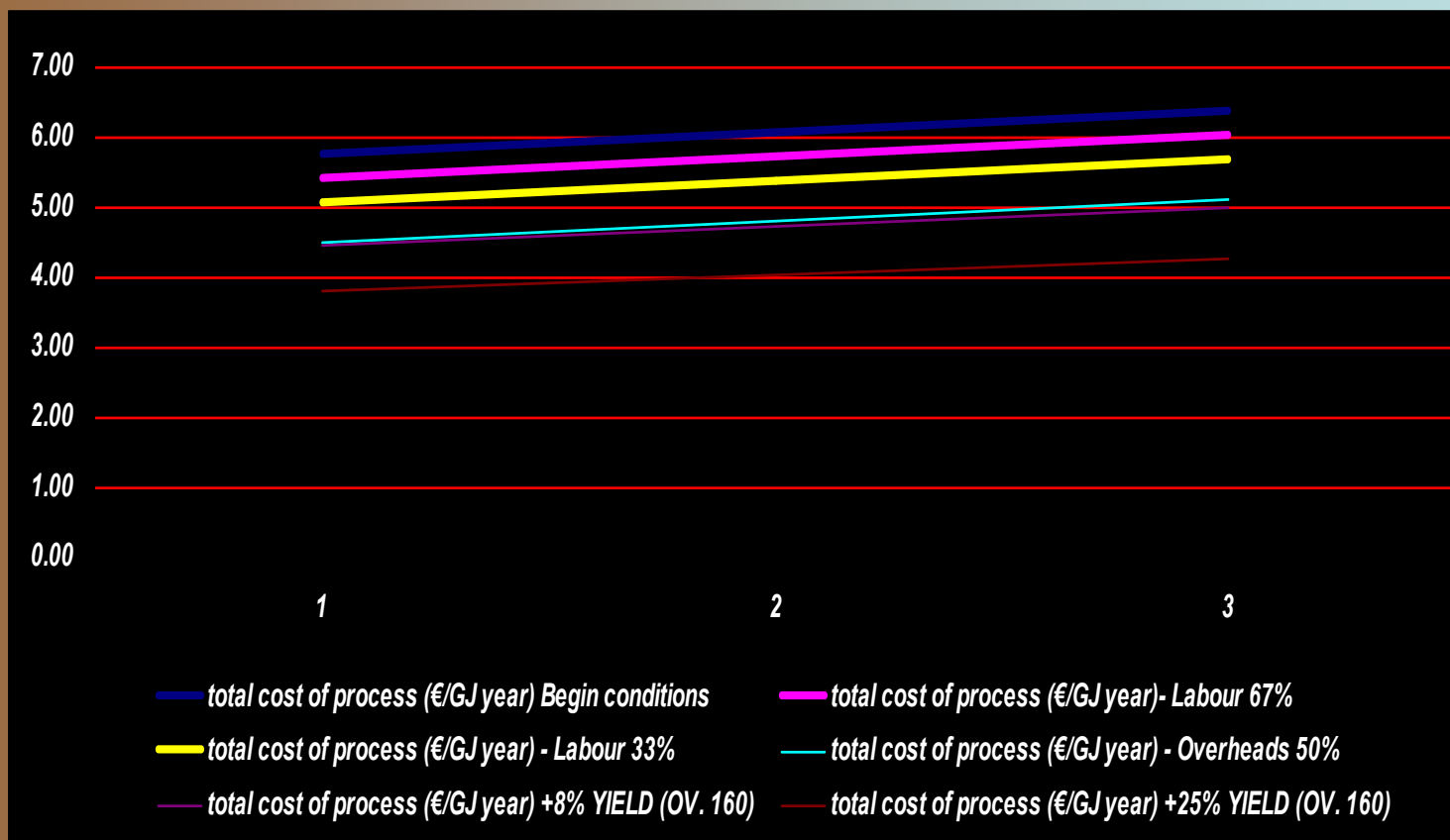


Κόστος Σακχαρούχου Σόργου (σε συνάρτηση με το κόστος γης)

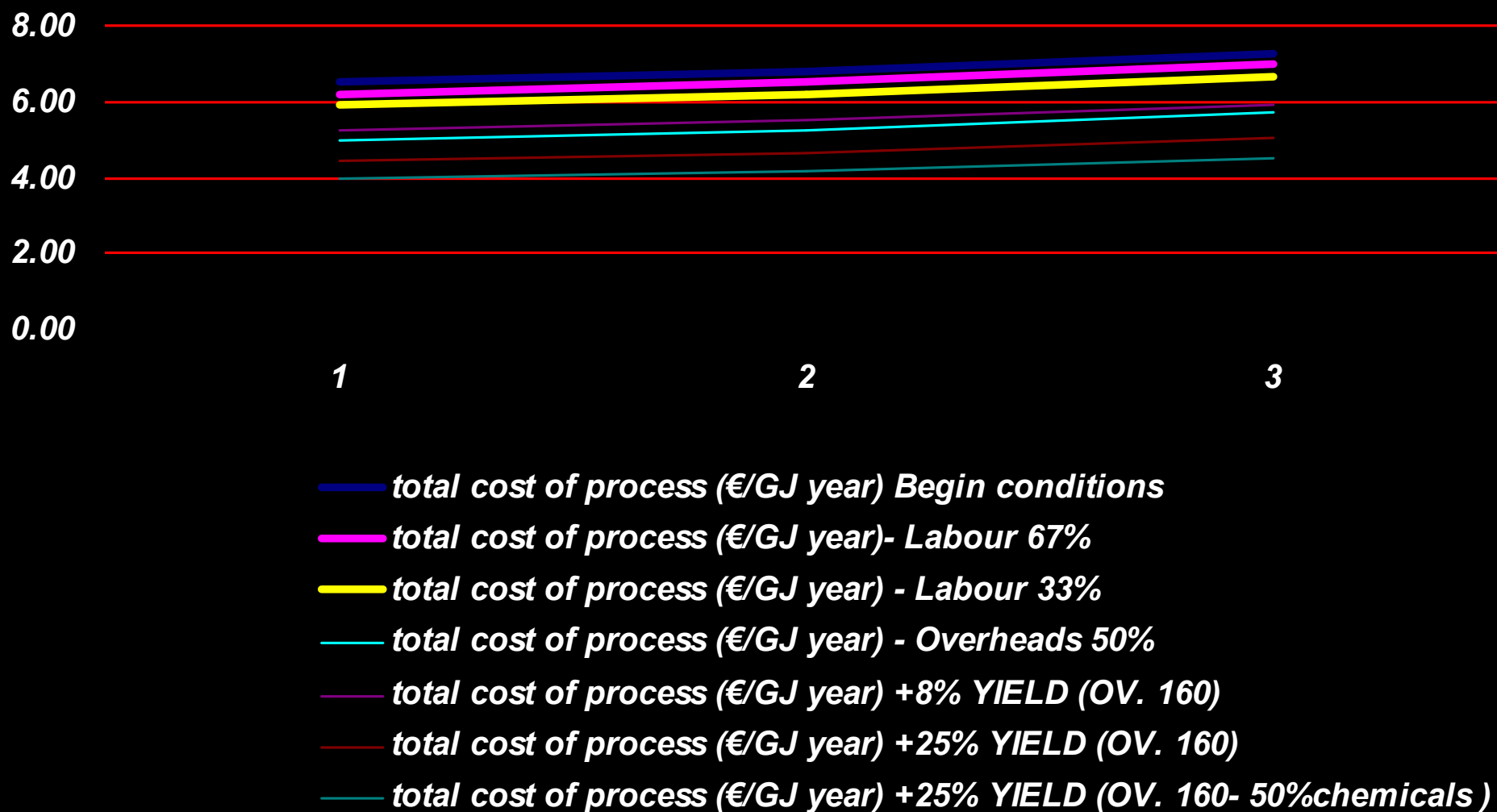


- *total cost of process (€/GJ year)- begin. Conditions*
- *total cost of process (€/GJ year)- 50% labour*
- *total cost of process (€/GJ year)- 50% overheads*
- *total cost of process (€/GJ year)- 50% chemicals*

Κόστος Σακχαρότευτλου (σε συνάρτηση με το κόστος εργασίας)



Κόστος Σακχαρούχου Σόργου (σε συνάρτηση με το κόστος εργασίας)



Συζήτηση για τα σακχαρούχα....

- Εξέταση δύο ειδών, ενός ήδη παραγώμενου και ενός ενεργειακής καλλιέργειας, και τα δύο ιδιαίτερα υποσχόμενων για την παραγωγή βιουδρογόνου. Το σακχαρούχο σόργο αποτελεί είδος υψηλής καλλιεργητικής απόδοσης ενώ το σακχαρότευτλο είναι ένα πλέον υποσχόμενο, ήδη παραγώμενο φυτό σε πολλές χώρες της Ευρώπης.
- Από τα τρία στάδια, μόνο αυτό της παραγωγής δείχνει να έχει μεγάλο ποσοστό στο τελικό κόστος έως και τον βιοαντιδραστήρα σε συνάρτηση με τις μεγάλες αλλαγές που παρουσιάζει, μεταβάλλοντας άλλα υποκόστη αυτού.
- Και τα δύο φυτά δείχνουν να έχουν άνω όριο, σε λογικά πλαίσια αλλαγών των υπο-κοστών, το όριο που έχει τεθεί από το ΕΜΠ. Το κόστος του σπόρου και της εργασίας είναι αυτά που διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των δύο φυτών. Με σημαντικές μειώσεις στα υποκόστη, φαίνεται και το σακχαρούχο σόργο να αποτελεί βιώσιμη λύση για την παρραγωγή βιο-υδρογόνου, ενώ το σακχαρότευτλο είναι πιο εύκολα μέσα στα όρια του έργου.



Μέγιστα τιμών για σακχαρούχα είδη βιόμαζας...

Sugar beet (seed cost:200€/ha)

YIELD (d.t/ha)	12.00	15.00	17.00	20.00
Land (€/ha year)	100.00	100.00	100.00	100.00
Labor (€/ha year)	100.00	100.00	100.00	100.00
Other (specify) (€/ha year)	100.00	100.00	100.00	100.00
Chemical Inputs (€/ha year)	100.00	100.00	100.00	100.00
total cost of process (€/GJ year)	4.65	4.65	4.65	4.19

Sweet sorghum (seed cost:20€/ha)

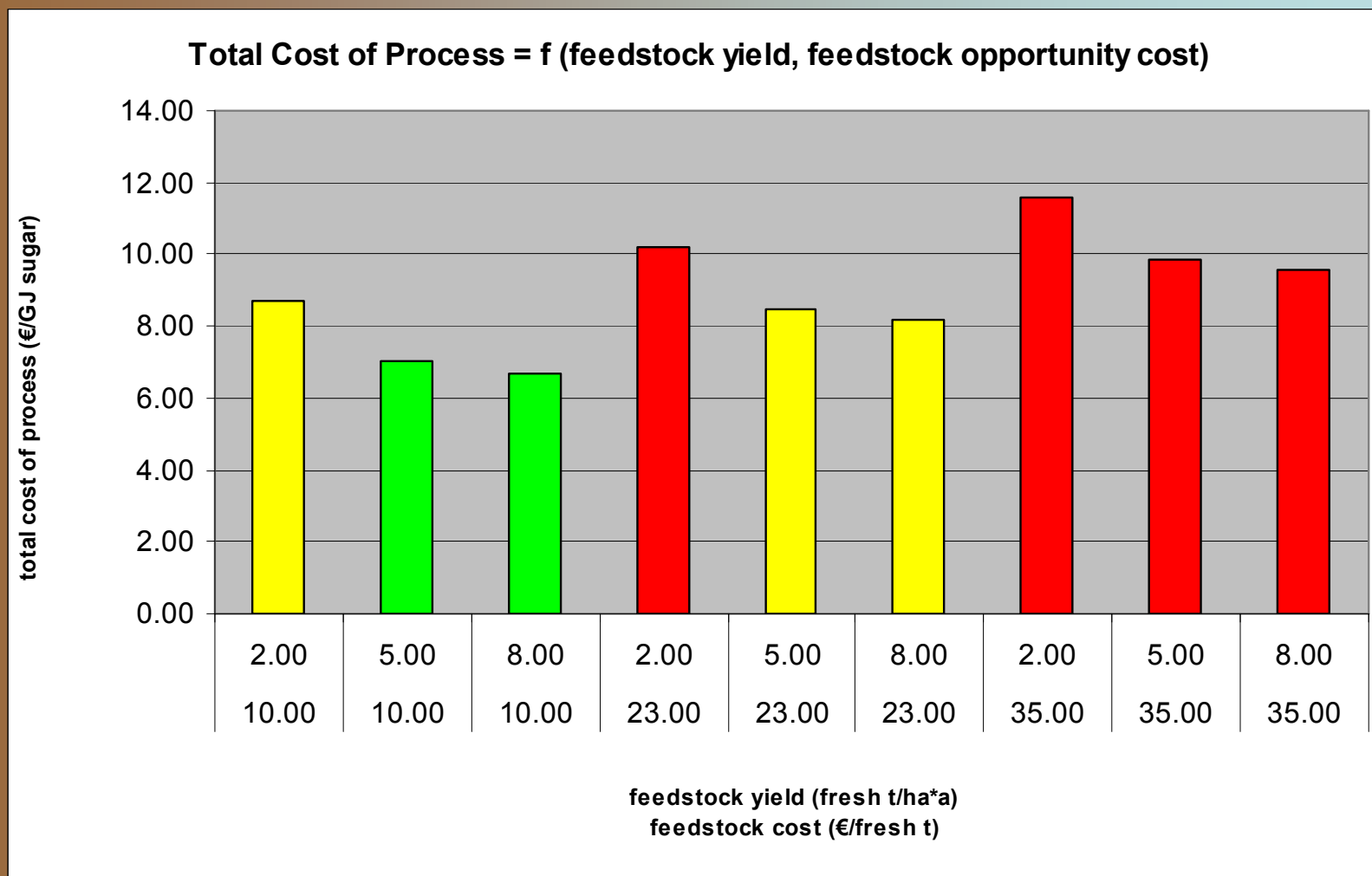
YIELD (d.t/ha)	12.00	15.00	17.00	20.00
Land (€/ha year)	100.00	100.00	100.00	100.00
Labor (€/ha year)	150.00	150.00	150.00	150.00
Other (specify) (€/ha year)	100.00	100.00	100.00	100.00
Chemical Inputs (€/ha year)	100.00	100.00	100.00	100.00
total cost of process (€/GJ year)	4.13	4.11	4.10	3.68

Αγροτικά υπολείμματα: Άχυρο σιταριού

Ευρωπαϊκή Προοπτική

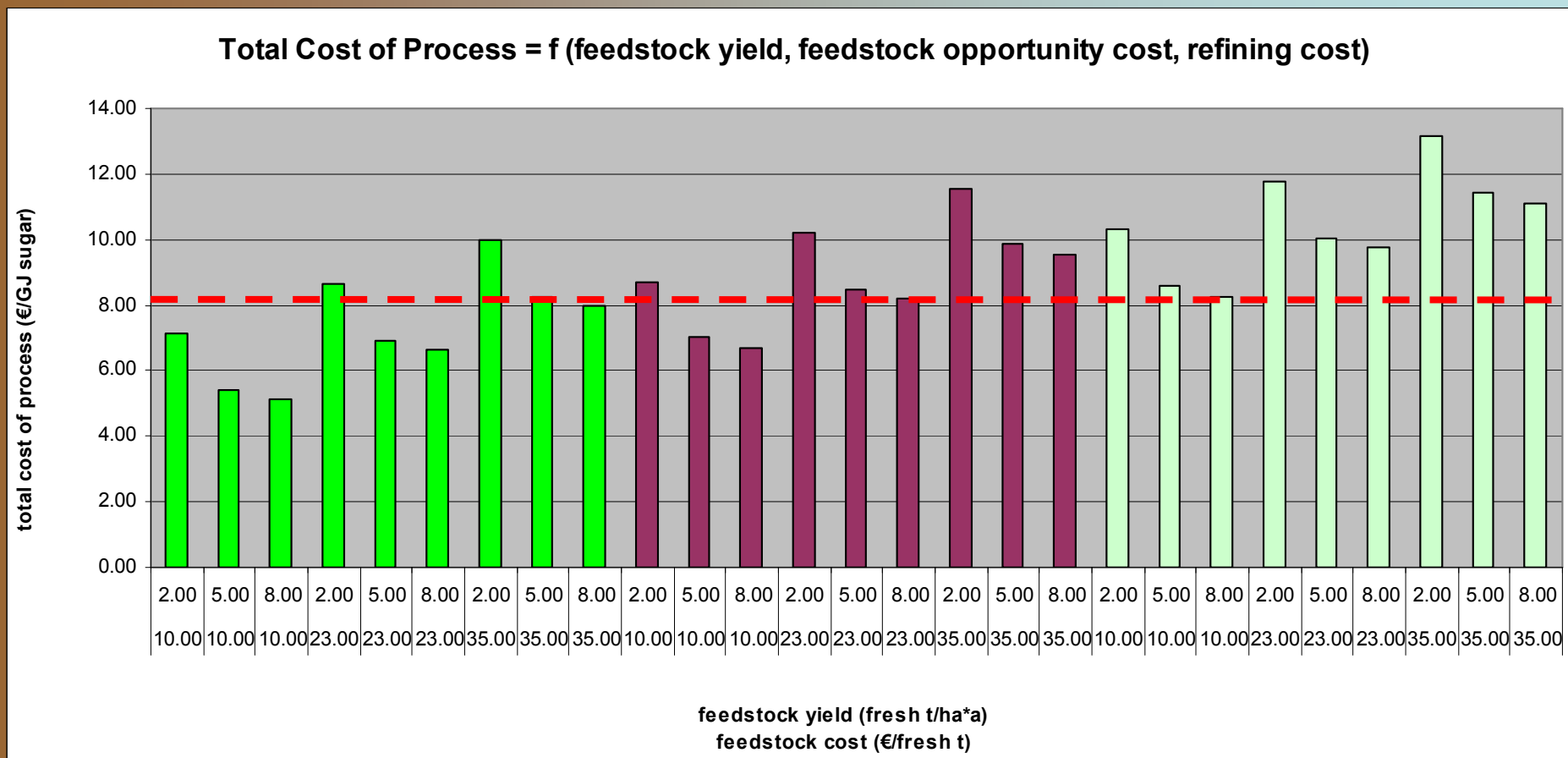
	t/(ha*year)	t/(ha*year)	1000 t/year
Range of removable wheat straw	7.32 (Ireland)	1.31 (Portugal)	
Average EU-25	4.72		
Total EU-25 production			90217
France			27436
Germany			17515
UK			12098

Αγροτικά υπολείμματα: Άχυρο σιταριού





Αγροτικά υπολείμματα: Άχυρο σιταριού



low refining cost (-30% of basic scenario)

basic scenario

high refining cost (+30% of basic scenario)

Αγροτικά υπολείμματα: Άχυρο σιταριού

Συμπεράσματα....

- Μεγάλη ποικιλότητα στην καλλιεργητική απόδοση και διαθεσιμότητα της πρώτης ύλης ανά την Ευρώπη
- Βασικό ρόλο στις αποφάσεις παίζει η συνάρτηση της καλλιεργητικής απόδοσης του αχύρου με το κόστος ευκαιρίας στην βιωσιμότητα της όλης αλυσίδας
- Το κόστος επεξεργασίας στον αγρό είναι σημαντικά χαμηλότερο από το κόστος ευκαιρίας, κάτι που πρέπει να ληφθεί υπόψη στη λήψη αποφάσεων για την δημιουργία του βιοδιυλιστηρίου, ώστε να απορροφηθεί η διαφορά.
- Οι στόχοι του έργου φαίνεται να προσεγγίζονται από το λιγνοκυτταρινούχο αυτό είδος βιόμαζας



Αγροτικά υπολείμματα: Άχυρο σιταριού

Συμπεράσματα....

- Οι υπολογισμοί έγιναν με την παραδοχή της 100% μετατροπής των πολυσακχαριτών σε ολιγοσακχαρίτες
- Το κόστος διύλισης, όπως υπολογίστηκε κάτω από συγκεκριμένες παραδοχές, δίνει βιώσιμα αποτελέσματα και αλυσίδες παραγωγής, ακόμη κι αν αυτό αυξηθεί κατά 20%. Ωστόσο, βελτιστοποίηση κόστους του σταδίου αυτού μπορεί να αυξήσει τις πιθανότητες διαθεσιμότητας της ά ύλης
- Το κόστος του σταδίου της βιοδιύλισης υπολογίστηκε βάσει παραδοχών από βιβλιογραφικά δεδομένα παραγωγής βιοαιθανόλης.
- Η παραγωγή προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας όπως η λιγνίνη μπορεί να βελτιώσει τα διαγράμματα κόστους της διύλισης.

Εργασία 2: Μεγιστοποίηση καταλληλότητας α' υλών

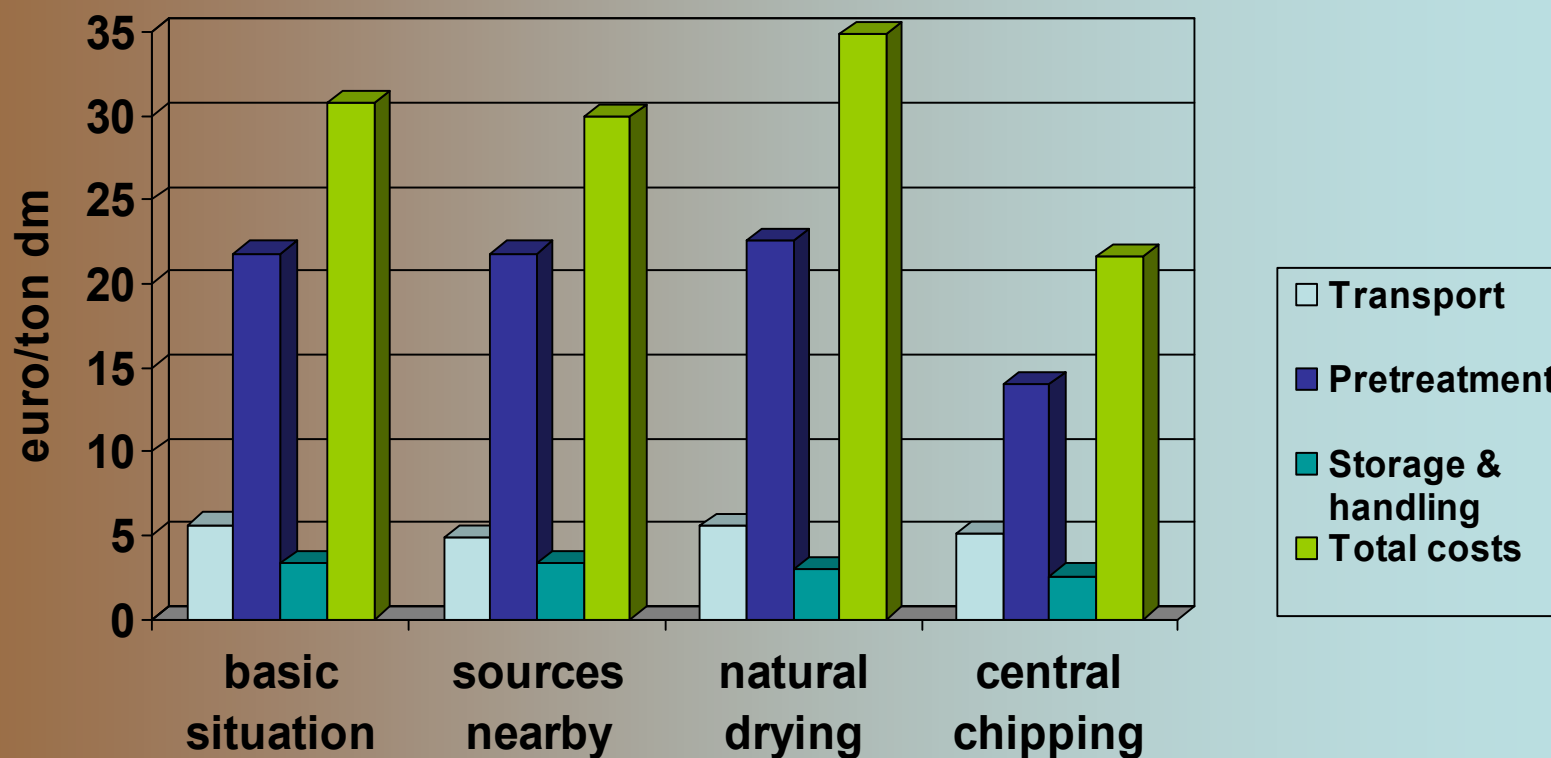
Διαθεσιμότητα υπολειμματικών υλών: Provalor

Προσεγγιστική εκτίμηση διαθεσιμότητας υπολειμμάτων καρότου και πίτας σε B, NL, F και UK

Country	Nr of factories	Total carrots processed Ton x 1000	Remaining residues Ton x 1000	Extracted juice Ton x 1000	Remaining pulp Ton x 1000
Belgium	18	230	55	37	18
Netherlands	8	60	14,5	9,8	4,7
France	11	90	22	14,7	7,3
UK	6	35	8,5	5,7	2,8
Total	43	415	100	67,2	32,8

- Διαθεσιμότητα σε άλλες χώρες
 - Γερμανία: 110.000 tons juice -> 54.000 ton pulp
 - Πολωνία: 80.000 tons juice -> 40.000 ton pulp
- Αυξανόμενες ποσότητες ανά την Ευρώπη
 - Broccoli, lettuce, cabbage, cauliflower, etc.

Παράδειγμα κατανομής κόστους....



Υδρόλυση πίπτας καρότου (PROVALOR)



Πίπα καρότου πριν (αριστερά) και μετά (δεξιά) της ενζυματικής υδρόλησης (45h; 50°C)

Από ποσότητα 124 g/L dry matter ; 60.6 g/L μονομερή σάκχαρα

- Κυρίως γλυκόζη και φρουκτόζη
- Πρόκειται να γίνει ανάλυση ολιγομερών σακχάρων

Fermentability test

Εύκολος τρόπος ελέγχου
της μετατρεψιμότητας της
βιόμαζας σε βιο-υδρογόνο

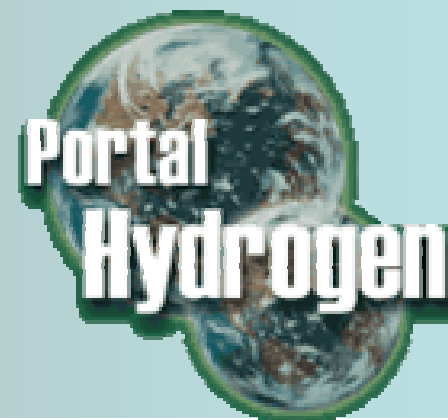


Το νέο τοπίο του χώρου *bm2bh* περιλαμβάνει..

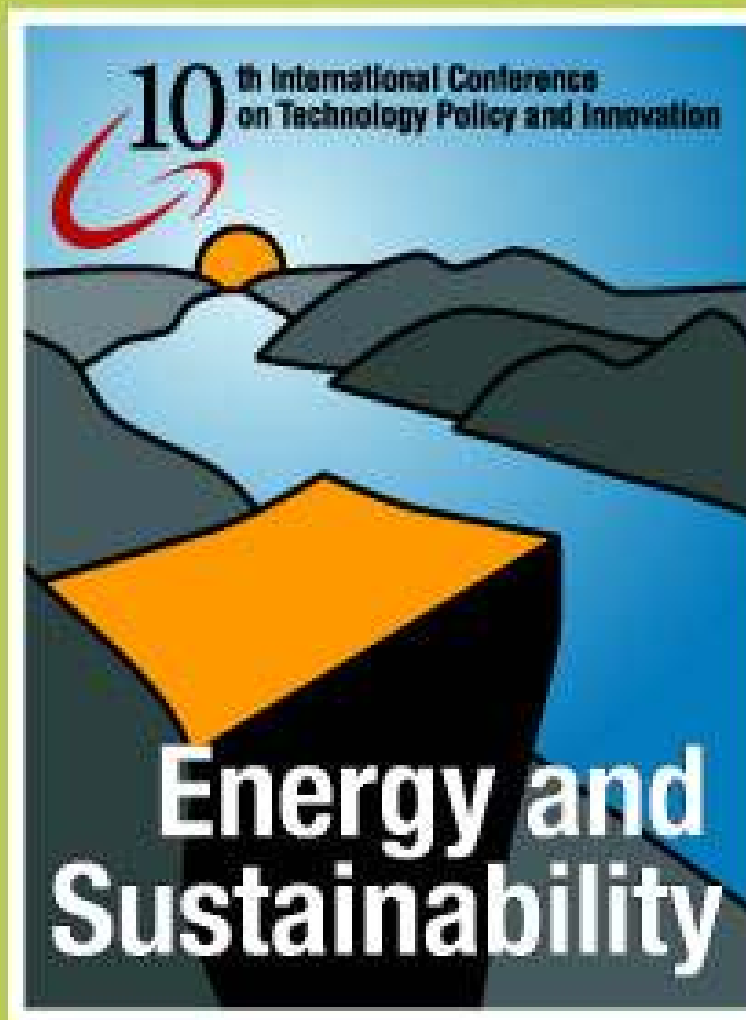
- Τρεις τύποι υποσχόμενων ά υλών: πλούσιων σακχαρούχων, αμυλούχων και κυτταρινούχων, με τα υποτομηματά τους, π.χ., σάκχαρα στους βολβούς, σάκχαρα στο χυμό μίσχων
- Χαρτογράφηση ευρέους φάσματος των πηγών αποβλήτων αγροτικής-δασικής βιομηχανίας και βιομηχανίας τροφίμων και των ενεργειακών φυτειών
- Καθορισμός των βημάτων εγκατάστασης διύλισης βιόμαζας, γενικών (μείωση μεγέθους, ξήρανση), και ειδικότερων (εξαγωγή σακχάρων, διαδικασίες υδρόλυσης πολυσακχαριτών) διεργασιών
- Οι στόχοι Κόστος Βιόμαζας που έχουν τεθεί για το 2010, σε €/GJ_{σακχαρων}, είναι :
3 για την ακατέργαστη βιομάζα - 6 για το υπόστρωμα
- Αξιολόγηση των κύριων στρατηγικών για την «Γεφύρωση του χάσματος μεταξύ Κόστους-Τιμής του Βιουδρογόνου", π.χ., με τη βελτίωση των τεχνολογιών μετατροπής, των δαπανών βιόμαζας, της αξίας των συμπροϊόντων και από την εσωτερικοποίησης του εξωτερικού κόστους» (κοινωνικοί, περιβαλλοντικοί...) όλων των ανταγωνιστικών συστημάτων

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στα
πλαίσια του Χρηματοδοτούμενου από την Ε.Ε.
Ερευνητικού Προγράμματος IP HYVOLUTION



10th ICTPI
Stavanger, Norway
June 17-20, 2007





2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Εναλλακτικών
Καυσίμων και Βιοκαυσίμων

Ευχαριστώ γι@ την προσοχή σ@s!!

"Five-year-old Helen Westergren searches for rainbows over the Sangre de Cristo Mountains near Salida."
May/June 2004,
National Geographic Traveler
magazine

