



# Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων & Διατροφής

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

## Διαχείριση και Αξιοποίηση Αγροτικών Υποπροϊόντων & Αποβλήτων

Ενότητα 3<sup>η</sup>: Βιοδιύλιση – Βασικές Αρχές



**Δημήτρης Π. Μακρής PhD DIC**  
Αναπληρωτής Καθηγητής

[dimitrismakris@uth.gr](mailto:dimitrismakris@uth.gr)

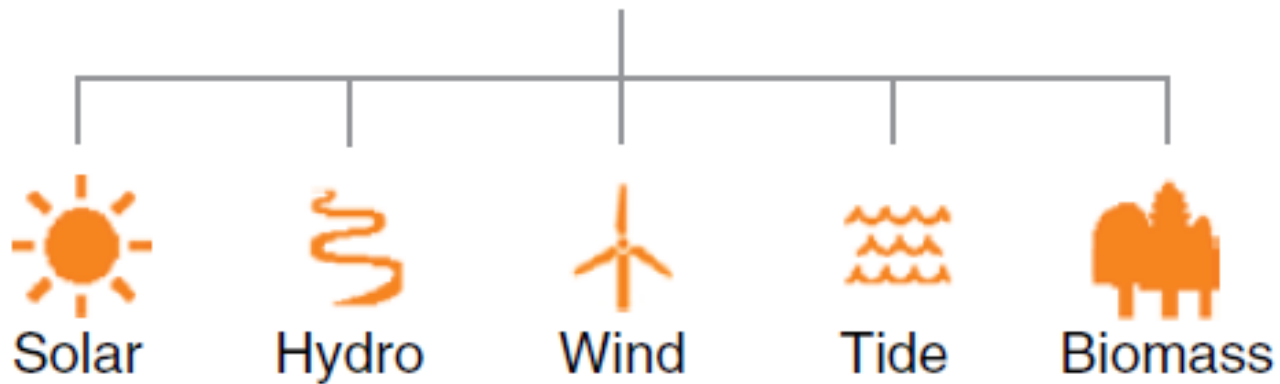
## 1. Ανανεώσιμοι πόροι - Φύση και διαθεσιμότητα

Υπάρχει επικείμενη ανάγκη εναλλακτικών οδών παραγωγής χημικών ουσιών, ενέργειας και υλικών, καθώς και παραγωγής τροφίμων, ενώ ταυτόχρονα επιβάλλεται η προστασία του περιβάλλοντος. Σ' αυτό το πλαίσιο, θα πρέπει οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται να είναι ανανεώσιμες.

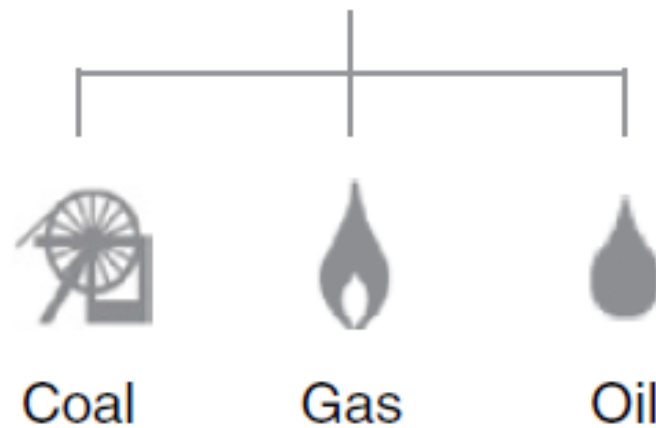
**Ένας ιδανικός ανανεώσιμος πόρος είναι αυτός που μπορεί ν' αναπληρωθεί σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα ή είναι ουσιαστικά απεριόριστος.** Πόροι όπως ο άνθρακας, το φυσικό αέριο ή το ακατέργαστο πετρέλαιο προέρχονται από το CO<sub>2</sub>, μέσω της φωτοσύνθεσης και διεργασιών που διήρκεσαν εκατομμύρια χρόνια.

Υπάρχουν περιορισμοί στον εφοδιασμό τους, δεν μπορούν ν' αναπληρωθούν και επομένως είναι μη-ανανεώσιμοι. Αντιθέτως, πόροι όπως η ηλιακή ενέργεια, η αιολική ενέργεια, τα κύματα και η βιομάζα μπορούν να θεωρηθούν ως ανανεώσιμοι πόροι, οι οποίοι, αν υπάρξει κατάλληλη διαχείριση, δεν κινδυνεύουν από υπερεκμετάλλευση.

## Renewable



## Non-renewable



## 1. Ανανεώσιμοι πόροι - Φύση και διαθεσιμότητα

Εντούτοις, είναι πολύ σημαντικό να διευκρινιστεί ότι, ενώ οι πρώτοι τρεις πόροι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί όχι μόνο για την παραγωγή ενέργειας, αλλά και χημικών ουσιών και υλικών.

**Εξ' ορισμού, η βιομάζα αντιστοιχεί σε οποιαδήποτε οργανική ύλη που ανανεώνεται.** Οι δύο κύριοι τύποι βιομάζας είναι το ξύλο και οι καλλιέργειες. Μια άλλη μορφή βιομάζας είναι τα οργανικά απόβλητα (τρόφιμα, κοπριά). Αυτοί οι πόροι θεωρούνται γενικά ανανεώσιμοι, επειδή μπορούν συνεχώς ν' αναγεννιούνται.

Τα απόβλητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή ενέργειας (π.χ. βιοντίζελ), υλικών (π.χ. πολυγαλακτικά) και χημικών (π.χ. πολυόλες), αλλά τα λιγνινοκυτταρινούχα υπολείμματα (ξύλο, άχυρο) αποτελούν καλύτερη ευκαιρία για παραγωγή ενέργειας απ' ότι οι καλλιέργειες (αποφυγή ανταγωνισμού με τον τομέα των τροφίμων, μη-αναγκαιότητα γης, λιπασμάτων).

## 2. Τα τρία επίπεδα χρήσης της βιομάζας

Η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε τρία διαφορετικά επίπεδα:

1. Για τροφή και ζωοτροφές
2. Για προϊόντα βιολογικής προέλευσης (bio-based products)
3. Για βιοενέργεια

Η τροφή και οι ζωοτροφές αναπόφευκτα προέρχονται από βιομάζα. Πολλά υλικά και προϊόντα όμως προέρχονται από ορυκτούς πόρους ή/και βιομάζα. Για την αποφυγή χρήσης ορυκτών πόρων, η βιομάζα είναι η μόνη εναλλακτική για την παραγωγή διάφορων υλικών.

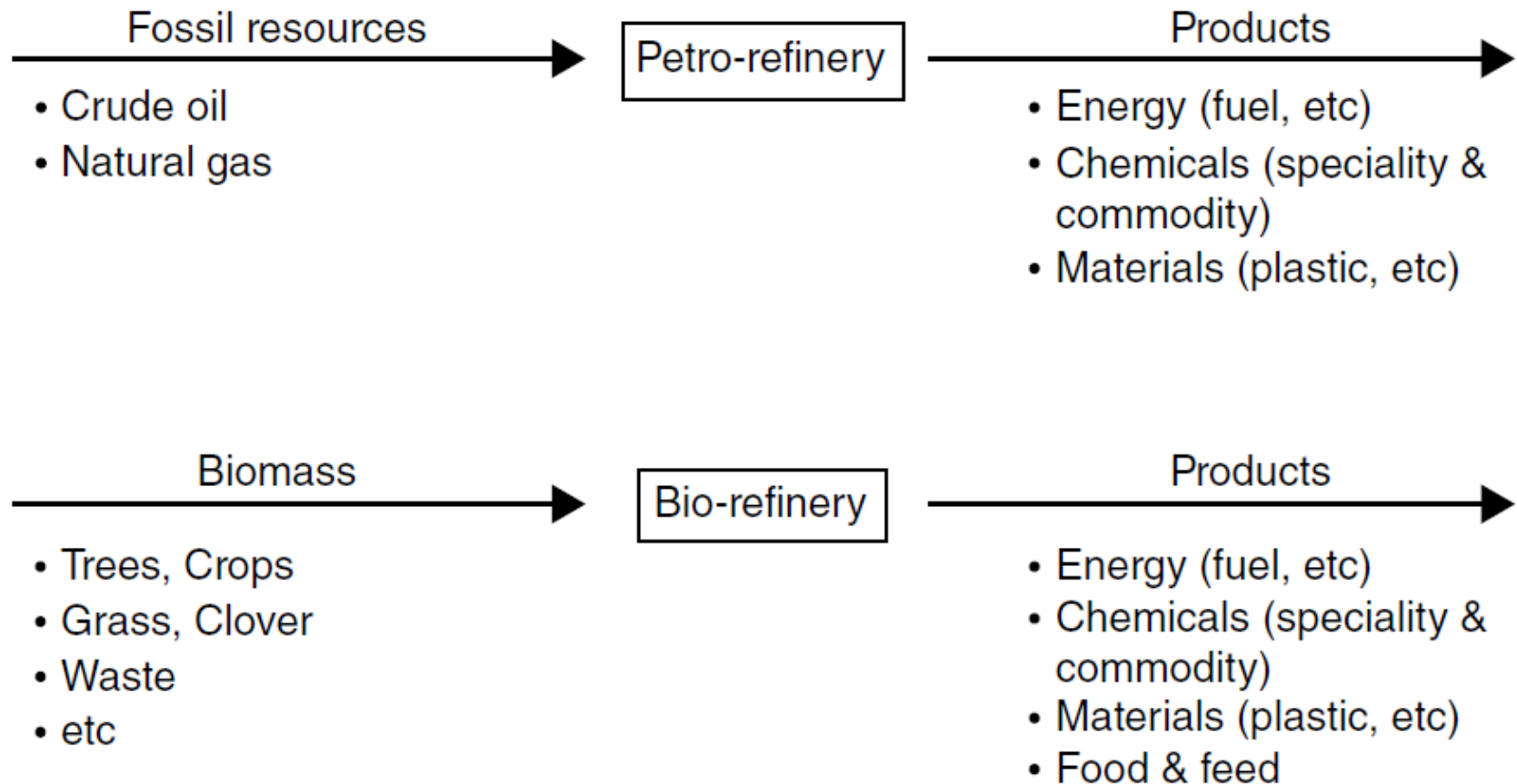
Η βιομάζα όμως δεν είναι απεριόριστη και δεν μπορούν να καλυφθούν πλήρως όλες οι ανάγκες στα επίπεδα που αναφέρθηκαν. Συνεπώς, η μέγιστη αξιοποίηση της βιομάζας είναι ύψιστης σημασίας και αυτό σημαίνει ότι κανένα είδος βιομάζας δεν θα πρέπει να θεωρείται απόβλητο.

### 3. Επιτυχής Βιοδιύλιση: Αειφορική χρήση Βιομάζας

Ο περιορισμός της χρήσης βιομάζας ως ανανεώσιμο πόρο έγκειται στο γεγονός ότι υπάρχει περιορισμός στην παραγωγή και τον εφοδιασμό και όχι στην ζήτηση.

Η προσέγγιση της βιοδιύλισης είναι μια πολλά υποσχόμενη ιδέα, η οποία μπορεί να συνδυάσει την παραγωγή τροφίμων, υλικών και ενέργειας από βιομάζα.

Με βάση τον ορισμό της Διεθνούς Ένωσης Ενέργειας, βιοδιύλιση είναι η αειφορική διαδικασία επεξεργασίας βιομάζας για την παραγωγή ενός φάσματος εμπορικών προϊόντων (τρόφιμα, ζωοτροφές, υλικά, χημικά) και ενέργειας (καύσιμα, ισχύς, θερμότητα).



### 3. Επιτυχής Βιοδιύλιση: Αειφορική χρήση Βιομάζας

Οι τεχνολογίες που βρίσκονται στον πυρήνα της βιοδιύλισης είναι βιοχημικές, μικροβιακές και θερμοχημικές διεργασίες. Οι βιοχημικές διεργασίες έχουν το πλεονέκτημα της υψηλής ευαισθησίας και χαμηλής θερμοκρασίας. Απαιτούν όμως πολύπλοκα στάδια προεπεξεργασίας και μεγάλους χρόνους επεξεργασίας.

Συμπληρωματικές θερμοχημικές οδοί συμπεριλαμβάνουν αεριοποίηση, πυρόλυση και απευθείας καύση για την παραγωγή ελαίων και αερίων. Αυτές οι μέθοδοι είναι ταχείες, αλλά δεν παρουσιάζουν εξειδίκευση και απαιτούν υψηλά ποσά ενέργειας.

Οι βιοχημικές/μικροβιακές και θερμοχημικές επεξεργασίες αλληλοσυμπληρώνονται και σ' ένα ολοκληρωμένο σύστημα μπορούν να παρουσιάσουν σημαντικά πλεονεκτήματα που αφορούν στην παραγωγή εξειδικευμένων προϊόντων, την ευελιξία και την αποδοτικότητα.



### 3. Επιτυχής Βιοδιύλιση: Αειφορική χρήση Βιομάζας

Η έννοια της βιοδιύλισης ενέκυψε ως μια ανάλογη διαδικασία της διύλισης του πετρελαίου. Εντούτοις, πολλές σύγχρονες προσπάθειες εστιάζονται σε μονόπλευρες τεχνολογίες και συγκεκριμένες πρώτες ύλες, όπως το άμυλο ή τα φυτικά έλαια, δημιουργώντας έτσι έναν ανταγωνισμό με την παραγωγή τροφίμων ή ζωοτροφών.

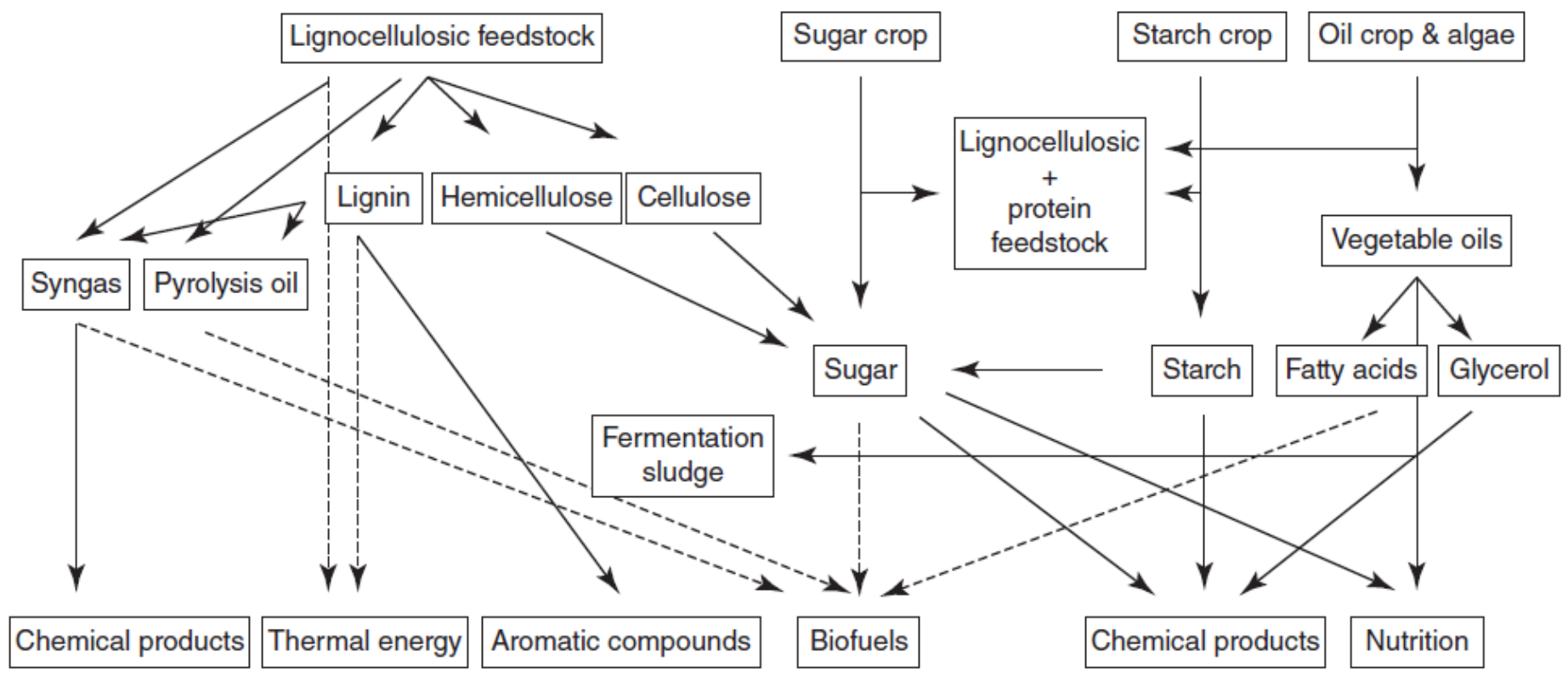
Υπάρχει η ανάγκη δημιουργίας ευέλικτων βιοδιωλιστηρίων μηδενικών ρύπων, τα οποία να μπορούν να δεχθούν ποικιλία πρώτων υλών χαμηλής αξίας. Αυτό θα καταστήσει τα βιοδιωλιστήρια ανταγωνιστικές βιομηχανίες. Επιπλέον, η ανάπτυξη πράσινων χημικών διεργασιών θ' αναπληρώσει το κενό μεταξύ των αειφορικών πόρων και των παραγόμενων προϊόντων.

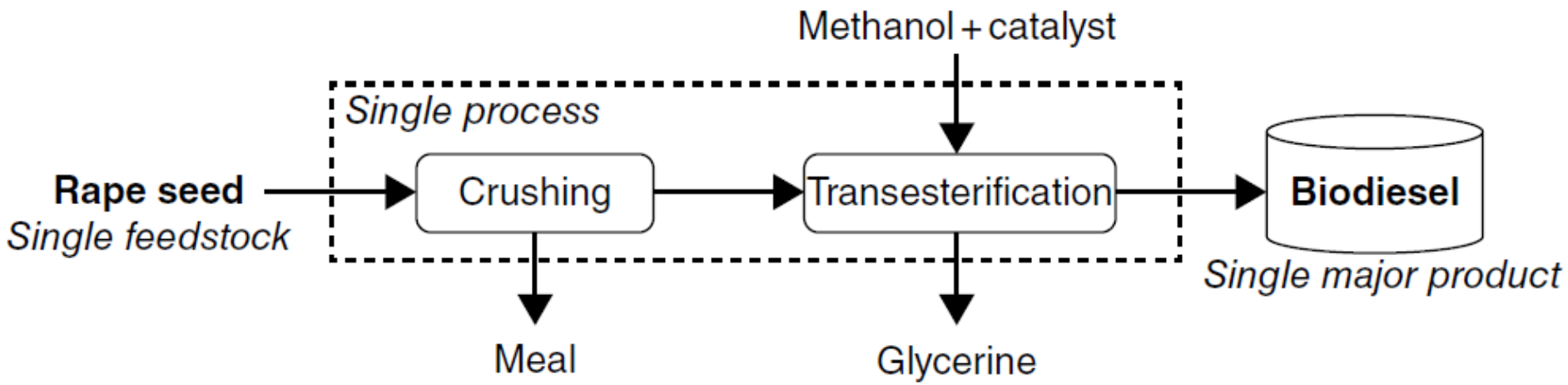
## 4. Κατάταξη των βιοδιυλιστηρίων

**Φάση I:** Είναι ενιαίες μονάδες που περιορίζονται σε μια πρώτη ύλη (π.χ. έλαια) και παράγουν ένα συγκεκριμένο προϊόν (π.χ. βιοντίζελ).

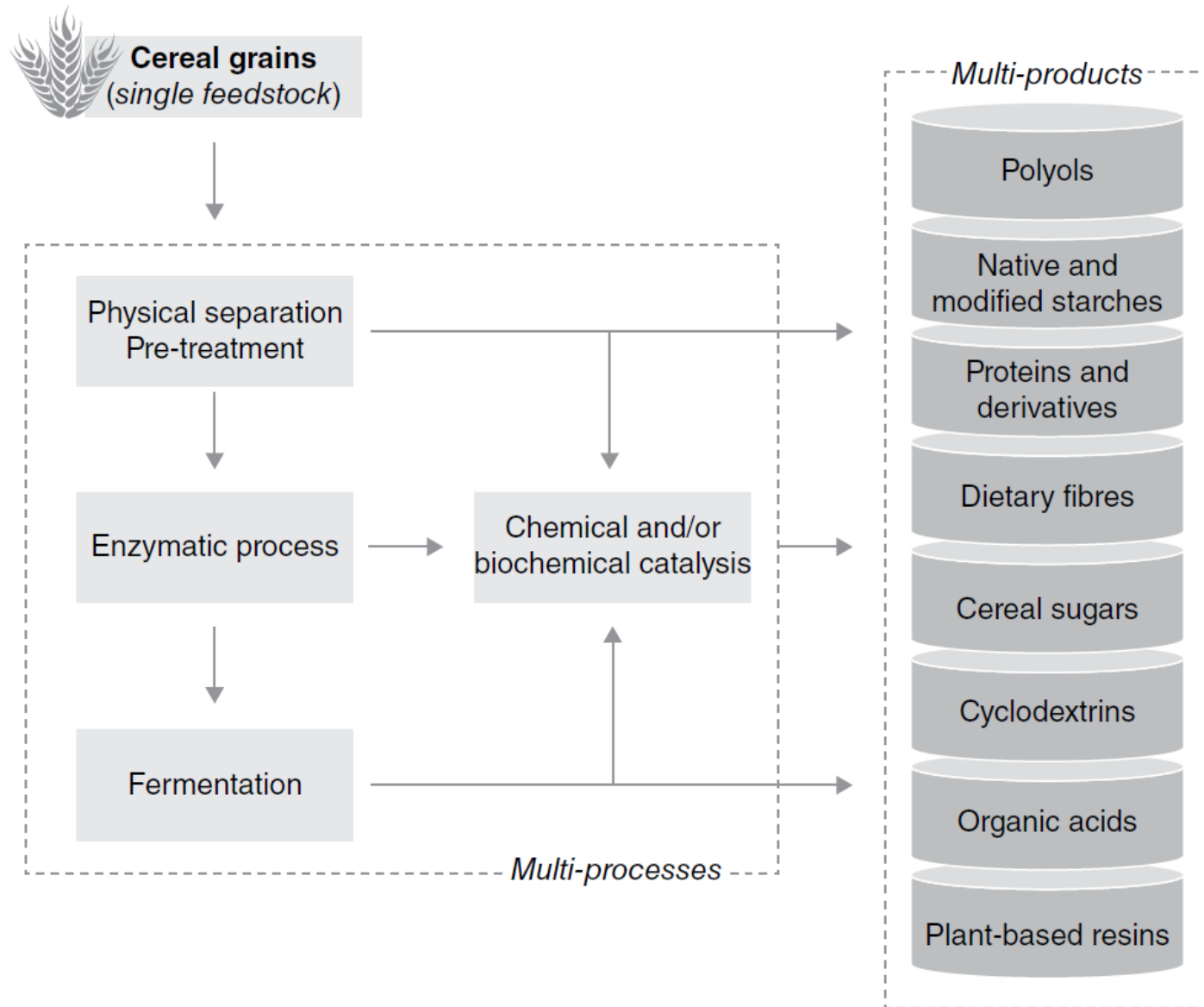
**Φάση II:** Είναι βιοδιυλιστήρια που παράγουν διάφορα τελικά προϊόντα από μια συγκεκριμένη πρώτη ύλη. Έτσι, μπορεί να υπάρχει μεγαλύτερη ευελιξία συναρτήσεως της ζήτησης, των τιμών κ.α. Ένα παράδειγμα είναι μια μονάδα που μπορεί να παράγει προϊόντα όπως η ζάχαρη και αιθανόλη, πρόδρομους πολυμερών ή ζωοτροφές, χρησιμοποιώντας ζαχαρότευτλα ως την μοναδική πρώτη ύλη.

**Φάση III:** Είναι τα πιο εξελιγμένα βιοδιυλιστήρια, καθώς χρησιμοποιούν μια ποικιλία βιομάζας για την παραγωγή διάφορων προϊόντων. Αυτά τα βιοδιυλιστήρια αναπτύσσουν ένα συνδυασμό τεχνολογιών, ανάμεσα στις οποίες είναι χημικοί ή/και βιολογικοί μετασχηματισμοί, εκχυλίσεις και διαχωρισμοί. Παράδειγμα βιοδιυλιστηρίου Φάσης III είναι η χρήση ενός υλικού (π.χ. αραβόσιτος) που περιλαμβάνει ένα φάσμα μετατροπών.

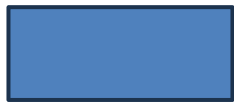
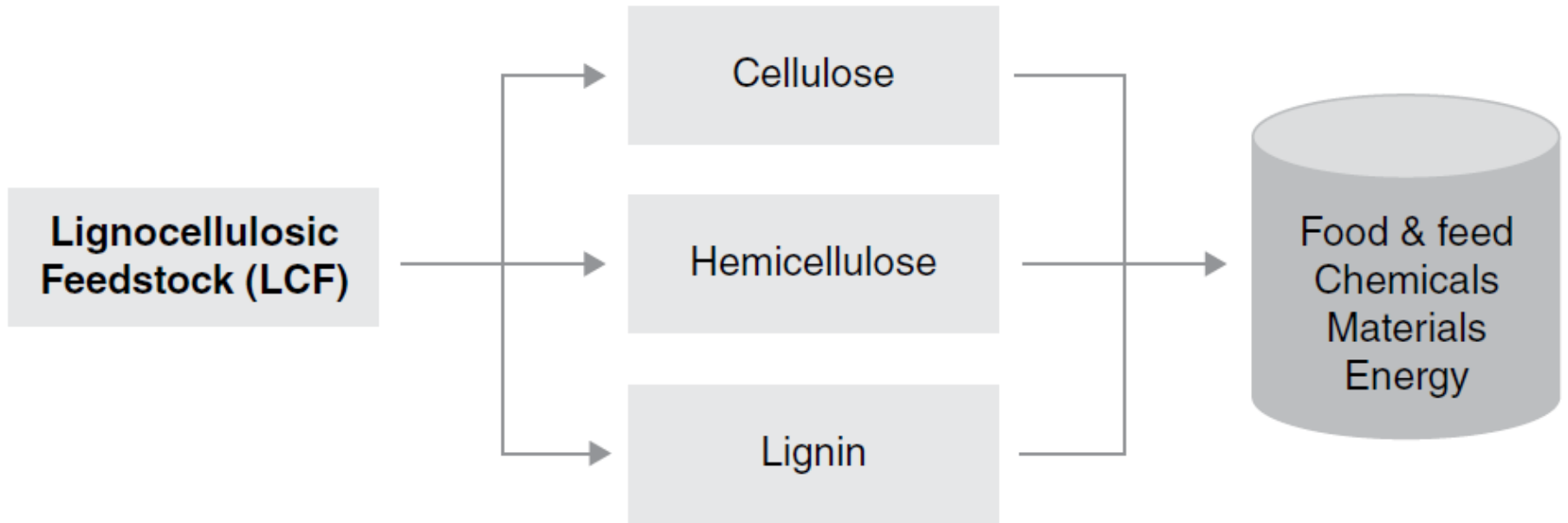




*The biodiesel process: an example of a phase I biorefinery.*



Roquette site in Lestrem, France: an example of a phase II biorefinery.



*Simplified diagram of a lignocellulosic feedstock biorefinery.*

## 4. Κατάταξη των βιοδιυλιστηρίων

Πολλά υποσχόμενα είναι τα βιοδιυλιστήρια που βασίζονται σε λιγνινοκυτταρινούχες πρώτες ύλες (π.χ. ξύλο, κότσαλο, φύλλα, βλαστοί αραβόσιτου) για την παραγωγή χημικών, καυσίμων, ενέργειας και άλλων προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας.

Αυτά τα βιοδιυλιστήρια (lignocellulosic biorefineries) μπορούν να κατηγοριοποιηθούν περαιτέρω σε διάφορες ενδιάμεσες έννοιες, με βάση την χρησιμοποιούμενη διεργασία. Αυτές συμπεριλαμβάνουν θερμοχημικά διυλιστήρια (π.χ. syngas platforms) ή βιοχημικά/μικροβιολογικά διυλιστήρια (π.χ. sugar platforms)

Μακροπρόθεσμα, αιφορικότητα επιτυγχάνεται μόνο με τα βιοδιυλιστήρια Φάσης III. Αυτά τα βιοδιυλιστήρια αναμένεται να επεκτείνουν το εύρος και τον όγκο των εμπορικών βιοπροϊόντων και να βελτιώσουν τα οικονομικά των μονάδων βιοδιύλισης.

Επίσης, υπάρχει η προσδοκία ότι θα υπάρξει βελτίωση της χρήσης ενέργειας και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, καθώς και της ανταγωνιστικότητας για την παραγωγή βιοπροϊόντων. Εντούτοις, η ανάπτυξη τέτοιων ολοκληρωμένων βιοδιυλιστηρίων είναι ακόμα καθ' οδόν.

## 4. Κατάταξη των βιοδιυλιστηρίων

Μια πιο ακριβής και λεπτομερής κατάταξη των βιοδιυλιστηρίων βασίζεται σε τέσσερα κύρια χαρακτηριστικά: τις πλατφόρμες, τα προϊόντα, τις πρώτες ύλες και τις διεργασίες.

Οι **πλατφόρμες** ορίζονται ως ενδιάμεσα – κλειδιά μεταξύ των ακατέργαστων υλικών και των τελικών προϊόντων. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να συνδυαστούν διάφορες έννοιες βιοδιύλισης. Τυπικές πλατφόρμες είναι τα σάκχαρα, η λιγνίνη, το syngas (μίγμα  $H_2/CO$ ) ή τα έλαια πυρόλυσης.

Όσον αφορά στα **προϊόντα**, τα βιοδιυλιστήρια μπορούν ευρύτερα να ομαδοποιηθούν σε βιοδιυλιστήρια ενέργειας και προϊόντων. Ο κύριος σκοπός των βιοδιυλιστηρίων ενέργειας είναι η παραγωγή ενός ή περισσότερων φορέων ενέργειας (καύσιμα, ισχύς, θερμότητα) από βιομάζα.

Από την άλλη, τα βιοδιυλιστήρια προϊόντων είναι εστιασμένα στην δημιουργία ενός ή περισσότερων βιο-προϊόντων.



## 4. Κατάταξη των βιοδυλιστηρίων

Τα βιοδυλιστήρια μπορούν επιπλέον να κατηγοριοποιηθούν με βάση τις **πρώτες ύλες**. Για παράδειγμα, η πρώτη ύλη μπορεί να υποδιαιρεθεί στις κύριες κατηγορίες σύμφωνα με την προέλευση (γεωργία, δάση, οικιακή).

Οι **διεργασίες** που χρησιμοποιούνται στις έννοιες βιοδιύλισης για την μετατροπή της βιομάζας σε εμπορικά προϊόντα περιλαμβάνουν βιοχημικές (π.χ. αναερόβια χώνευση, μικροβιακή ζύμωση, ενζυμική μετατροπή), χημικές (π.χ. υδρόλυση, μετεστεροποίηση, υδρογόνωση, οξείδωση) και θερμοχημικές ( πυρόλυση, αεριοποίηση) διεργασίες.

## Βιβλιογραφία

Clark J., Deswarte F., **2015**. The biorefinery concept: an integrated approach. In “*Introduction to Chemicals from Biomass*”, Clark J. and Deswarte F. eds., West Sussex, U.K.

Sauer M., Steiger M., Mattanovich D., Marx H., **2014**. Biorefineries - Concepts for sustainability. In “*Bioprocessing Of Renewable Resources To Commodity Bioproducts*”, Bisaria V.S. and Kondo A. eds., John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.