ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ IV, ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ
Εργαστήριο Βιοτεχνολογίας

βιοαιθανόλη: Παρόν και μέλλον στην ΕΕ και Ελλάδα

ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ

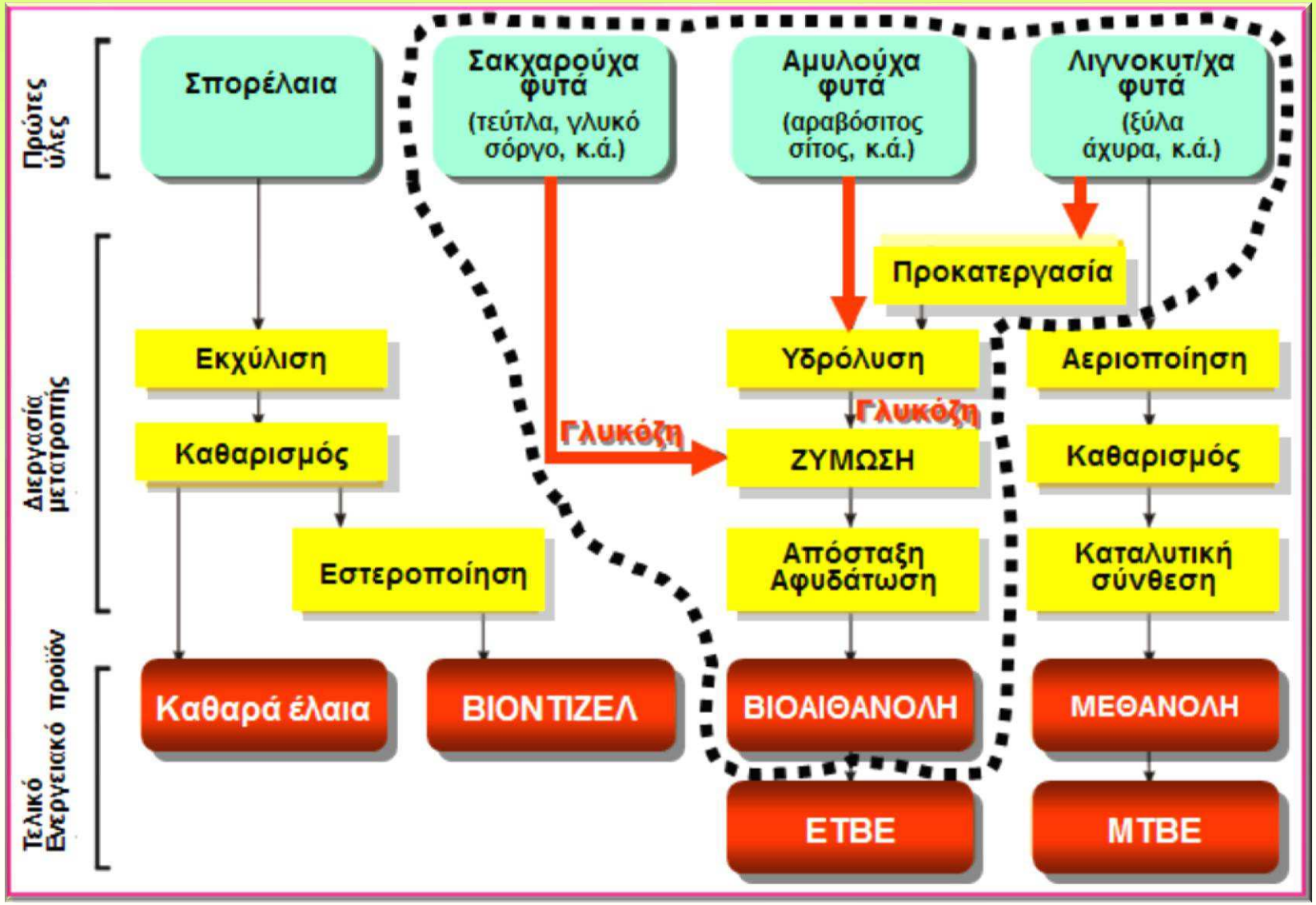
ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΟ;

Καύσιμη στερεά, υγρή ή αέρια ύλη που παράγεται από βιομάζα

ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗ;

Υγρό βιοκαύσιμο (οινόπνευμα) υψηλής ενεργειακής περιεκτικότητας, καθαρότερο περιβαλλοντικά από τη βενζίνη

ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ



ΓΙΑΤΙ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗ ;

Μείωση ενεργειακής εξάρτησης

Η Ελλάδα δαπανά 10-12 δις ευρώ ετησίως για εισαγωγές πετρελαίου, ποσό που αντιστοιχεί στο 5% του ΑΕΠ. Με τα πετρέλαια του Πρίνου να αποδίδουν μόνο μερικές χιλιάδες βαρέλια ημερησίως, η χώρα έχει ένα από τα υψηλότερα ποσοστά εξάρτησης από εισαγωγές στην ΕΕ. Περίπου 120 εκατ. βαρέλια πετρελαίου και 4 δις κυβικά μέτρα φυσικού αερίου καταναλώνονται κάθε χρόνο.

ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO_2 ΤΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από τα καύσιμα μεταφοράς ανάλογα με την ενέργεια που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του καύσιμου

ΕΠΙΛΥΣΗ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

- Αύξηση καλλιεργούμενων εκτάσεων
- Βελτίωση γεωργικού εισοδήματος
- Αύξηση θέσεων εργασίας
- Συγκράτηση αγροτικού πληθυσμού
- Κοινωνικο-οικονομική ανάπτυξη

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ

1. Παραγωγή από γεωργικά προϊόντα & υποπροϊόντα

- **Προϊόντα: Υψηλό κόστος σακχαρούχων και αμυλούχων προϊόντων (τεύτλα, καλαμπόκι, κ.ά.) που χρησιμοποιούνται ανταγωνιστικά για την παραγωγή τροφίμων (καύσιμα αντί τρόφιμα)**

Υποπροϊόντα: Λιγνοκυτταρινούχα κατάλοιπα.

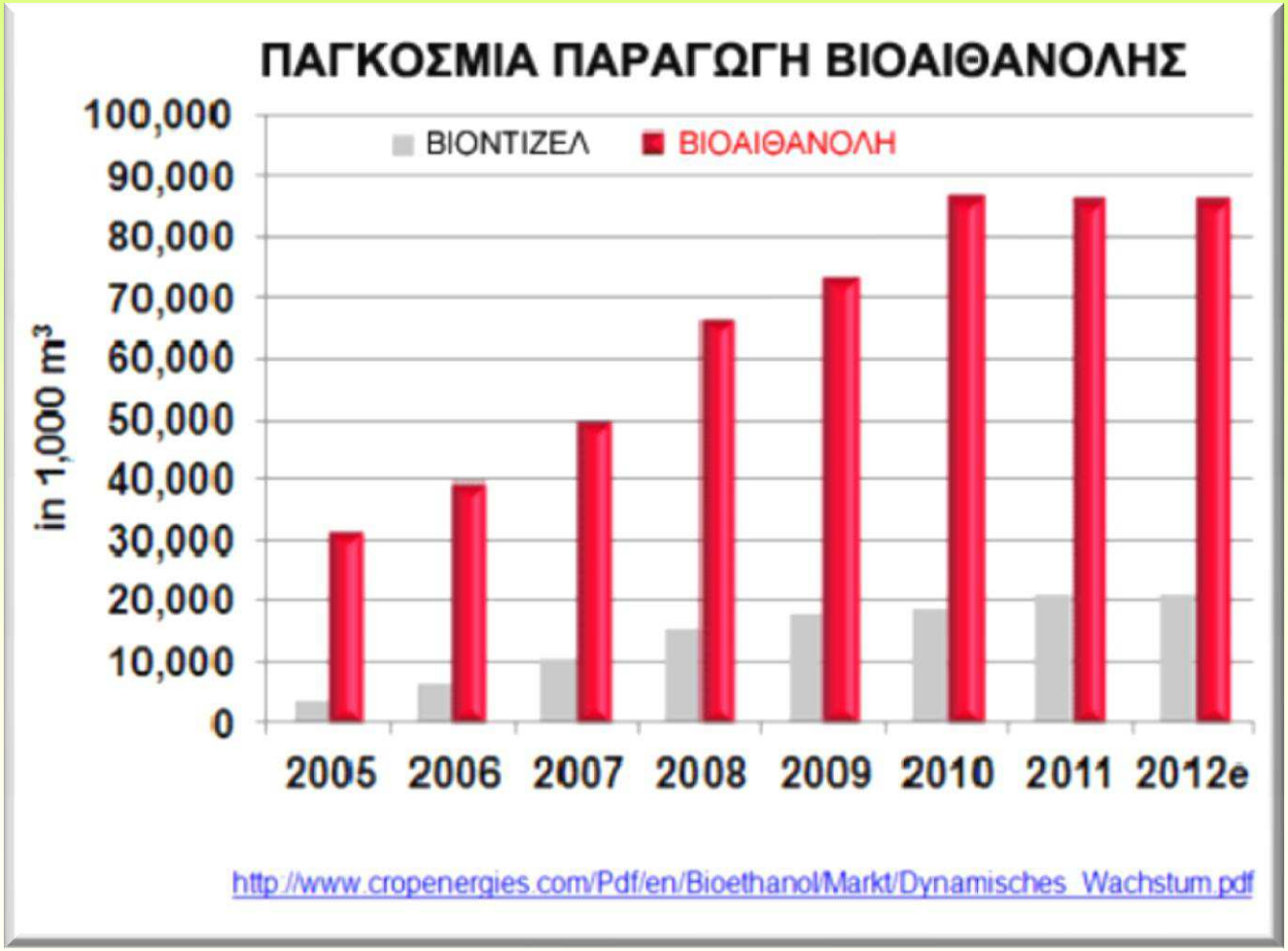
Δυσκολίες υδρόλυσης λιγνοκυτταρίνης.

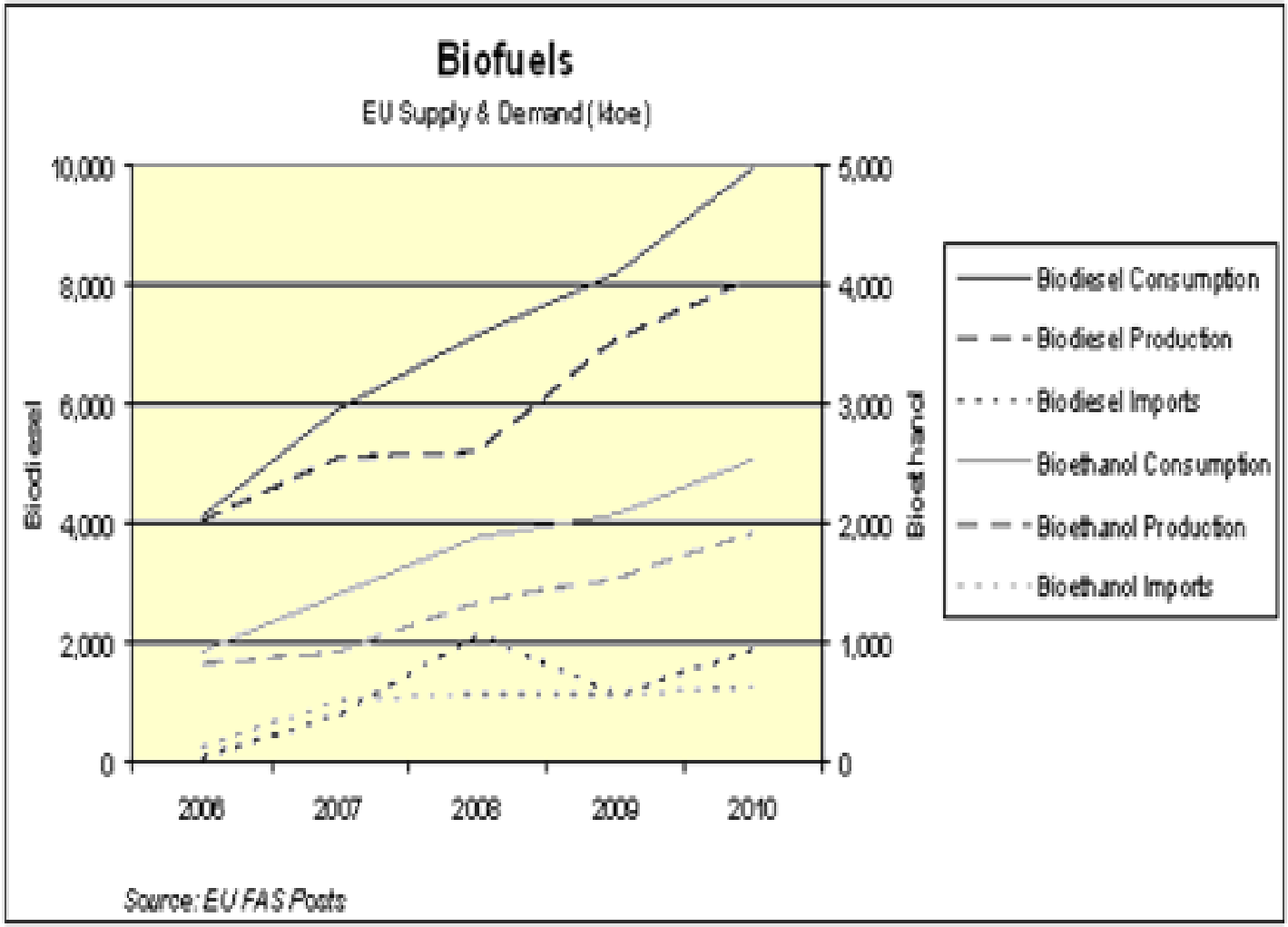
Υψηλό κόστος συλλογής, μεταφοράς και αποθήκευσης τους (ογκώδη)

2. Τεχνολογικά χαρακτηριστικά

- **Μεγαλύτερη τάση ατμών από τη βενζίνη**

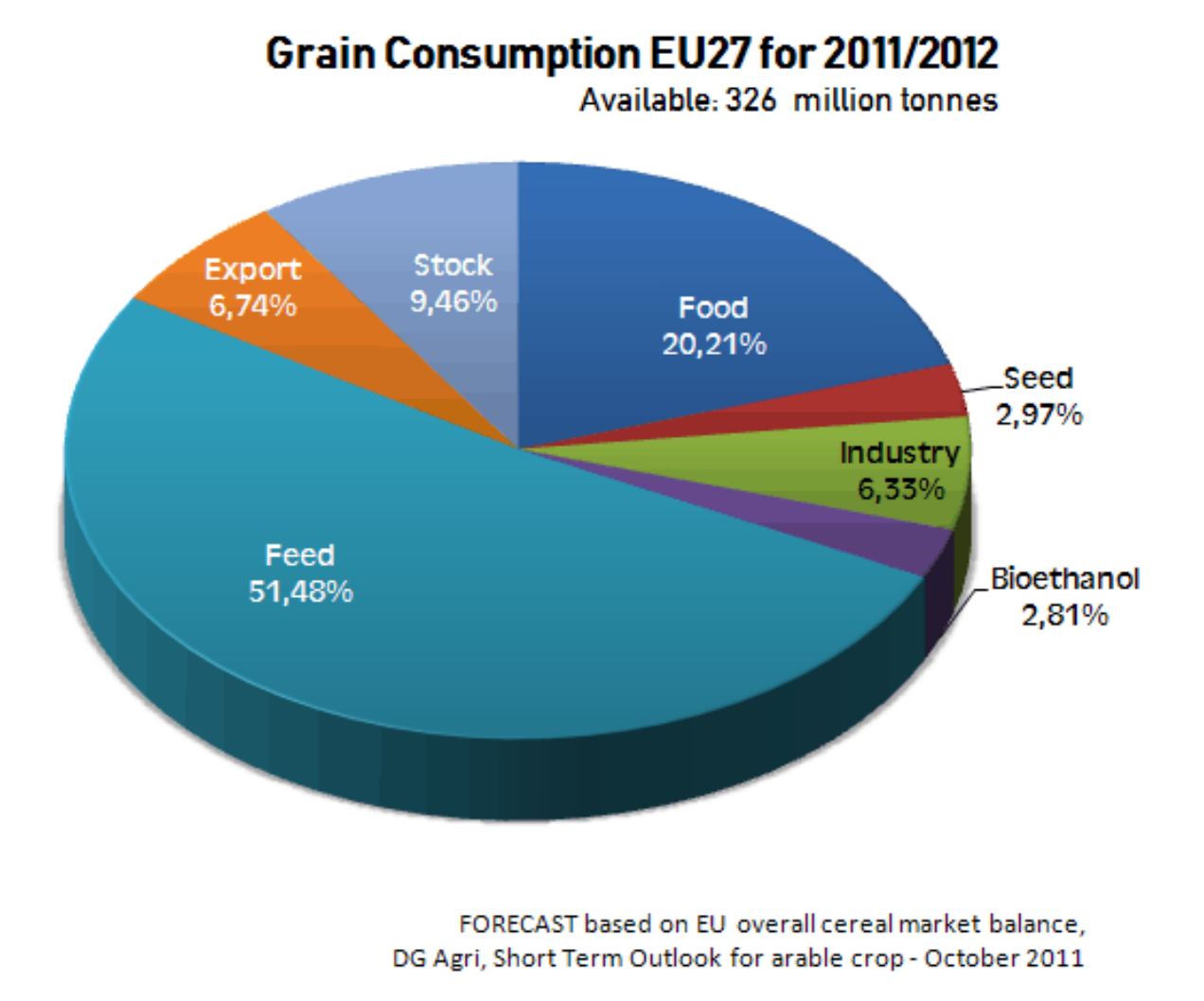
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ



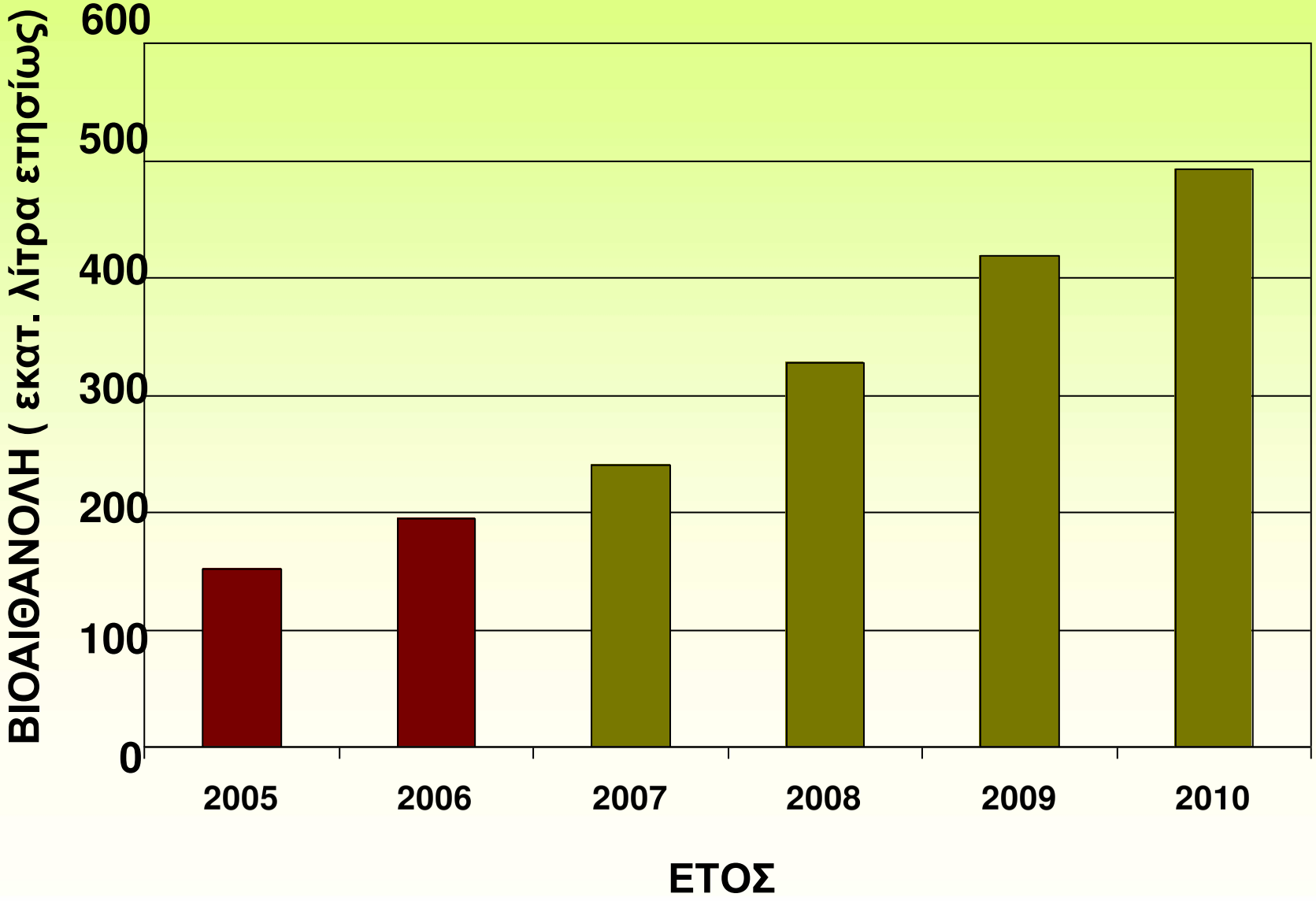

Biofuels
EU Supply & Demand (ktoe)
10,000
8,000
6,000
4,000
2,000
0
5,000
4,000
3,000
2,000
1,000
0
Biodiesel
Bioethanol
2006
2007
2008
2009
2010
Biodiesel Consumption
Biodiesel Production
Biodiesel Imports
Bioethanol Consumption
Bioethanol Production
Bioethanol Imports
Source: EU FAS Posts

Ετήσια παραγωγή βιοαιθανόλης στην ΕΕ (εκατομμύρια λίτρα)

Θέση	Χώρα	2007	2008	2009	2010
1	Γερμανία	400	580	750	740
2	Κάτω χώρες	40	80	140	510
3	Γαλλία	530	770	800	750
4	Ισπανία	360	350	465	470
5	Ην. Βασίλειο	20	70	90	320
6	Πολωνία	120	110	170	220
7	Άλλες	370	700	1.060	1.170
	ΣΥΝΟΛΟ ΕΕ	1.840	3.480	2.660	1.840

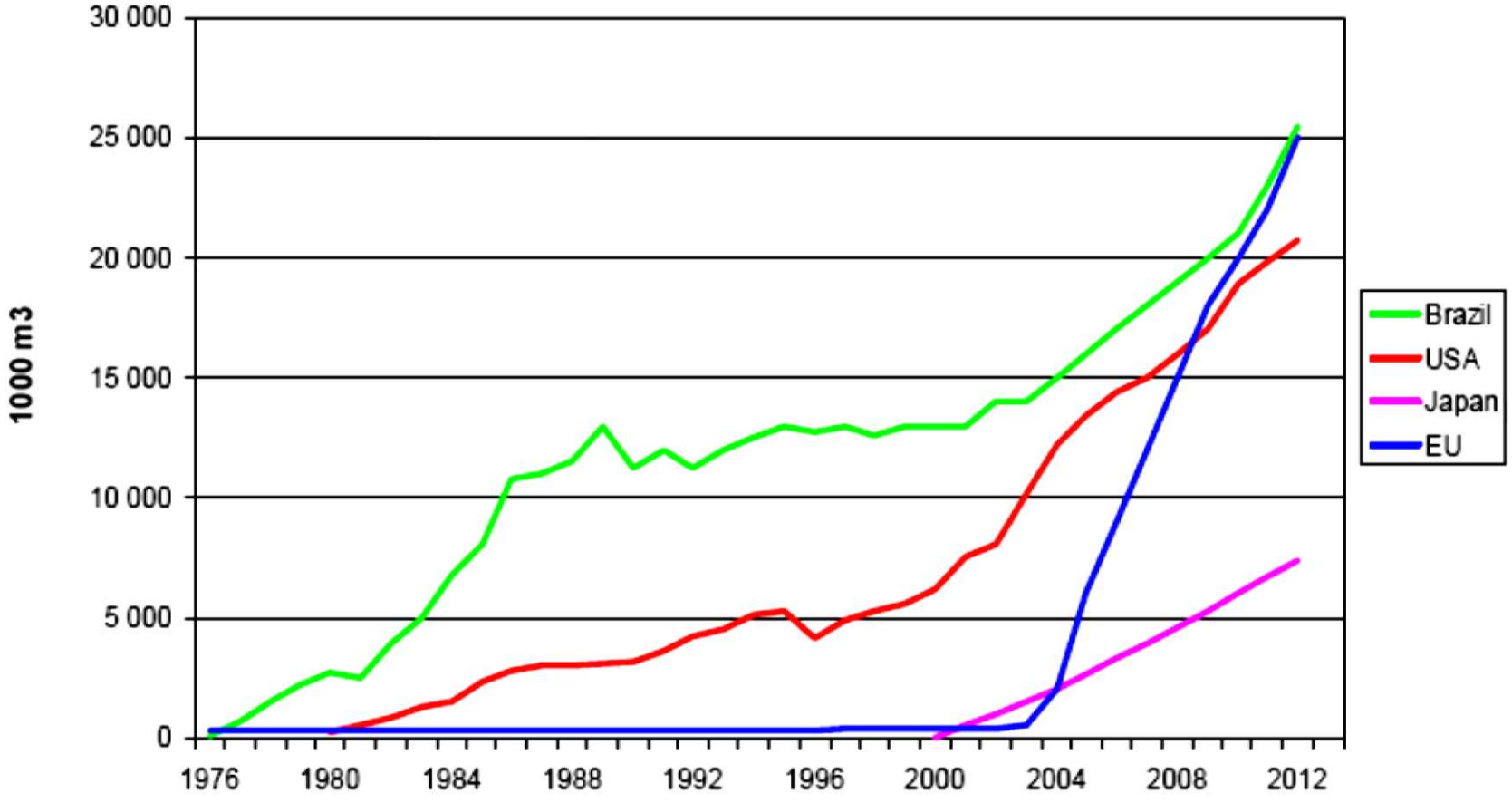

Grain Consumption EU27 for 2011/2012
Available: 326 million tonnes
Food
20,21%
Seed
2,97%
Industry
6,33%
Bioethanol
2,81%
Feed
51,48%
Export
6,74%
Stock
9,46%
FORECAST based on EU overall cereal market balance,
DG Agri, Short Term Outlook for arable crop - October 2011

ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ (που έπρεπε να παραχθεί !!!) ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΟΔΗΓΙΑ 30/2003 ΤΗΣ ΕΕ



ΟΙ ΑΓΟΡΕΣ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ

ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΝΤΑΙ ΤΑΧΥΤΑΤΑ



ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗ ΠΡΩΤΗΣ ΚΑΙ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΓΕΝΕΑΣ

Η βιοαιθανόλη 1ης και 2ης γενεάς παράγεται από σακχαρούχα και αμυλούχα προϊόντα (τεύτλα, δημητριακά) η πρώτη και από ξυλώδη (κυτταρινούχα) γεωργικά και δασικά υποπροϊόντα και υπολείμματα η δεύτερη.

Τα συγκριτικά πλεονεκτήματα της βιοαιθανόλης 2ης γενεάς είναι οι άφθονες και φθηνές πρώτες ύλες, ο μη ανταγωνισμός των υλών αυτών με τρόφιμα (ηθική απαξίωση) και η μεγαλύτερη μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (1η γενεά <35%, 2η γενεά >90%). Τα μειονεκτήματα της είναι το κόστος προκατεργασίας και, κυρίως, υδρόλυσης της πρώτης ύλης (κυτταρίνη)

ΟΔΗΓΙΑ 2009/28/ΕΟ

ΕΛΑΤΤΩΣΗ ΑΕΡΙΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

- 2016	35%
2017-2018	50%
2018 -	60%

1ης ΓΕΝΕΑΣ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗ

1. ΣΑΚΧΑΡΟΥΧΑ

Ζαχαρότευτλα

Γλυκό σόργο

Νωπά στελέχη

ΑΠΟΔΟΣΗ ≈
10 ΤΟΝΟΙ / ΣΤΡΕΜΜΑ

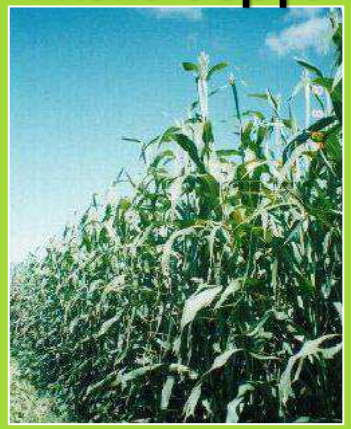
ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗ
> 600 λίτρα / στρέμμα

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ
2.23

ΡΟΗ ΣΤΑΔΙΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ ΑΠΟ ΖΑΧΑΡΟΥΧΑ (ζαχαρότευτλα)

Ζαχαρότευτλα

Γλυκό σόργο



Τεμαχισμός
τεύτλων, σόργου

↓

Εκχύλιση
Απομάκρυνση στερεών

↓

Αλκοολική ζύμωση
Παραγωγή αιθανόλης

↓

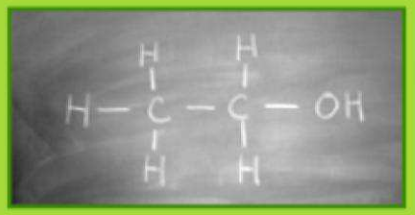
Απόσταξη
Διαχωρισμός αιθανόλης 95%

↓

Αφυδάτωση
Αιθανόλη (99,7)

Βιοαιθανόλη
Άνυδρη

Ευρωπαϊκή Norm
EN 15376



2. ΑΜΥΛΟΥΧΑ

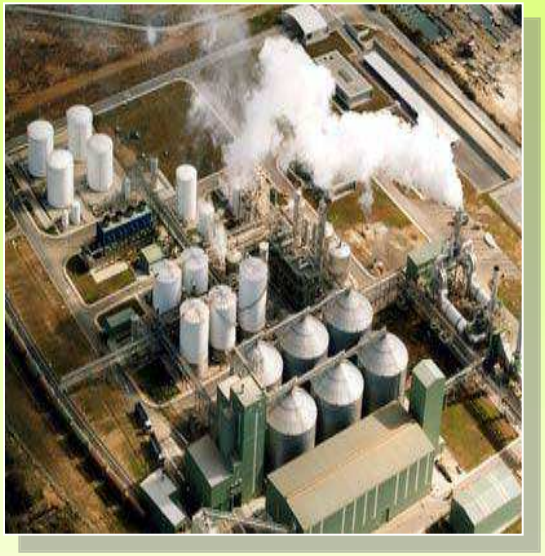
Δημητριακά

ΡΟΗ ΣΤΑΔΙΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ ΑΠΟ ΔΗΜΗΤΡΙΑΚΑ (σιτάρι, κριθάρι, καλαμπόκι)

Εισροές

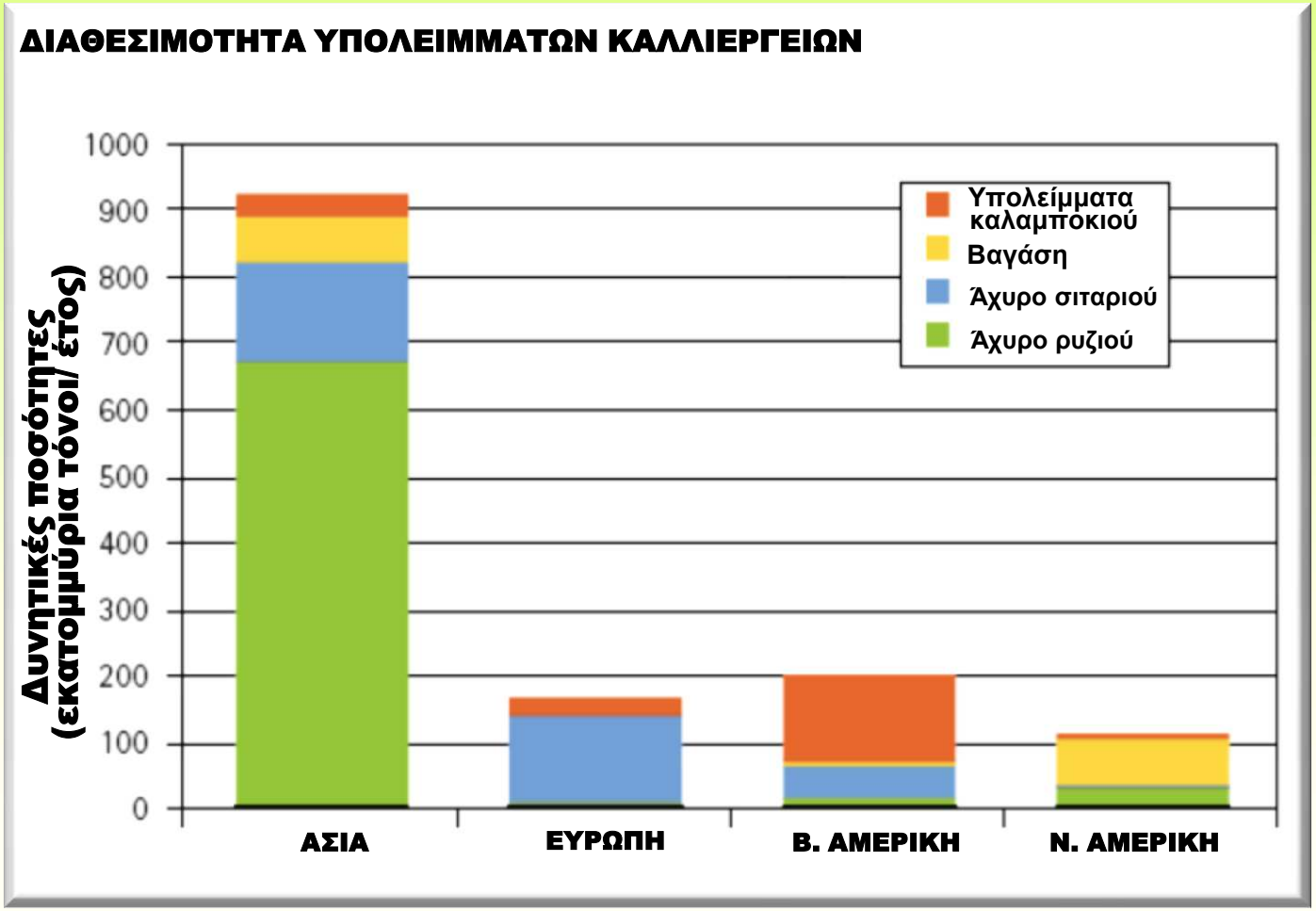
Δημητριακά: 2,6-3 Kg

Νερό: 2,7 λίτρα
Ηλεκτρική ενέργεια: 0.36 kW/h
Ατμός: 3,5 Kg
Νερό ψύξης: Ποικίλλει
Ποτάσα: 0,012 Kg
Θειικό οξύ: 0.01 Kg
Χλωριούχο ασβέστιο: 0,001 Kg
α-Αμυλάση
Αμυλογλυκοζιδάση } ΕΝΖΥΜΑ

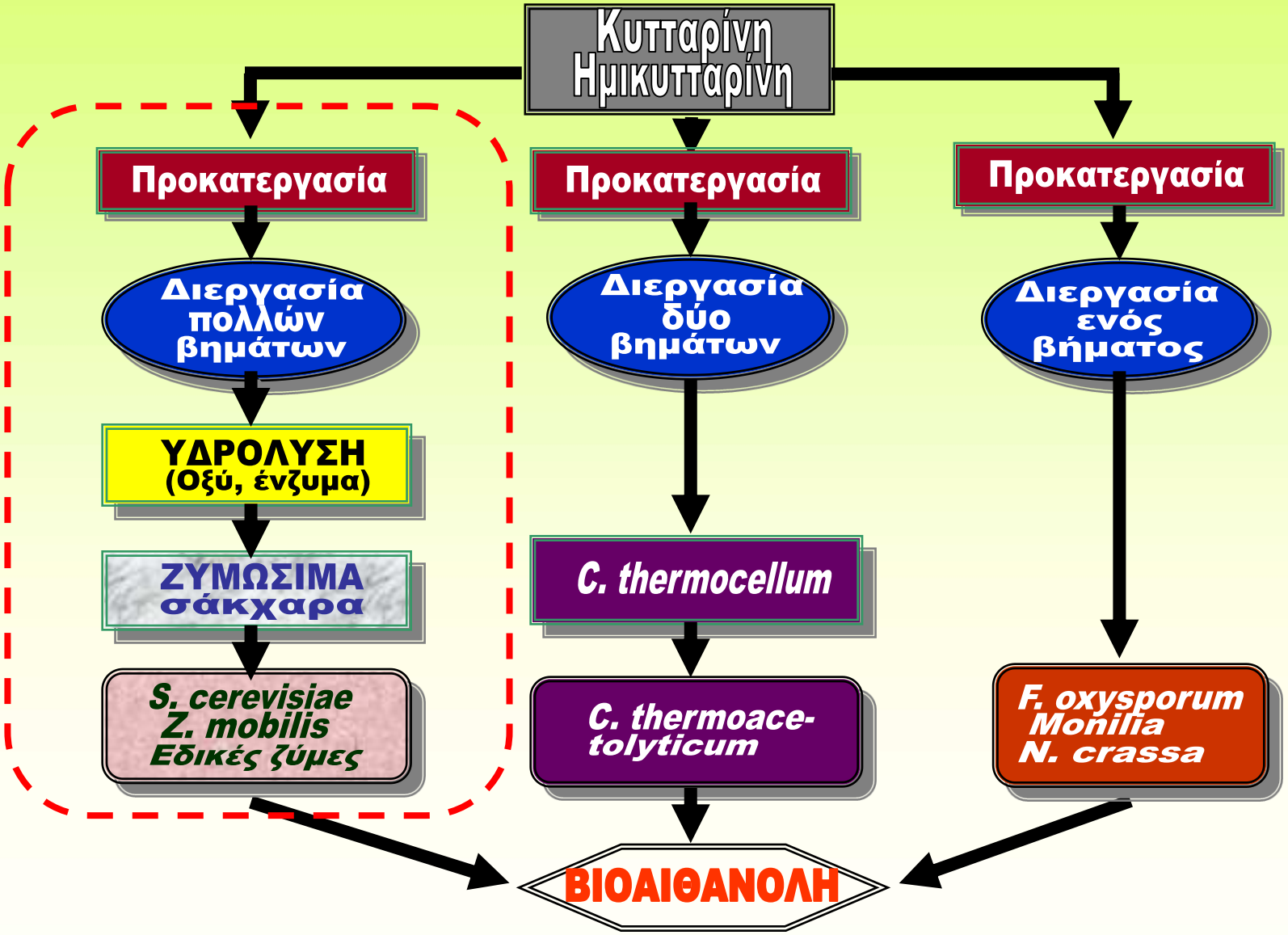


2ης ΓΕΝΕΑΣ
ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗ

ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΛΙΓΝΟΚΥΤΤΑΡΙΝΟΥΧΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ



ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ ΑΠΟ ΛΙΓΝΟΚΥΤΤΑΡΙΝΟΥΧΑ



Ενεργειακά φυτά που ευδοκιμούν στην Ελλάδα

Πολυετείς γεωργικές καλλιέργειες: (ξηρή βιομάζα 1,5-2,5 τον/στρ./έτος, βιοαιθανόλη: 450-550 λίτρα/τον)

Δασικά φυτά: (ξηρή βιομάζα 1,2-3,5 τον/στρ./έτος, βιοαιθανόλη: 450-550 λίτρα/τον)

Ετήσιες γεωργικές καλλιέργειες: (ξηρή Βιομάζα 1,5-2,5 τον/στρ./έτος, βιοαιθανόλη: 300-350 λίτρα/τον)

Σύσταση ενεργειακών φυτών

Ενεργειακό φυτό	Κυτταρίνη	Ημικυτταρίνη	Λιγνίνη
	(% ξηρού βάρους)		
Αγριαγκινάρα	47,8	22,8	10,3
Καλάμι	29,2	32,0	20,9
Μίσχανθος	43,0	24,0	19,0
Switchgrass	37,0	29,0	25,0
Ευκάλυπτος	45,0	19,2	31,3
Ψευδακακία (μ.ό.)	45,0	18,5	27,5
Ινώδες σόργο	34,0	17,0	16,0
Κενάφ	60,8	20,3	11,0

Γεωργικά υπολείμματα των 10 πλέον παραγωγικών περιοχών της χώρας

ΝΟΜΟΣ	Βαμβάκι	Καλαμπόκι	Ρύζι	Σιτάρι μαλακό	Σιτάρι σκληρό	ΣΥΝΟΛΟ (τόνοι)
Λάρισας	150.000			49.000	280.000	479.000
Φθιώτιδας	70.000	60.000			90.000	220.000
Ξάνθης	6.000	220.000		20.000	6.600	252.600
Έβρου	12.000	120.000	1.000	10.000	30.000	173.000
Πέλλας	50.000	50.000		5.000	35.000	140.000
Αιτωλοακ/νανίας	18.420	150.600	11.000	1.500	4.500	186.020
Ημαθίας	40.000	79.000	17.000	2.275	18.270	156.545
Καβάλας		200.000				200.000
Σερρών	50.000	300.000	25.000	23.800	120.000	518.800
Θεσσαλονίκης	22.400	100.000	50.000	66.100	140.000	378.500
ΣΥΝΟΛΟ (τόνοι)	418.820	1.279.600	104.000	177.675	724.370	2.704.465

2.704.465 τόνοι x 340 λίτρα / τόνο ≈ 900.000.000 λίτρα βιοαιθανόλη ετησίως

Υπολείμματα γεωργικών βιομηχανιών

Πούλπα	Φλοιοί ρυζιού	Υπολείμματα εκκοκκισμού βάμβακος	Ελαιοπολτός	Ελαιοπυρήνας
Ποσότητα (τον / έτος)	Ποσότητα (τον / έτος)	Ποσότητα (τον / έτος)	Ποσότητα (τον / έτος)	Ποσότητα (τον / έτος)
3.600	46.000	20.000	?	500.000
Απόδοση βιοαιθανόλης: 250 λίτρα / τόνο πούλπας	Απόδοση βιοαιθανόλης: 160 λίτρα / τόνο φλοιού	Απόδοση βιοαιθανόλης: 190 λίτρα / τόνο υπολειμ.	Απόδοση βιοαιθανόλης: ? λίτρα / τόνο ελαιοπλ.	Απόδοση βιοαιθανόλης: 340 ? λίτρα / τόνο ελαιοπ.

Υπολείμματα καρποφόρων και δασικών δέντρων και χαρτιού

Κλαδέματα	Δασικά υπολείμματα	Πριονίδια, ροκανίδια	Υπολείμματα χαρτιού
Ποσότητα (τον / έτος)	Ποσότητα (τον / έτος)	Ποσότητα (τον / έτος)	Ποσότητα (τον / έτος)
>1.500.000	2.700.000	?	1.200.000
Απόδοση βιοαιθανόλης: 91 λίτρα / τόνο κλαδέματος	Απόδοση βιοαιθανόλης: ? λίτρα / τόνο υπολειμ.	Απόδοση βιοαιθανόλης: 238-311 λίτρα / τόνο πριονιδιού	Απόδοση βιοαιθανόλης: 420 λίτρα / τόνο χαρτιού

Υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών

Συστατικό	Καλαμπόκι (ξηρά στελέχη, %)	Ρύζι (άχυρο, %)	Σιτάρι (άχυρο, %)
Κυτταρίνη	38,0	37,0	34,0
Ημικυτταρίνη	26,0	22,7	27,6
Λιγνίνη	11,0	13,6	18,0

Υπολείμματα τροφίμων

Ποσότητα (νωπά)
(τον / έτος)
2.000.000

Ποσότητα
(τον / έτος)
400.000

30.000 - 40.000
(m^3/ έτος)

ΠΡΟΤΑΣΗ ΕΜΠ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ ΑΠΟ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗ ΑΠΟ ΛΙΓΝΟΚΥΤΤΑΡΙΝΟΥΧΑ

ΠΡΟΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ

Καθορίζει το σύνολο των διεργασιών και την αξιοποίηση παραπροϊόντων

- **Αραιό οξύ**
- **Πυκνό οξύ**
- **Steam explosion (SO_2) & αραιό οξύ ή ένζυμα**
- **$Ca(OH)_2$ (μείωση παρεμποδιστών)**
- **Organosolv (λιγνίνη υψηλής ποιότητας)**
- **Συμπύκνωση σακχάρων (ενεργειακό κόστος απόσταξης)**

Παράγοντες που καθορίζουν την ευκολία υδρόλυσης προκατεργασμένων λιγνοκυτταρινούχων υποστρωμάτων για την παραγωγή αιθανόλης

Βιομάζα: Πρώτες ύλες
- Ξύλο & μη-ξυλώδη πρώτη ύλη
- Υγρασία
- Καθαρότητα
- Τύπος ξύλου
  - *ερυθρό ξύλο κλάδων πεύκης, εφελκυσμογενές ξύλο*
  - *εγκάρδιο, σομφόξυλο*

Πηγή: Chandra et al., Substrate Pretreatment: The Key to Effective Enzymatic Hydrolysis of Lignocellulosics? In: Adv Biochem Engin/Biotechnol (2007) 108: 67-93.

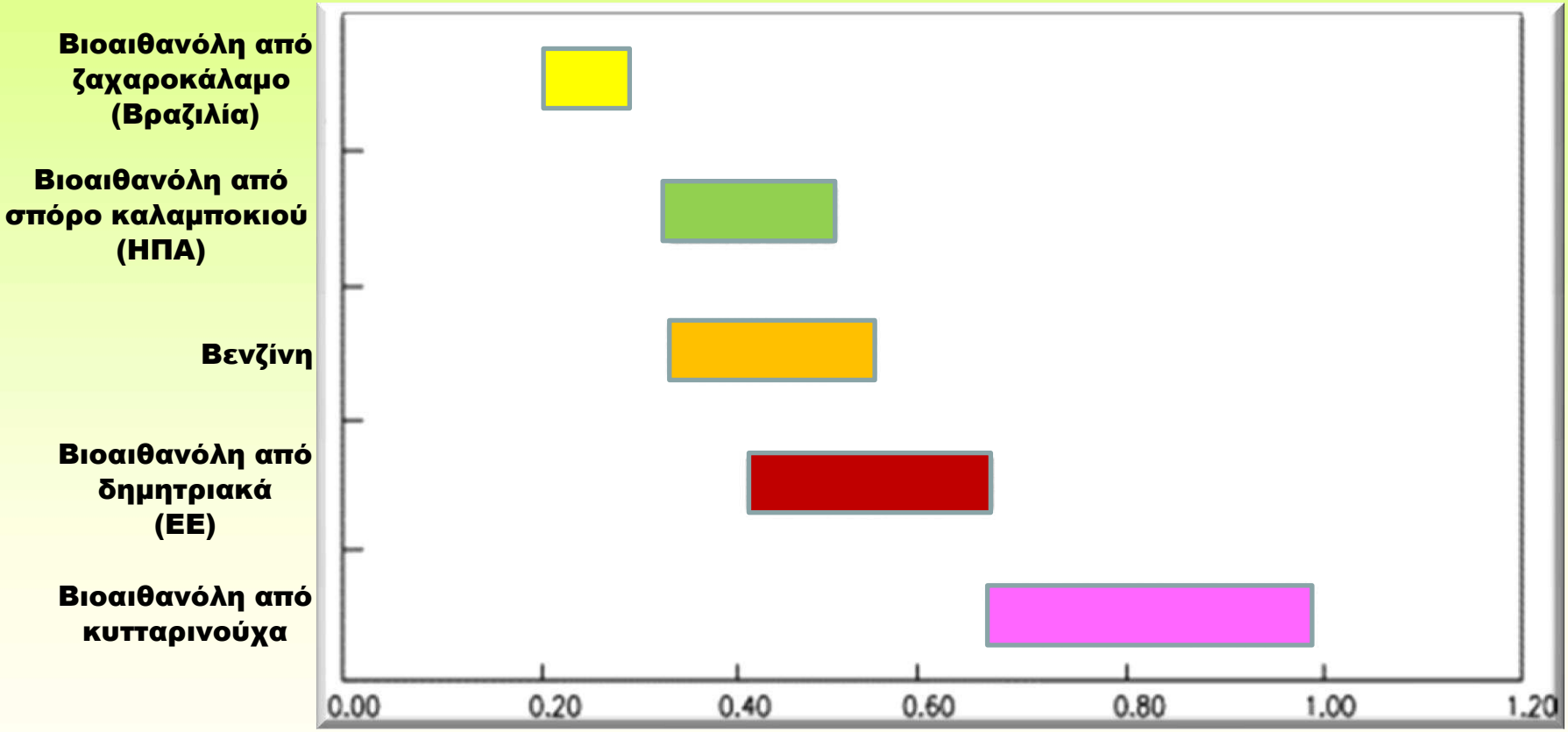
Προκατεργασία
- χημική
- φυσική
- φυσικοχημική
  - *χρόνος*
  - *θερμοκρασία*
  - *δοσολογία χημικών*

Χημικές ιδιότητες υποστρώματος
- Ανάκτηση συστατικών
  - *κυτταρίνη, ημικυτταρίνη*
  - *λιγνίνη*
- Προϊόντα αποικοδόμησης
  - *παρεμποδιστές υδρόλυσης*
  - *παρεμποδιστές ζύμωσης*

Φυσικές ιδιότητες υποστρώματος
- κρυσταλλικότητα
- βαθμός πολυμερισμού (DP)
- προσβασιμότητα
  - *"εξωτερική επιφάνεια"*
  - *"εσωτερική επιφάνεια"*

Ταχύτητα και Έκταση Ενζυμικής Υδρόλυσης

Κόστος βιοαιθανόλης



Κόστος βιοαιθανόλης (€ / λίτρο) ισοδύναμο της βενζίνης

Ανάλυση συντελεστών κόστους παραγωγής βιοαιθανόλης

	Βιοαιθανόλη 1ης γενεάς			Βιοαιθανόλη 2ης γενεάς	
	Καλαμπόκι	Ζαχαρότευτλα	Ζαχαροκάλαμο	Κυτταρινούχα	Στερεά αστικά απόβλητα
Κόστος βιομάζας (δολάρια/τόνο)	160	50	20	55	-20
Απόδοση βιοαιθανόλης (λίτρα / τόνο)	378,5	100,30	75,7	378,5	302,8
Υποπροϊόν (μέσος όρος, %)	0,3	0,83	0,8	0,2	0
Υποπροϊόν (μέσος όρος αξίας, %)	160	20	20	20	0
Λειτουργικά έξοδα (δολάρια / λίτρο)	1,89	1,89	1,89	3,79	3,79
Έξοδα κεφαλαίου (δολάρια / λίτρο - 15 χρόνια)	0,64	0,64	1,29	2,08	2,08
Χρόνος εξόδου στην αγορά (χρόνια)	2	2	2	3	3
Κόστος (δολάρια / λίτρο)	0,60	0,68	0,49	0,55	0,34
Επιδότηση (δολάρια / λίτρο)	0,12	0,12	-	0,27	0,27
Χονδρική τιμή βιοκαυσίμου (δολάρια / λίτρο)	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62
Περιθώρια (δολάρια / λίτρο)	0,14	0,06	0,13	0,33	0,54
Δυναμικότητα εργοστασίου (εκατομμύρια λίτρα)	100	100	100	40	40

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

1. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΜΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

Υδρόλυση / ζύμωση / διαχωρισμός προϊόντος

2. ΜΕΙΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΣΕ ΟΛΑ ΤΑ ΣΤΑΔΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Καλλιέργεια / συλλογή βιομάζας & μεταφορά / προκατεργασίες / ζύμωση / απόσταξη

3. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ ΒΙΟΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΟ

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

- ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΛΗΡΩΝ
- ΓΕΩΡΓΙΑ ΜΕ ΣΥΜΒΟΛΑΙΑ
- ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ

- ΕΠΙΛΟΓΗ ΧΩΡΟΥ
- ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΒΙΟΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ / ΥΠΟΔΟΜΕΣ

- ΝΟΜΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ
- ΠΟΙΟΤΗΤΑ
- ΔΙΑΝΟΜΗ

Ευχαριστώ