



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

*Βιωσιμότητα και βιομηχανία:  
Αξιολόγηση με προοπτικές για το περιβάλλον  
και την κοινωνία. Δυναμική και προκλήσεις*

*Καθ. Α. Κοκόσης, CEng, FIChemE, FRSA, FIET  
& Leverhulme Visiting Professor at Imperial College, London*

*Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ*

*ΤΕΕ, 23 Νοε. 2023*

# Ιστορική αναδρομή (I)



## 1972 Παγκόσμια μέρα Περιβάλλοντος

Συνδιάσκεψη ΟΗΕ, Στοκχόλμη

- Διακήρυξη 26 αρχών
- Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον (United Nations Environmental Programme, UNEP) - Θεσμικό όργανο (υπό την αιγίδα του ΟΗΕ) υλοποίησης σχεδίου δράσης 106 συστάσεων
- Δημιουργία Ταμείου για το Περιβάλλον με τις εισφορές κρατών

## 1987 Brundtland Report

Παγκόσμια Επιτροπή Περιβάλλοντος & Ανάπτυξης (World Commission on Environment and Development, WCED)

- Στήριξη στην βιώσιμη ανάπτυξη
- Αναβάθμιση των ποιοτικών όρων της ανάπτυξης
- Διασύνδεση ανάπτυξης με κοινωνικές ανάγκες (εργασία, τροφή, ενέργεια, νερό, υγεία)
- Έλεγχος πληθυσμιακών εκρήξεων
- Επαναπροσδιορισμός προτεραιοτήτων τεχνολογίας, διαχείριση κινδύνου
- Σύνδεση αποφάσεων με όρους που εμπεριέχουν οικονομικά και περιβαλλοντικά κριτήρια



# Ιστορική αναδρομή (II)



## 1992 Συνάντηση Κορυφής στο Ρίο

Παγκόσμια Επιτροπή Περιβάλλοντος & Ανάπτυξης (World Commission on Environment and Development, WCED)

- Δήλωση του Ρίο (Rio Declaration on Earth Summit). 27 βασικές αρχές βιώσιμης ανάπτυξης
- Agenda 21
- Σύσταση αρμόδιας επιτροπής (Commission on Sustainable Development, CSD) με σκοπό την υλοποίηση στόχων που οδηγούν σε βιώσιμη ανάπτυξη
- Συμφωνία ανάπτυξης παράλληλων εθνικών προγραμμάτων
- Παρακολούθηση στόχων μέσα από μελλοντικές συναντήσεις

## 2001 Αειφορία και Χημική Μηχανική

World Chemical Engineering Council (WCEC)

- Δεσμεύσεις για χρήση και ανάπτυξη δεξιοτήτων του επαγγέλματος που να στηρίζουν βελτίωση ποιότητας ζωής
- Περιορισμός της ανεργίας
- Προώθηση καινοτόμων τεχνικών επιλογών που συνδυάζουν κοινωνικά, οικονομικά και περιβαλλοντικά κριτήρια
- Προστασία του περιβάλλοντος σε αειφορικούς όρους

20 Ινστιτούτα Χημικών Μηχανικών



# Δεσμεύσεις και στόχοι

---



## 2002 Συνάντηση Κορυφής στο Γιοχάνεσμπουργκ

Παγκόσμια Επιτροπή Περιβάλλοντος & Ανάπτυξης (World Commission on Environment and Development, WCED)

### Δεσμεύσεις

- Μείωση, κατά το ήμισυ, του πληθυσμού που βρίσκεται κάτω από τα όρια της φτώχειας
- Σύσταση & στήριξη 10-ετών προγραμμάτων αειφόρου ανάπτυξης
- Διαφοροποίηση ενεργειακών πηγών, στήριξη των ΑΠΕ, ενίσχυση του ποσοστού συμμετοχής τους στη ενέργεια που καταναλώνεται
- Ενίσχυση περιβαλλοντικά φιλικών τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας, ανάπτυξη εναλλακτικών αλλά βιώσιμων παροχών ενέργειας
- Ενίσχυση και ανάπτυξη ολοκληρωμένων δικτύων χρήσης και διαχείρισης νερού, μείωση κατανάλωσης νερού
- Περιορισμός της ραγδαίας υποβάθμισης στη βιοποικιλότητα

# Το επόμενο βήμα

---



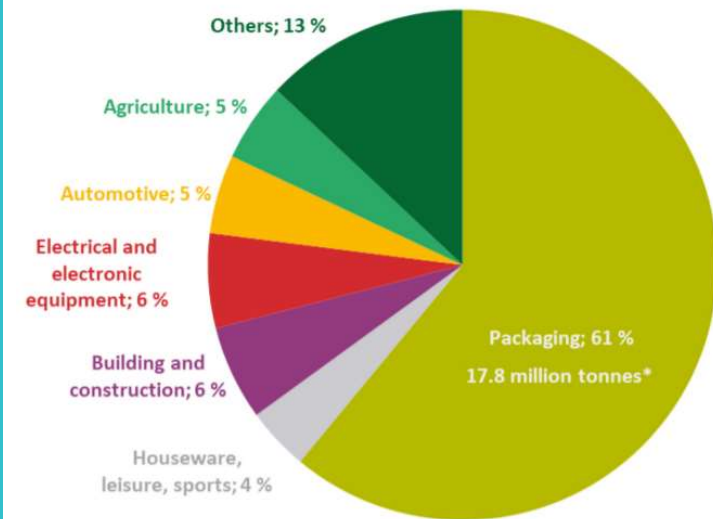
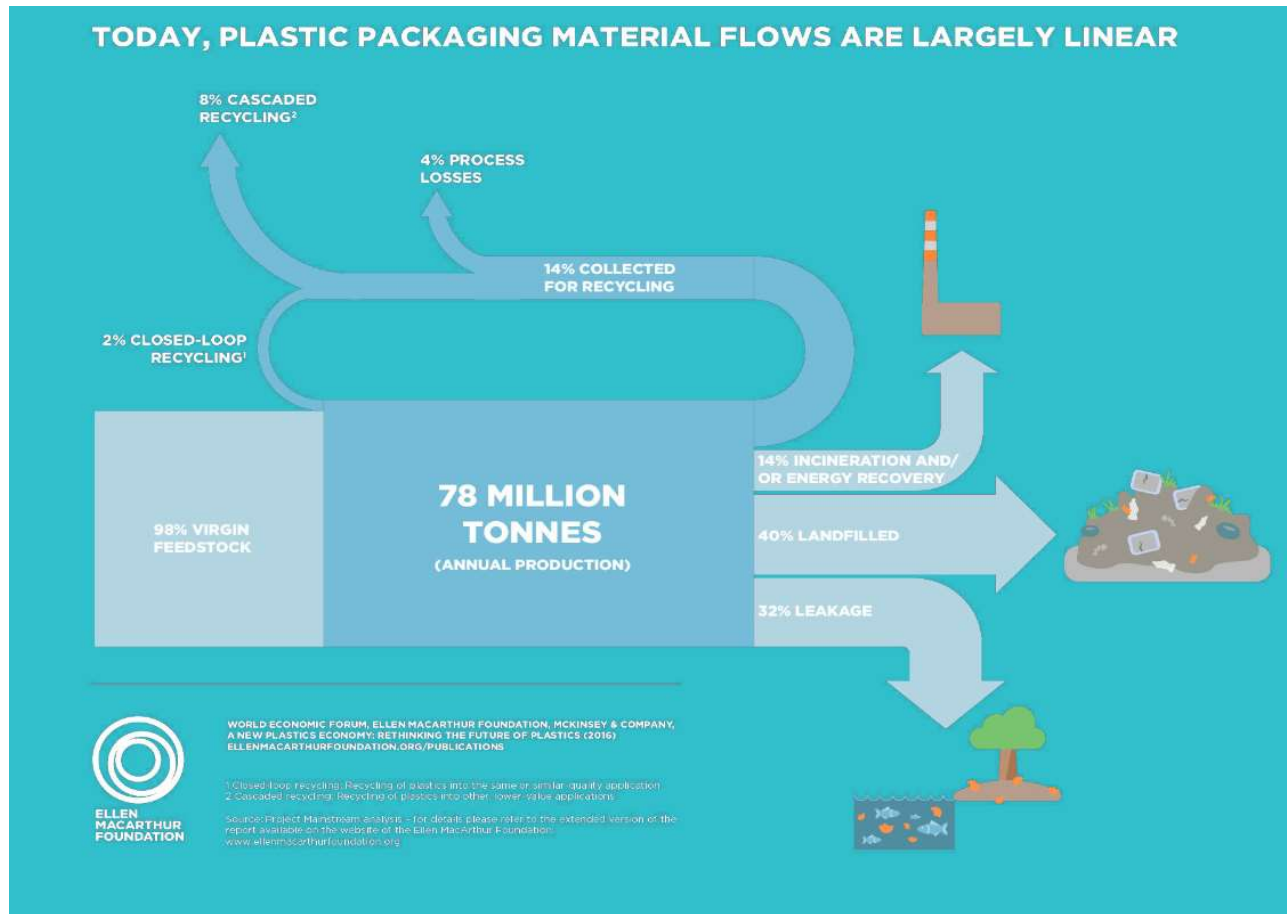
## 2002 Συνάντηση Κορυφής στο Γιοχάνεσμπουργκ

Παγκόσμια Επιτροπή Περιβάλλοντος & Ανάπτυξης (World Commission on Environment and Development, WCED)

- 183 χώρες με εθνική εκπροσώπηση
- Καταγραφή θετικών και αρνητικών αποτελεσμάτων
  - ΕΕ: Ανάπτυξη από 1990 χωρίς ανάλογη αύξηση καυσίμων
  - Σταδιακή μείωση αποβλήτων και κατοίκων
- Αναβάθμιση της Επιτροπής σε Συμβούλιο με τη Σύσταση Διεθνούς Συμβουλίου για την Αειφόρο Ανάπτυξη (UNCSD, UN Council of Sustainable Development)
- Παρόμοιο Συμβούλιο για Εταιρικά Σχήματα (WBCSD, World Business Council for Sustainable Development)
  - 200 Πολυεθνικές εταιρείες
- 83 χώρες συμφώνησαν σε παράλληλη διάχυση μέσα από εθνικά προγράμματα (π.χ. UK: DETR, DEFRA)

**Ανάπτυξη εξειδικευμένων δεικτών Αειφορίας (*IChemE indicators*)**

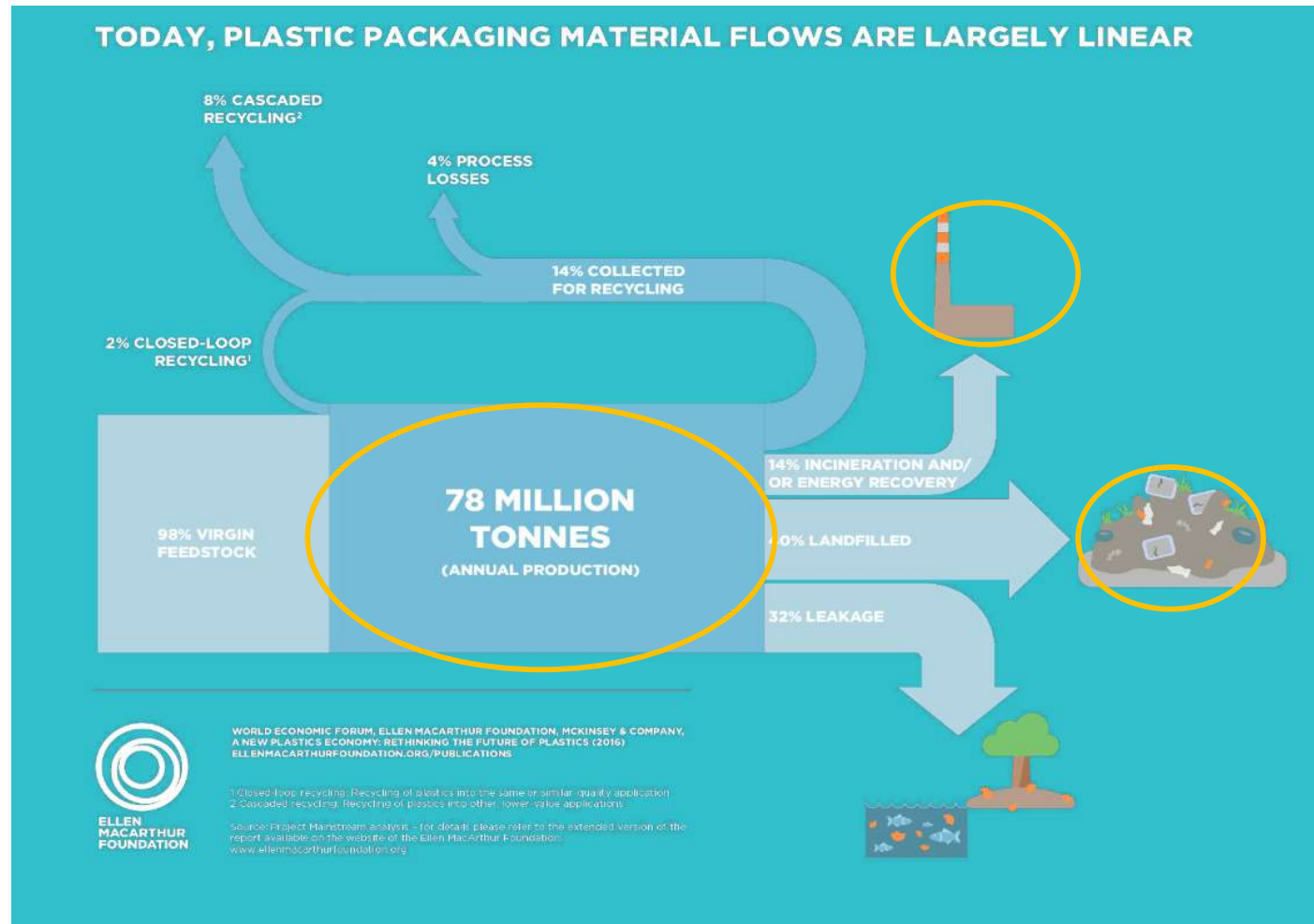
# Η προσέγγιση της βιομηχανικής δραστηριότητας στο χρόνο – βιομηχανία πλαστικών



- Βιομηχανία βασίζεται κυρίως σε πρωτογενείς πρώτες ύλες
- Ελάχιστο ποσοστό ανακύκλωσης (σχεδόν μηδενικό)
- Τα πλειστικά καταλήγουν σαν ανεξέλεγκτα απόβλητα, σε χωματερές ή σε καύση

# Απο τη περιβαλλοντική διαχείριση στη βιωσιμότητα – παραγωγή πλαστικών

1972

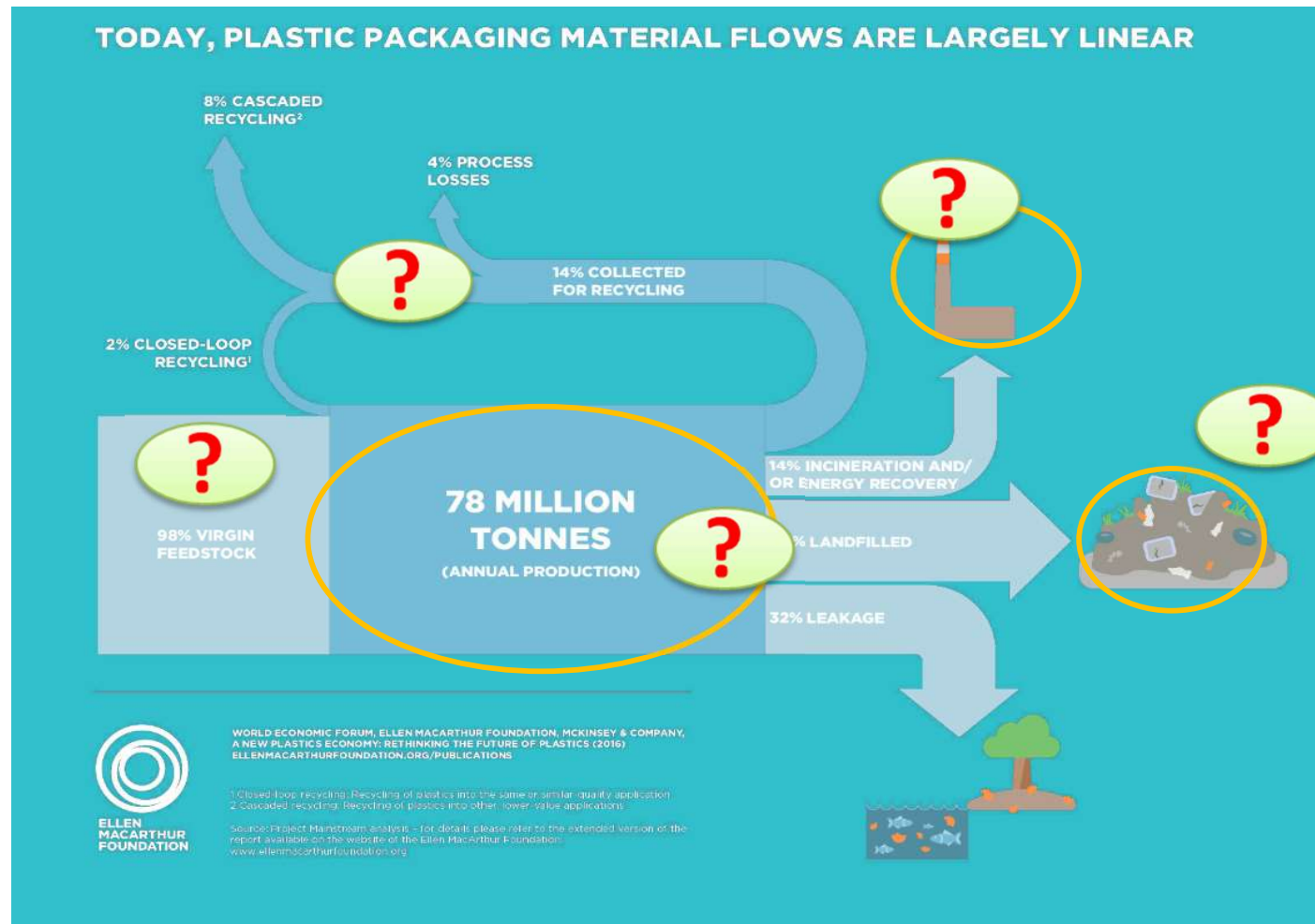


- Καλύτερη χρήση ενέργειας, λιγότερα απόβλητα
- Καλύτερη, αποδοτικότερη συλλογή σε ελεγχόμενες μονάδες επεξεργασίας

# Απο τη περιβαλλοντική διαχείριση στη βιωσιμότητα – παραγωγή πλαστικών



1992

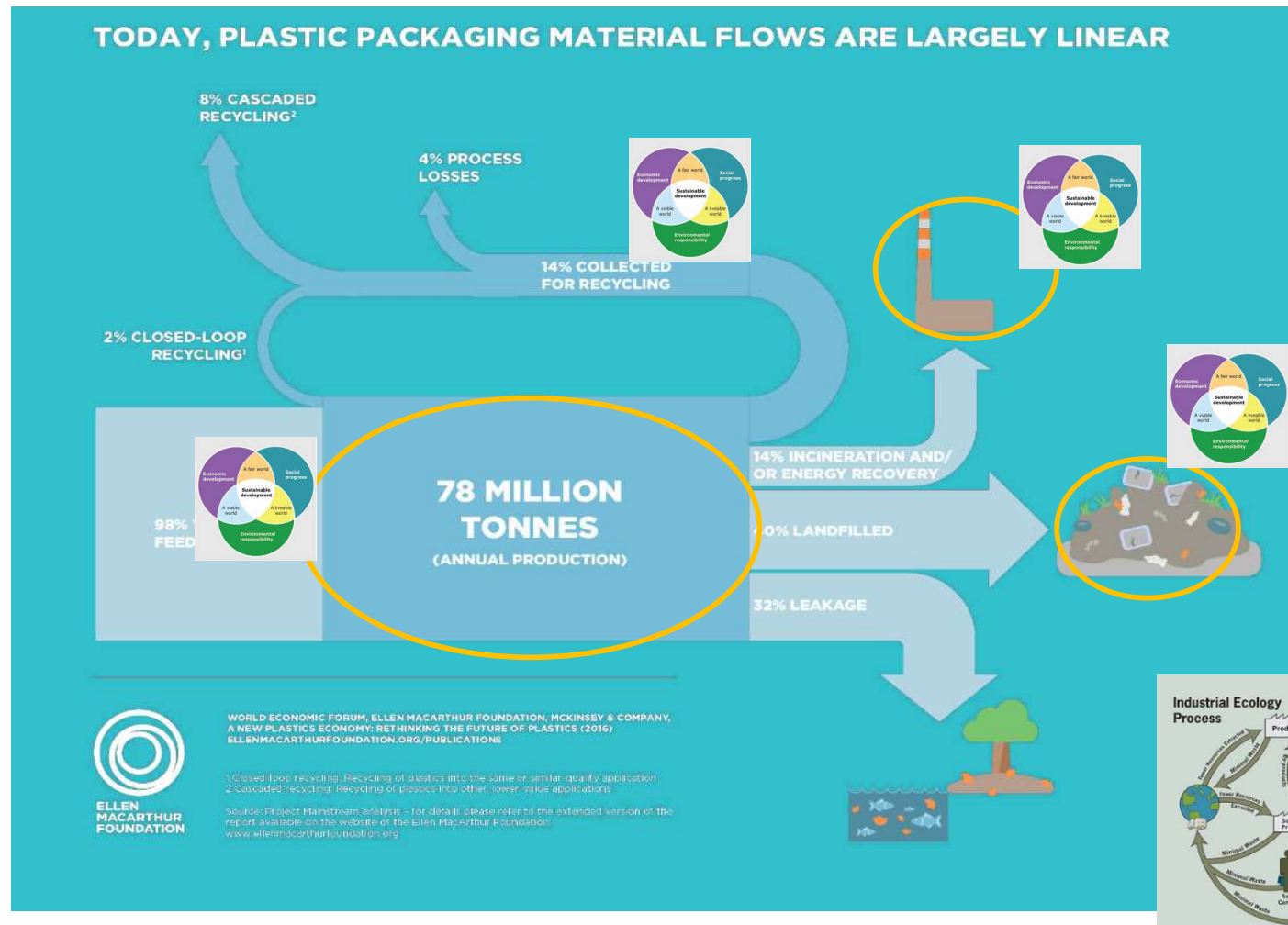


- Εξάντληση πόρων – πως αναπληρώνονται;
- Απόθεση προϊόντων – πως ανακυκλώνονται σαν πρώτες ύλες;
- Προσαρμογή στην παραγωγή προϊόντων με δυνατότητες ανάκτησης των πρώτων υλών;

# Απο τη περιβαλλοντική διαχείριση στη βιωσιμότητα – παραγωγή πλαστικών



2002



- Ποσοτικοποίηση παραγωγικών δράσεων έξω από πλαίσιο της παραγωγής
- Καταγραφή επιδόσεων μέσα από ένα συμφωνημένο πλαίσιο
- Αναζήτηση τρόπων αξιολόγησης κοινωνικών αποτυπωμάτων

# Δείκτες & μετρήσεις αειφορίας

---

# Ανάγκη μετρήσεων και δείκτες CSD

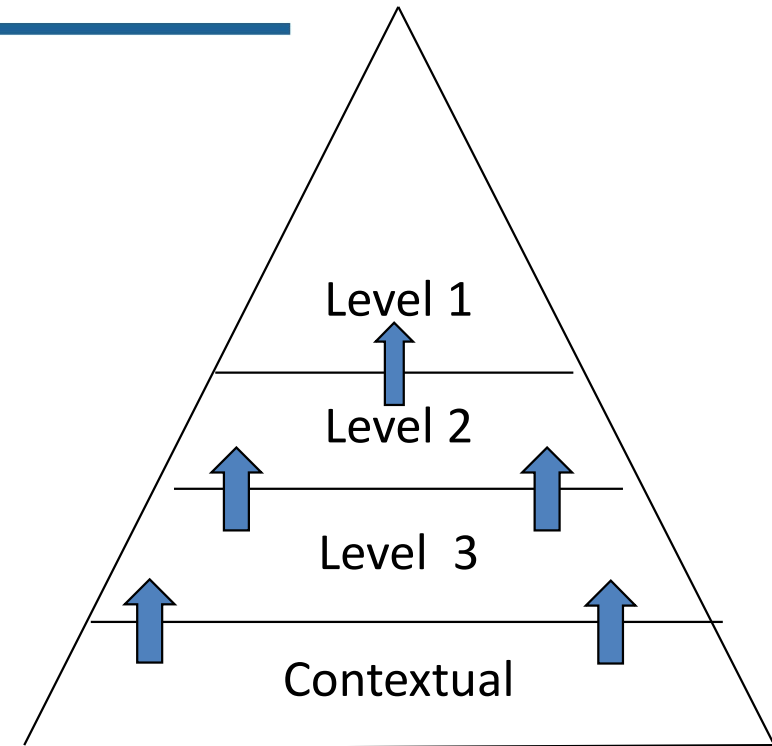
---

- 1992** Ίδρυση Επιτροπής Βιώσιμης Ανάπτυξης (UN Commission on Sustainable Development - CSD)  
Δείκτες UN CSD
- 1996** Πρώτη κατηγοριοποίηση δεικτών
- 4 κατηγορίες ('pillars') κομβικών δεικτών
  - 134 επιμέρους (οικονομικοί, κοινωνικοί, εταιρικοί)
- 2007** Δεύτερη κατηγοριοποίηση που καταργεί τη διαφοροποίηση σε οικονομικούς, κοινωνικούς κλπ. και εισάγει 14 θεματικές ενότητες
- Οικονομική ανάπτυξη, καταναλωτικά και παραγωγικά πρότυπα (π.χ χρήση μεταφορικών μέσων, ΑΠΕ)
  - Φτώχεια, εκπαίδευση, υγεία, δημογραφία
  - Επιπτώσεις στο περιβάλλον, ατμοσφαιρική ρύπανση, χρήση γης, βιοποικιλότητα, πηγές και χρήση νερού

# Ευρωπαϊκή Ένωση - Δείκτες SDS

## 2001, 2006 Sustainable Development Strategy (SDS)

- ❑ Κύριες προκλήσεις
  - κλιματική αλλαγή & καθαρή ενέργεια
  - βιώσιμες μεταφορές
  - βιώσιμη κατανάλωση & παραγωγή
  - συντήρηση & διαχείριση φυσικών πόρων
  - δημόσια υγεία
  - κοινωνική μέριμνα, δημογραφία, μετανάστευση
  - φτώχεια
- ❑ 10 Θεματικές ενότητες
- ❑ Διαστρωμάτωση των δεικτών σε 4 επίπεδα
  - Επίπεδο 1- Συγκεντρωτικοί (L1, headline)
  - Επίπεδο 2 - Θεματικοί (L2, για κάθε θεματική ενότητα)
  - Επίπεδο 3 - Ειδικοί (L3)
  - Επίπεδο 4 - Πρωτογενείς (Contextual indicators)



# Εθνικοί Δείκτες

---

**CSD: ενθαρρύνει την ανάπτυξη εθνικών δράσεων καθώς η κάθε χώρα αντιμετωπίζει ξεχωριστά προβλήματα**

Παράδειγμα: Μεγάλη Βρετανία (Department of Environment, Food and Rural Affairs, Defra).

**2005.** Πρόγραμμα: *Securing the future, UK Government Sustainable Development Strategy*

- 68 εθνικοί δείκτες (*UK Sustainable Development Indicators*)
- 4 άξονες προτεραιότητας
  - Βιώσιμη κατανάλωση και παραγωγή
  - Κλιματική αλλαγή και ενέργεια
  - Φυσικοί πόροι και περιβάλλον
  - Βιώσιμες κοινωνίες
- 20 Συγκεντρωτικοί δείκτες (*framework indicators*)
  - πρωτογενείς δείκτες (οικονομική ανάπτυξη, παραγωγικότητα, περιβάλλον)
  - παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, κατανάλωση φυσικών πόρων
  - αέρια θερμοκηπίου, εκπομπές CO<sub>2</sub> & αέριες εκπομπές, χρήση γης, απόβλητα
  - κοινωνία, ανεργία/ απασχόληση, εκπαίδευση, υγεία, κινητικότητα, κοινωνική δικαιοσύνη, ευημερία

# Περιφερειακοί/Τοπικοί δείκτες

---

CSD: ενθαρρύνει την ανάπτυξη περιφερειακών δράσεων καθώς η κάθε περιοχή μιας χώρας αντιμετωπίζει ξεχωριστά προβλήματα

Σκοπός: καταγραφή τοπικών επιδόσεων, διαφοροποιήσεων, εξομάλυνση ανάπτυξης

Παράδειγμα: Μεγάλη Βρετανία, *The Audit Commission* (Defra).

**2005, 2010.** Πρόγραμμα: *Quality of Life in London*

- 61 Δείκτες που συμπληρώνουν τους Εθνικούς (UK Government SDS)
- 8 θεματικές ενότητες
  - Ευημερία πολιτών, στέγαση
  - Συμμετοχή στα κοινά
  - Καταναγκασμοί
  - Μετακινήσεις, μεταφορές
  - Ασφάλεια
  - Εγκληματικότητα
  - Πρόσβαση σε κέντρα υγείας, νοσοκομεία
  - Τέχνες και πολιτισμός

# Εταιρικοί δείκτες βιωσιμότητας (Corporate sustainability)

---

## 2002 World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)

*Οικολογική απόδοση σημαίνει μεγαλύτερη παραγωγή με λιγότερους πόρους, λιγότερα απόβλητα και περισσότερα κοινωνικά οφέλη.*

### 7 βασικά κριτήρια

- Ποιότητα υπηρεσιών
- Διάρκεια/ αντοχή προϊόντων
- ένταση χρήση πρώτων υλών και ενέργειας
- Ανακυκλωσιμότητα προϊόντων
- Βιώσιμη χρήση ΑΠΕ
- Περιβαλλοντική συμπεριφορά, τοξικότητα

### Ενδεικτικοί δείκτες

- Αξία προϊόντων, υπηρεσιών, ποσότητα προϊόντων, πωλήσεις
- Περιβαλλοντικοί: ενέργεια, εκπομπές θερμότητας

*Καμία αναφορά σε κοινωνικά κριτήρια ή σε Ανάλυση Κύκλου Ζωής*

# Παγκόσμια Πρωτοβουλία Εταιρικών Εκθέσεων ( Global Reporting Initiative, GRI)

2006, 2010 CERES (Coalition for Environmentally Responsible Economies)  
ΜΚΟ που ιδρύθηκε στις ΗΠΑ (1997)

- KPMG (2008): 70% των μεγαλύτερων εταιρειών (σε μέγεθος) κάνουν χρήση GRI
- 6 Βασικές κατηγορίες δεικτών με ιδιαίτερη έμφαση σε κοινωνικά κριτήρια
  - **Οικονομικοί δείκτες (ECi):** οικονομική απόδοση, παρουσία στην αγορά, έμμεση εμπλοκή (υποδομές, εθνική στρατηγική)
  - **Φυσικοί πόροι (ENi):** ποσότητα και είδος πρώτων υλών, κατανάλωση ενέργειας, χρήση ΑΠΕ, χρήση υδάτινων πόρων, βιοποικιλότητα
  - **Κοινωνικοί δείκτες (LAI):** αριθμός υπαλλήλων, αποδοχές/ δώρα/ παροχές σε υπαλλήλους, αριθμός και είδος ατυχημάτων
  - **Κοινωνικοί δείκτες (HRi):** αριθμός & ύψος επενδύσεων που αφορούν στη βελτίωση / ενημέρωση συνθηκών εργασίας, αριθμός προμηθευτών που αξιολογήθηκαν για την πολιτική της σε ανθρώπινα δικαιώματα
  - **Κοινωνικοί δείκτες (SOi):** διαφθορά, % υπαλλήλων που εκπαιδεύονται για τέτοια θέματα, μέτρα καταστολής ατυχημάτων, δωρεές & χορηγίες
  - **Κοινωνικοί δείκτες (PRi):** αριθμός σταδίων που αξιολογούνται με AK7, ατυχήματα, αριθμός προϊόντων που κατηγοριοποιούνται με ISO, ποσοστό & είδος επικοινωνίας με τον πελάτη, αριθμός παραπόνων, πρόστιμα
- Συνολικά: 79 Δείκτες: 47 κομβικά & 32 βοηθητικά

**Δεν υπάρχει ειδική αναφορά σε AKZ, προβλέπονται όμως όλοι οι επιμέρους δείκτες που απαιτούνται για τον υπολογισμό της.**

# Who cares wins (ESG)

- ESG –κριτήρια (περιβαλλοντικά, κοινωνικά, εταιρικά) που λειτουργούν σαν οδηγός επενδύσεων και σχετίζεται με την καταγραφή της ‘εταιρικής ευθύνης’ σε εταιρείες
- ESG data για Sustainable Development Goals (SDGs) από το 1980
- Έντονη δραστηριότητα απο το 2020 με πρωτόκολλα και επενδύσεις 20 δισ ευρώ να έχουν ήδη διοχετευθεί σε ESG-positive προϊόντα και υπηρεσίες
- ESG & greenwashing
- Η Ε.Ε. έχει εγκρίνει και προωθεί ESG standards επισημαίνοντας πάντα τη σημασία της συνολικής αποτίμησης της δραστηριότητας



# Δείκτες IChemE

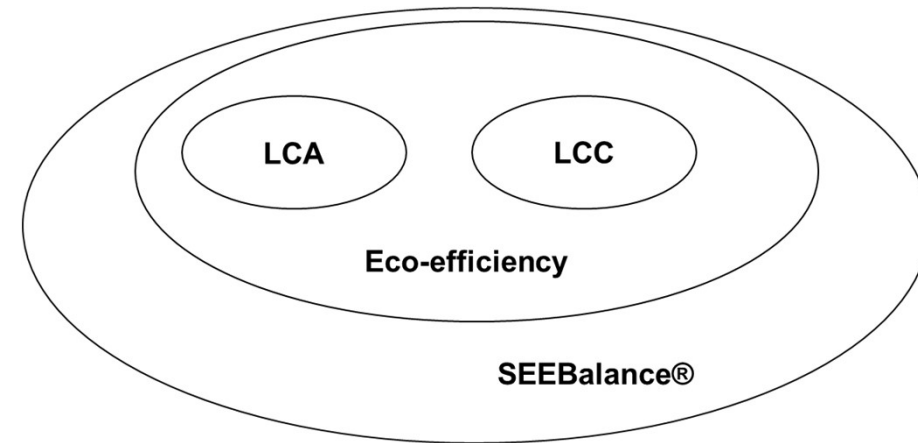
---

## 2002 IChemE, Institute of Chemical Engineering

- Έμφαση στην μονάδα παραγωγής, όχι σε όλη την αλυσίδα
  - οικονομική, περιβαλλοντική, κοινωνική διάσταση
- Οικονομικοί δείκτες
  - κερδοφορία: κέρδη, έσοδα, φόροι, πωλήσεις
  - επενδύσεις: CAPEX/OPEX, μισθοί, εισφορές εργαζομένων
- Περιβαλλοντικοί δείκτες
  - φυσικοί πόροι: ηλεκτρική ενέργεια, καύσιμα, νερό, πρώτες ύλες, % ανακυκλούμενης ύλης, πακετάρισμα
  - εκπομπές: αέρια θερμοκηπίου, εξάντληση όζοντος, φωτοχημικό νέφος, στερεά και υγρά απόβλητα
- Κοινωνικοί δείκτες
  - Εργασιακά : αριθμός εργαζομένων που απολύθηκε ή παραιτήθηκε, υγεία και ασφάλεια, αριθμός ατυχημάτων
  - Κοινωνικού χαρακτήρα: εμπλοκή κοινωνικών παραγόντων σε εταιρικές συναντήσεις, παιδική εργασία, αριθμός κηρύσεων κλπ.
- Ουσιαστικά αγνοεί την Ανάλυση Κύκλου Ζωής και επικεντρώνεται αποκλειστικά στον βιομηχανικό χώρο

## 2010 BASF, Χημική Βιομηχανία για λογαριασμό όλων των παραγωγικών μονάδων, όχι μόνο του χώρου της

- Περιλαμβάνει:
  - Ανάλυση Κύκλου Ζωής
  - Κόστος Κύκλου ζωής (life cycle costing)
  - Κοινωνικοί δείκτες
- 7 κατηγορίες κοινωνικών δεικτών
  - Συνθήκες εργασίας (ατυχήματα, μισθοί, αποζημιώσεις, επαγγελματική εκπαίδευση, απεργίες)
  - Διεθνείς διασυνδέσεις (παιδική εργασία, επενδύσεις στο εξωτερικό, εισαγωγές από τρίτες χώρες)
  - Μελλοντικές γενιές (αριθμός εκπαιδευομένων, κοινωνική, ασφάλεια, επενδύσεις σε R&D)
  - Καταναλωτής (τοξικότητα, λειτουργικότητα προϊόντων)
  - Τοπική, διεθνής κοινότητα (αριθμός απασχολούμενων, αναλογία φύλων, ποσοστό μερικής απασχόλησης, οικογενειακά επιδόματα, συμμετοχή αναπήρων στην απασχόληση)

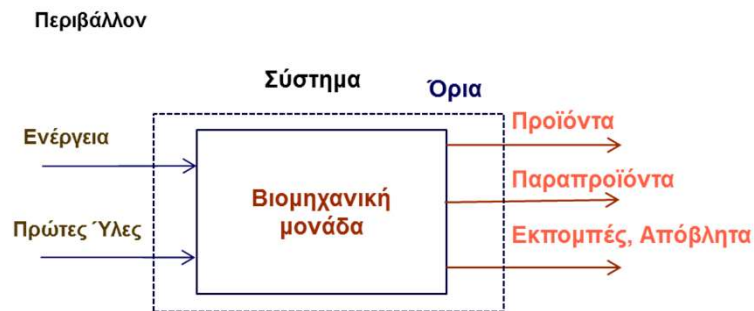


# Μεθοδολογία Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

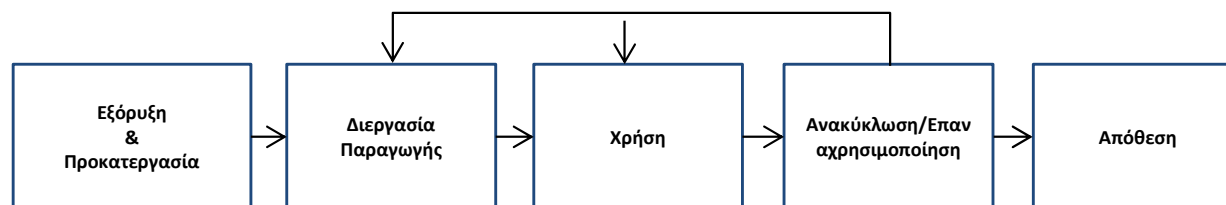
---

# Συστημική Προσέγγιση

## Συμβατικό σύστημα βιομηχανικής μονάδας



Σύστημα στα πλαίσια Ανάλυσης Κύκλου Ζωής



### Έμφαση

- Σωστή αξιοποίηση παραπροϊόντων
- Μείωση, επεξεργασία, αξιοποίηση αποβλήτων
- Εξοικονόμηση ενέργειας, προοπτικές συμπαραγωγής

### Έμφαση

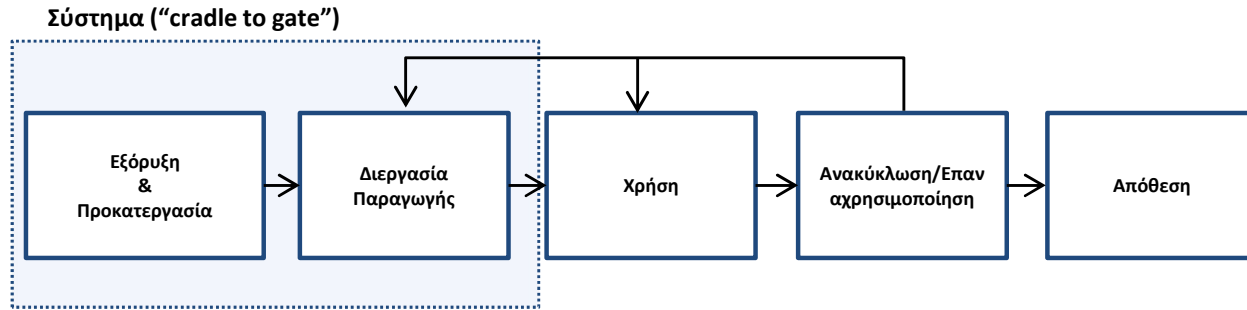
- Διεύρυνση του αρχικού συστήματος σε επίπεδο πολύ-συστημικής προσέγγισης
- Πρόσθετα συστήματα
  - Αρχή αλυσίδας (cradle)
  - Τέλος αλυσίδας (grave)

# Πλαίσιο Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

## Cradle-to-gate

Αφορά κυρίως

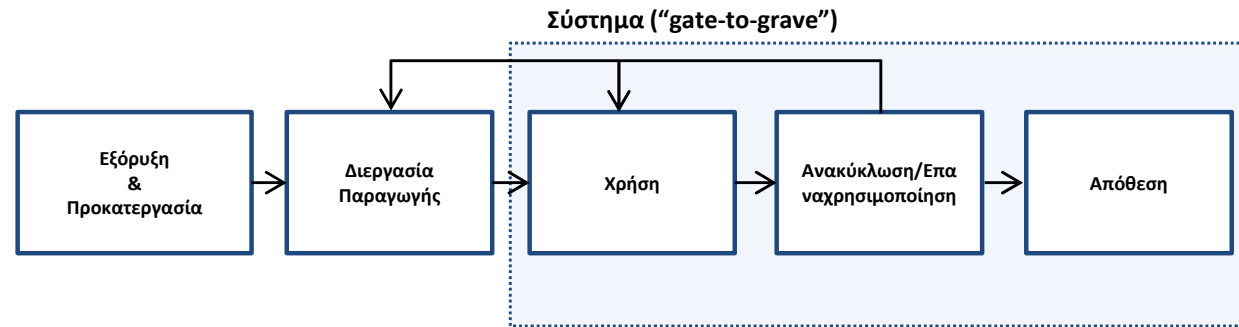
- Καινούργιες πρώτες ύλες και τεχνολογίες
- Γνωστά παραγόμενα προϊόντα για τα οποία το υπόλοιπο της αλυσίδας είναι γνωστό



## Gate-to-grave

Αφορά κυρίως

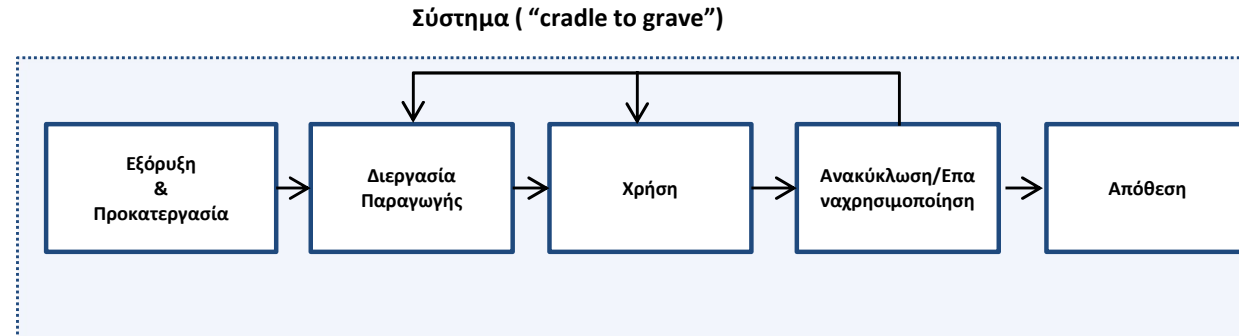
- Εναλλακτικά προϊόντα από τις ίδιες πρώτες ύλες
- Εναλλακτικές τεχνολογίες αξιοποίησης πρώτων υλών



## Cradle-to-grave

Αφορά κυρίως

- Ολιστική συστημική προσέγγιση καινούργιων τεχνολογιών
- Εκτίμηση καινοτόμων προϊόντων



# Μεθοδολογία ΑΚΖ

---

- Πρώτη χρήση από το 1970 (πυρηνική ενέργεια)
- Ουσιαστική παρουσία από τα μέσα το 1990
- Μέσα από διάφορες οδηγίες
  - Integrated Pollution Prevented & Control (IPPC)
  - End-of-life vehicles, 2000
  - Waste Electrical and Electronic Equipment, 2003
- Σε μορφή πρότυπου ISO, 2006
  - ISO/DIS 14040, Environmental Management-Life Cycle Assessment – Principles and Framework, ISO, Geneva
  - ISO/DIS 14044, Environmental Management-Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines, ISO, Geneva
  - ISO14025, Environmental Labels and Declarations-Type III Environmental Declarations— Principles and Procedures, ISO, Geneva

# Τα βασικά βήματα ISO

---

1. Καθορισμός προβλήματος και σκοπού
2. Υπολογισμός ισοζυγίων
3. Εκτίμηση επιπτώσεων
4. Ερμηνεία αποτελεσμάτων

# Η ΑΚΖ σύμφωνα με τα πρότυπα ISO

---

## 1. Στόχος και ορισμός προβλήματος (Goal and Scope Definition)

### □ Στόχος

- Λόγοι εκπόνησης της μελέτης
- Κοινό στο οποίο θα απευθύνεται

### □ Ορισμός

- Περιγραφή του συστήματος και πρώιμος καθορισμός ορίων
- Λειτουργία συστήματος και λειτουργική μονάδα
- Καταγραφή απαιτούμενων δεδομένων και ποιότητας δεδομένων
- Διαδικασίες κατανομής επιπτώσεων σε επιμέρους προϊόντα
- Παραδοχές και περιορισμοί
- Κριτική επισκόπηση

# Η ΑΚΖ σύμφωνα με τα πρότυπα ISO

---

## 2. Συστημικές ροές και ισοζύγια

- ❑ Αναλυτικά διαγράμματα ροής
- ❑ Συλλογή δεδομένων
- ❑ Υπολογισμός της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης από τις διεργασίες
- ❑ Επικύρωση μετρήσεων
- ❑ Κατανομή του συνόλου της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης της διεργασίας σε επιμέρους προϊόντα-πολλαπλά ρεύματα εξόδου (Allocation)
  - Αποφυγή κατανομής με διαίρεση του συνολικού συστήματος σε επιμέρους υποσυστήματα (subdivision) ή με επέκταση συστήματος (system expansion)
  - Κατανομή βασισμένη σε φυσικές σχέσεις (πχ με βάση τη μάζα των προϊόντων)
  - Κατανομή βασισμένη σε άλλες σχέσεις (πχ οικονομική αξία προϊόντων)

# Η ΑΚΖ σύμφωνα με τα πρότυπα ISO

---

## 3. Εκτίμηση Επιπτώσεων

### □ Υποχρεωτικά βήματα

- Επιλογή κατηγοριών επιπτώσεων, δεικτών και υποδειγμάτων
- Συσχέτιση των ισοζυγίων ανάλογα με την κατηγορία επιπτώσεων στην οποία συμμετέχουν (Κατηγοριοποίηση)
- Συσχετισμός περιβαλλοντικών δεικτών ανά κατηγορία περιβαλλοντικής επίπτωσης (Χαρακτηρισμός)

### □ Προαιρετικά βήματα

- Υπολογισμός της βαρύτητας κάθε κατηγορίας δεικτών ως προς κάποιες τιμές αναφοράς (Κανονικοποίηση)
- Ομαδοποίηση και κατάταξη δεικτών ως προς τις τιμές τους
- Στάθμιση δεικτών ώστε να είναι εμφανής η σχετική σημασία τους (weighting)
- Ανάλυση ποιότητας αποτελεσμάτων

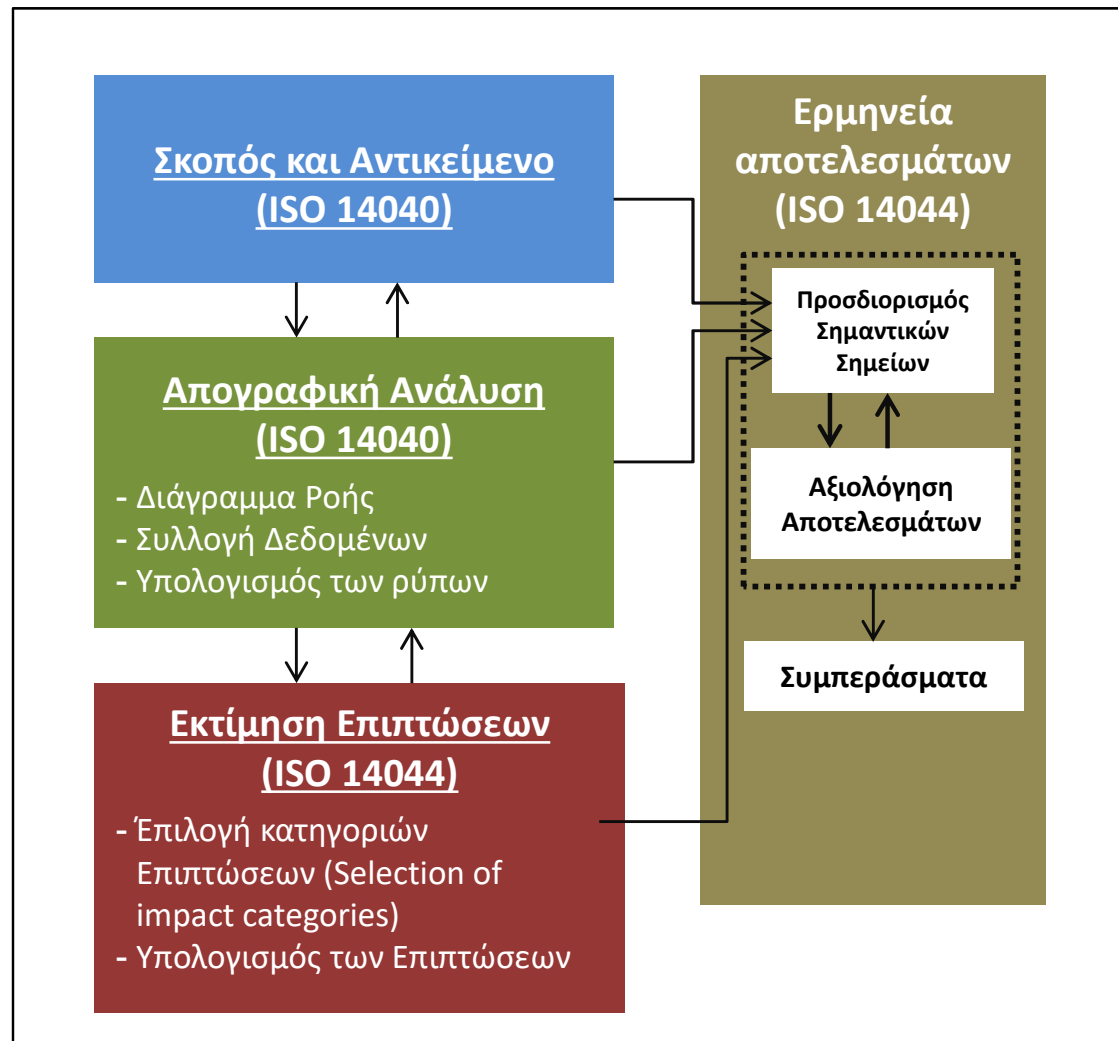
# Η ΑΚΖ σύμφωνα με τα πρότυπα ISO

---

## 4. Ερμηνεία αποτελεσμάτων

- Αναγνώριση σημαντικών σημείων της μελέτης
- Αξιολόγηση ως προς την πληρότητα και τη συνεκτικότητα
- Συμπεράσματα
- Προτάσεις
- Υποβολή πλήρους έκθεσης της μελέτης

# Μεθοδολογικό πλαίσιο ΑΚΖ όπως ορίζεται από τα πρότυπα ISO



Φάσεις υλοποίησης Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

# 1. Στόχος και ορισμός προβλήματος

---

## □ Σκοπός της μελέτης (*goal and scope definition*),

π.χ.

- επιπτώσεις ανάκτησης αντιοξειδωτικών από απόβλητα ελαιουργείου
- Επιπτώσεις αντικατάστασης  $H_2SO_4$  με οργανικά οξέα στην επεξεργασία βιομάζας
- Επιπτώσεις από την αντικατάσταση συμβατικών καυσίμων με ΑΠΕ (πχ. ηλεκτρικής ενέργειας από φυσικό αέριο με φωτοβολταϊκά)

## □ Ορισμός πλαισίου μελέτης > **οριοθέτηση συστήματος** (*system boundaries*)

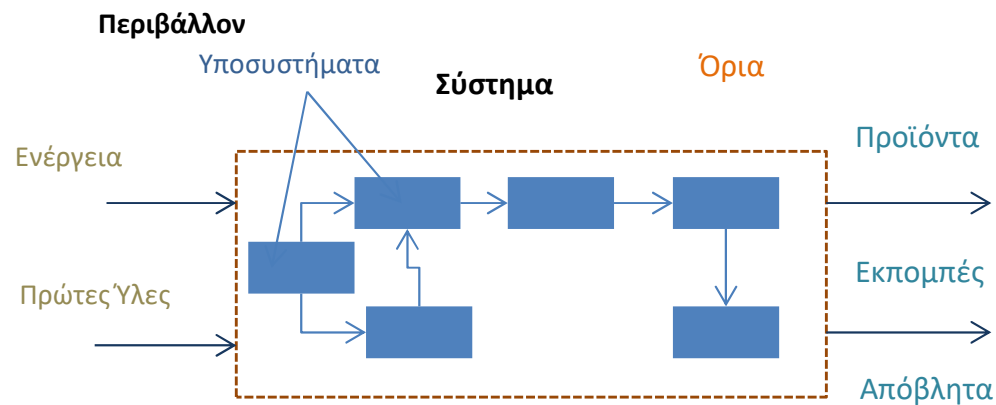
- πχ cradle-to-grave
- Gate-to-gate κτλ

# 1. Στόχος και ορισμός προβλήματος

---

- Επιλογή **λειτουργικής μονάδας** (*functional unit*)
  - Ποσότητα κάποιας ροής στη βάση της οποίας θα παρουσιαστούν οι υπολογισμοί
  - Απαραίτητο μέγεθος αναφοράς στην περίπτωση συγκριτικών αναλύσεων
  - Παράδειγμα: σύγκριση εναλλακτικών τύπων συσκευασίας ενός προϊόντος
  - Θα πρέπει να βασίζεται σε ένα λειτουργικά ισοδύναμο μέγεθος πχ στην ποσότητα του συσκευασμένου προϊόντος → Λ.Μ = 1kg συσκευασμένου προϊόντος
- Μελέτη είδους και προέλευσης δεδομένων

## 2. Απογραφική Ανάλυση (Inventory Analysis)



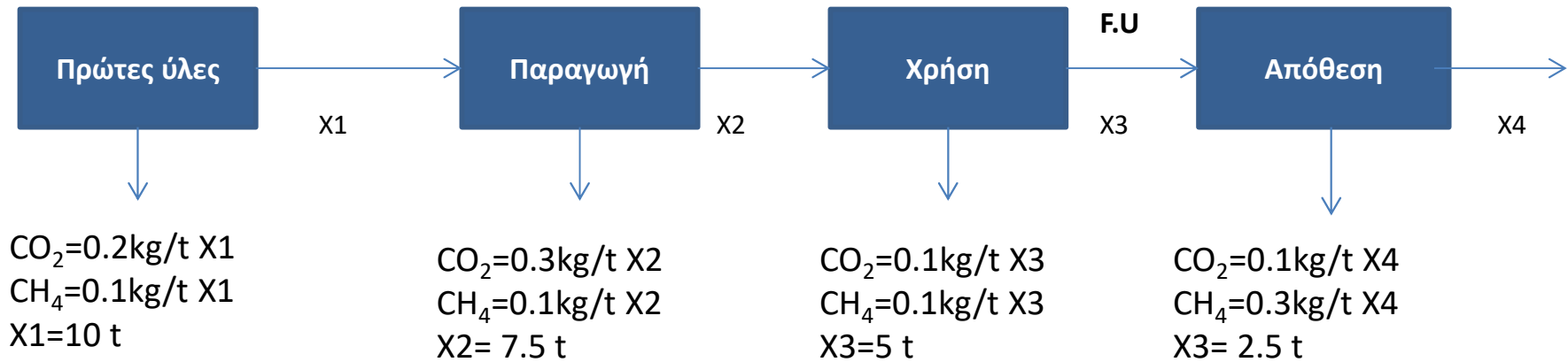
- ❑ Το πλαίσιο ανάλυσης ορίζει εισόδους και εξόδους στο σύστημα
- ❑ Κατάστρωση απογραφικών πινάκων (*Life cycle inventories*)
  - Συνολικά στο σύστημα
  - Υποσυστήματα (στο βαθμό που είναι διαθέσιμα)

Υπολογισμός επιβαρύνσεων (*burdens*) ανά υποσύστημα

$$B_j = \sum_{i=1}^I bc_{j,i} \cdot x_i \quad (1)$$

όπου  $bc_{j,i}$  είναι η επιβάρυνση τύπου  $j$  που δημιουργείται από το υποσύστημα  $i$ , εκφρασμένο ως προς τη Λ.Μ  $x_i$ , οι ροές μάζας και ενέργειας στο υποσύστημα  $i$

# Παράδειγμα – Περίπτωση απλών ρευμάτων



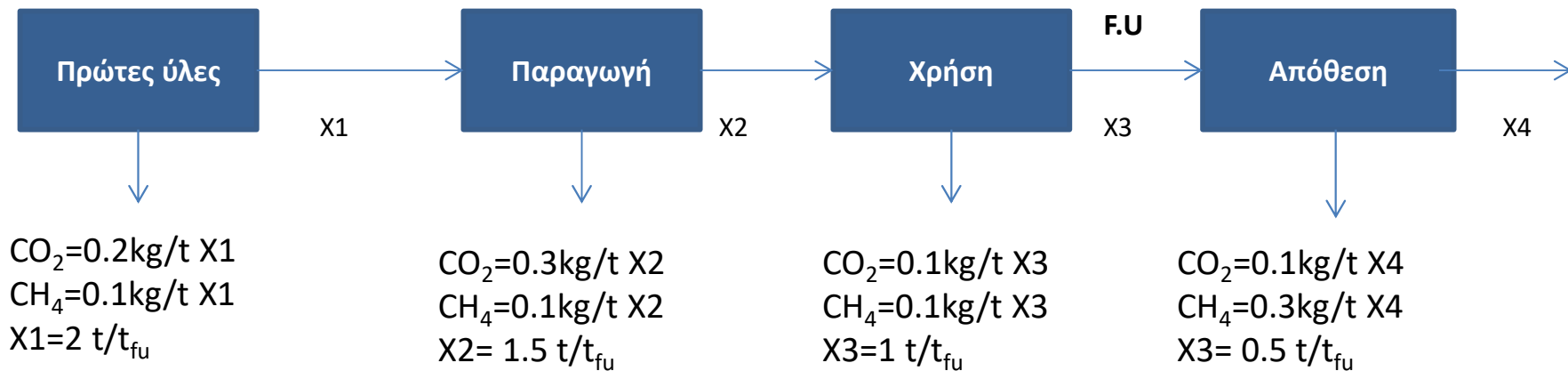
## Σκοπός

Υπολογισμός συνολικών εκπομπών όλων των σταδίων ζωής (Cradle-to-grave) ως προς τη λειτουργική μονάδα

Η ποσότητα προϊόντος από το στάδιο της χρήσης,  $X_3$ , ορίζεται ως η λειτουργική μονάδα ίση με 1t

Ρυπαντές ανά στάδιο:  $CO_2$ ,  $CH_4$

# Αναγωγή στην λειτουργική μονάδα

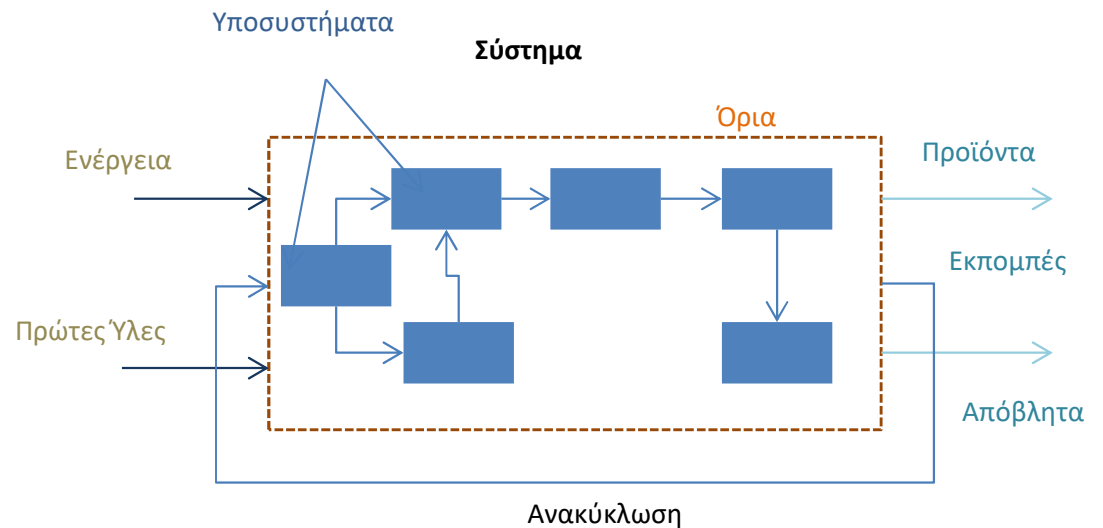


- Χρησιμοποιώντας την εξ. (1) οι συνολικοί περιβαλλοντικοί ρύποι ανά λειτουργική μονάδα για τις εκπομπές CO<sub>2</sub> και CH<sub>4</sub> είναι:
- $B_{CO_2} = \sum bc_{CO_2} \cdot X_i =$   
 $0.2 \cdot 2 + 0.3 \cdot 1.5 + 0.1 \cdot 1 + 0.1 \cdot 0.5 \Rightarrow B_{CO_2} = 1.0 \text{ kg/t}_{fu}$
- $B_{CH_4} = \sum bc_{CH_4} \cdot X_i =$   
 $0.1 \cdot 2 + 0.1 \cdot 1.5 + 0.1 \cdot 1 + 0.3 \cdot 0.5 \Rightarrow B_{CH_4} = 0.6 \text{ kg/t}_{fu}$

# Πολλαπλά Ρεύματα

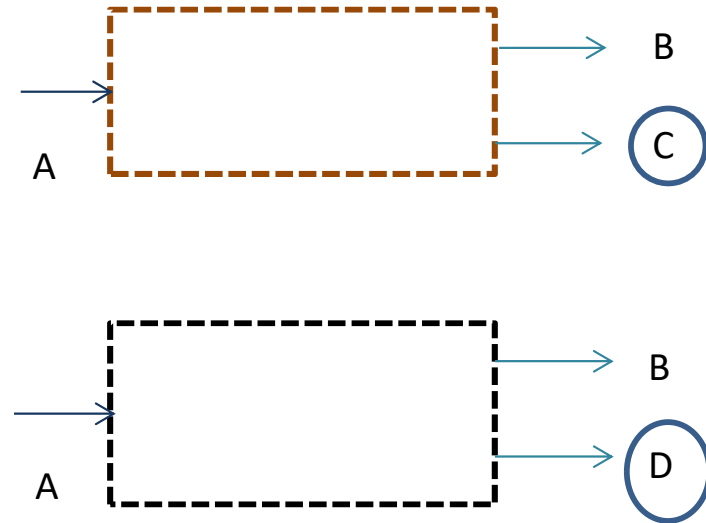
□ Το σύστημα και τα υποσυστήματα έχουν πρόσθετες εκροές η καθεμιά από τις οποίες θα πρέπει να συμπεριληφθεί στους υπολογισμούς

- Παραπροϊόντα
- Απόβλητα
- Ρεύματα ανακύκλωσης

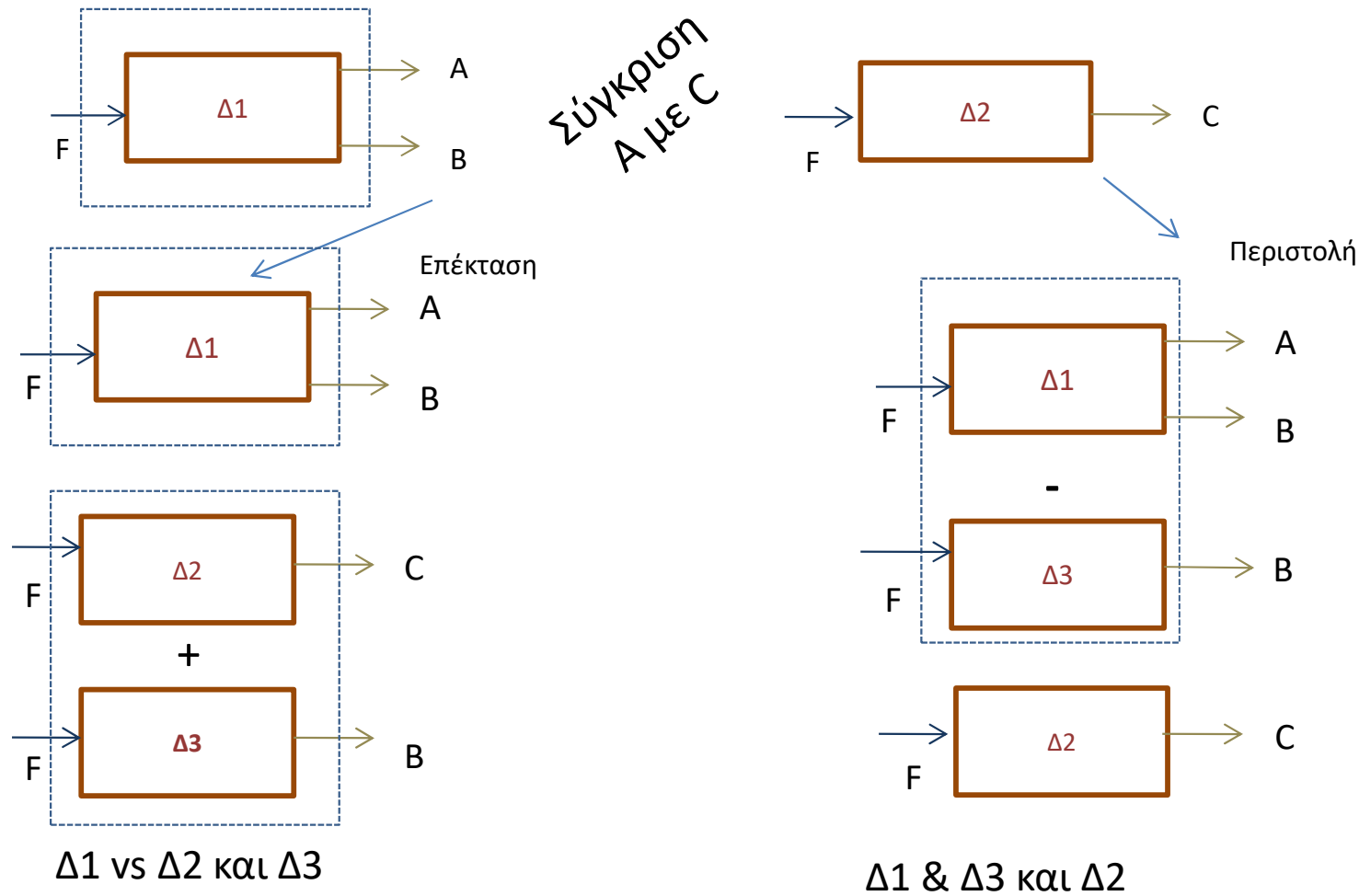


# Πολλαπλά Ρεύματα

- ❑ Απλή επέκταση υπολογισμών για απλά ρεύματα μπορεί να αποβεί παραπλανητική
- ❑ Η σύγκριση των δύο συστημάτων ως προς το προϊόν B, θα έπρεπε ουσιαστικά να εμπεριέχει περαιτέρω συγκρίσεις ανάμεσα στις αλυσίδες παραγωγής των C και D
  - καθώς η υποκατάσταση συμβατικής παραγωγής C&D από άλλες διεργασίες θα προσδίδει διαφορετικές επιπτώσεις στο B
- ❑ → **Πρόβλημα κατανομής** επιπτώσεων σε συστήματα πολλαπλών προϊόντων (*allocation problem*)



# Πρόβλημα κατανομής επιπτώσεων και ιεράρχηση επιλογών (ISO 14044)



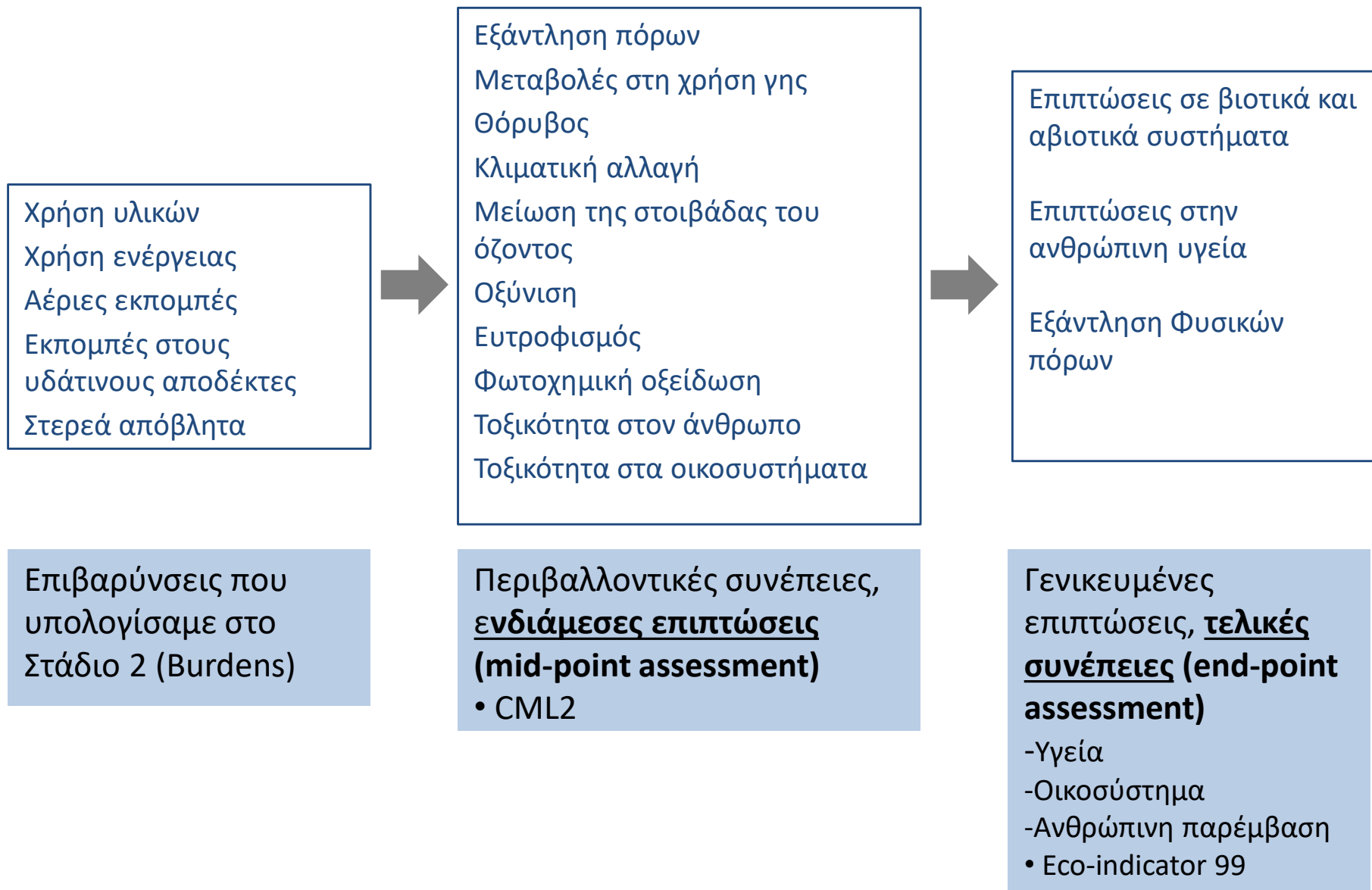
- ❑ Η επιλογή του  $\Delta 3$  μπορεί να επηρεάσει τα αποτελέσματα
- ❑ Η επιλογή επέκτασης ή περιστολής ανάλογα με το αν η  $\Delta 3$  συνάδει με τις  $\Delta 1$  και  $\Delta 2$  με τους στόχους της μελέτης

# Ιεράρχηση επιλογών (ISO 14044)

---

- ❑ Η κατανομή πρέπει να αποφεύγεται όσο είναι δυνατό
- ❑ Περιορισμός αποκλίσεων στην επιλογή της κατανομής
  - Προσθετικές και αφαιρετικές μονάδες (πχ Δ3) μικρής και περιορισμένης κλίμακας
  - Μεγαλύτερη ανάλυση υποσυστημάτων
- ❑ Η κατανομή περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων να ακολουθεί τις σχετικές ροές του φυσικού συστήματος ή της διεργασίας (marginal allocation approach)

### 3. Εκτίμηση επιπτώσεων - Κατηγορίες Επιπτώσεων



# Ενδιάμεσες επιπτώσεις (CML 2, TRACI, PEF)

---

- Στα πλαίσια της μεθόδου αυτής οι ρύποι αθροίζονται σύμφωνα με τη σχετική τους συνεισφορά σε κάθε τύπο επίπτωσης σύμφωνα με την παρακάτω σχέση

$$E_k = \sum_{j=1}^J ec_{k,j} \cdot B_j \quad (2)$$

όπου  $ec_{k,j}$  είναι ο συντελεστής χαρακτηρισμού (characterization factor)  $k$  του ρύπου  $j$  που εκφράζει τη σχετική του συνεισφορά στην περιβαλλοντική επίπτωση  $E_k$

Για παράδειγμα το  $CO_2$ ,  $CH_4$  είναι αέρια που σχετίζονται με το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής

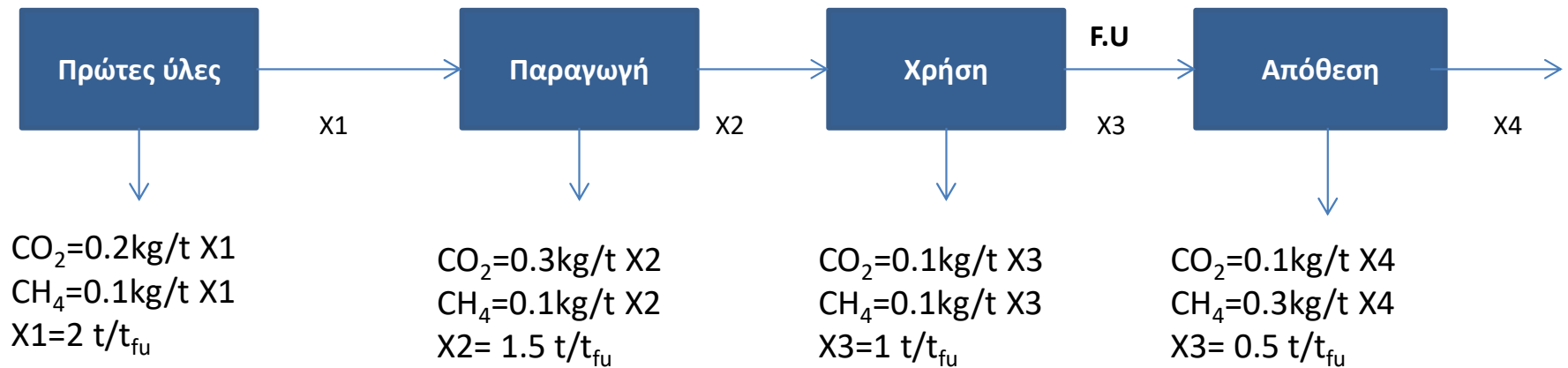
Οι συντελεστές χαρακτηρισμού είναι:

1kg  $CO_2$  eq/kg  $CO_2$

25kg  $CO_2$  eq/kg  $CH_4$

# Παράδειγμα

Χρήση CML 2 για τις επιπτώσεις στην κλιματική αλλαγή (climate change) της προηγούμενης διεργασίας



$$GWP = \sum_{j=1}^J GWP_j \cdot B_j \quad (\text{kg CO}_{2\text{eq}})$$

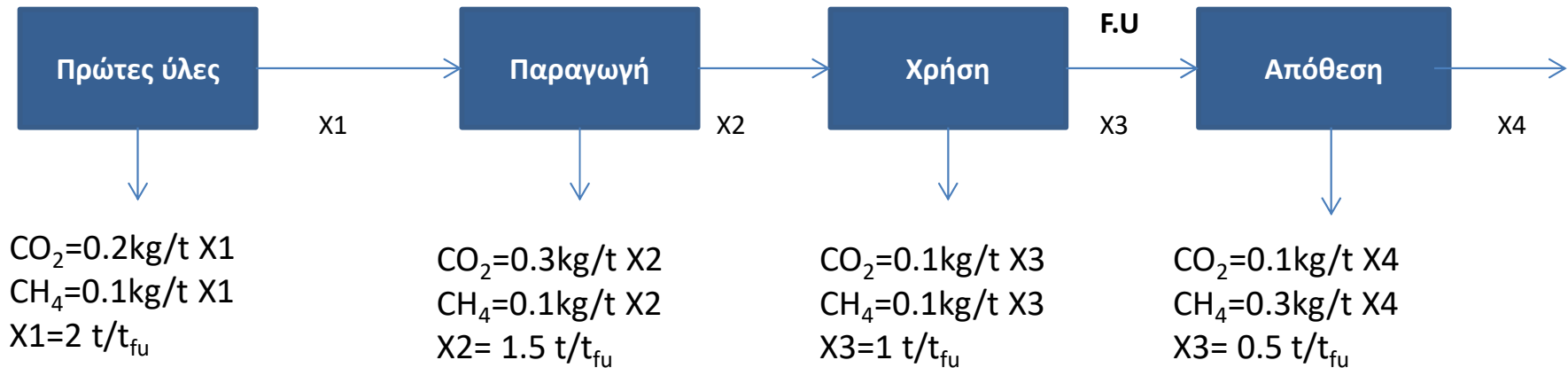
όπου  $B_j$  είναι ο ρύπος υπεύθυνος για την κλιματική αλλαγή

GWP είναι οι συντελεστές για τους διάφορους ρύπους που εκφράζουν τη σχετική τους ένταση ως προς το ρύπο αναφοράς που είναι το  $CO_{2\text{eq}}$

Η κατηγορία αυτή των επιπτώσεων μπορεί να εκφραστεί σε:

- βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις (20 και 50 έτη) και
- σε μακροπρόθεσμες (100 και 500 έτη)

# Υπολογισμοί



- Χρησιμοποιώντας την εξ. (1) οι συνολικές περιβαλλοντικοί ρύποι ανά λειτουργική μονάδα για τις εκπομπές  $CO_2$  και  $CH_4$  είναι:
- $B_{CO_2} = \sum b_{CO_2} \cdot X_i =$   
 $0.2 \cdot 2 + 0.3 \cdot 1.5 + 0.1 \cdot 1 + 0.1 \cdot 0.5 \Rightarrow B_{CO_2} = 1.0 \text{ kg/t}_{fu}$
- $B_{CH_4} = \sum b_{CH_4} \cdot X_i =$   
 $0.1 \cdot 2 + 0.1 \cdot 1.5 + 0.1 \cdot 1 + 0.3 \cdot 0.5 \Rightarrow B_{CH_4} = 0.6 \text{ kg/t}_{fu}$
- Ο υπολογισμός της συνεισφοράς των Αερίων του Θερμοκηπίου υπολογίζεται με την εξίσωση (2) και τους συντελεστές χαρακτηρισμού των  $CO_2$  και  $CH_4$   
 $E_{GWP} = e_{CO_2} \cdot B_{CO_2} + e_{CH_4} \cdot B_{CH_4} = 1 \cdot 1 + 25 \cdot 0.6 = 16 \text{ kg } CO_2\text{-Eq}$

# Μέθοδος CML 2

---

## Εξάντληση αβιοτικών πόρων (Abiotic resource depletion)

$$ADP = \sum_{j=1}^J ADP_j \cdot B_j \quad (\text{kg Sb}_{\text{eq}})$$

## Τοξικότητα στον άνθρωπο (Human Toxicity Potential)

$$HTP = \sum_{j=1}^J HTP_{jA} \cdot B_{jA} + \sum_{j=1}^J HTP_{jW} \cdot B_{jW} + \sum_{j=1}^J HTP_{js} \cdot B_{js} \quad (\text{kg 14 DB}_{\text{eq}})$$

## Επιπτώσεις χρήσης γης (Land use impacts)

$$ILU = A \cdot t \quad (\text{m}^2 \text{ year}) \quad \text{όπου } A \text{ είναι η χρησιμοποιούμενη έκταση γης για χρονικό διάστημα } t$$

## Καταστροφή της στοιβάδας του όζοντος της στρατόσφαιρας (stratospheric ozone depletion potential)

$$ODP = \sum_{j=1}^J ODP_j \cdot B_j \quad (\text{kg CFC 11 eq})$$

# Τελικές επιπτώσεις (end-point impacts and assessment)

---

- ❑ Προκύπτουν από την άθροιση των ενδιάμεσων επιπτώσεων (Midpoint Impact Categories) σε τελικές κατηγορίες
- ❑ Επιπτώσεις σε:
  - Ανθρώπινη υγεία (disability adjusted life years, DALY's)
  - Μεταβολές στοιχείων οικοσυστήματος (potentially disappeared fraction, PDF)
  - Μεταβολές σε ορυκτά κοιτάσματα και πόρους

# Τελικές επιπτώσεις (end-point impacts and assessment)

---

- Υπολογισμός επιπτώσεων μετά από συνδυασμό ενδιάμεσων επιπτώσεων, χρήση γης, φυσικών πόρων κτλ
- Οι υπολογισμοί βασίζονται σε εμπειρικές σχέσεις, μελέτες έκθεσης ανθρώπων σε μη-κανονικές συνθήκες (εμπειρικά μοντέλα) που είναι συνήθως γραμμικά
- Λεπτομέρειες και υποθέσεις περιλαμβάνονται στα λογισμικά χρήσης
- Εμπειρικοί συντελεστές βαρύτητας περιβαλλοντικών επιπτώσεων ( $E_i$ )
- Αναγωγή κατά άτομο/πολίτη
- Εναλλακτικά μοντέλα συμπεριφοράς

# Στερεότυπα συμπεριφοράς και συντελεστές

---

## ❑ Συμβατική συμπεριφορά (Hierarchist)

- Συμβιβαστικοί, λειτουργούν στα πλαίσια των κανόνων της κοινωνίας
- Ανθρώπινη υγεία: 40% στον τελικό συντελεστή

## ❑ Φιλελεύθερη συμπεριφορά (Individualist)

- Έμφαση στο άτομο, όχι στην κοινωνία
- Η ανθρώπινη υγεία είναι η σημαντικότερη κατηγορία: 55% στον τελικό συντελεστή

## ❑ Οικολογική συμπεριφορά (Egalitarian)

- Έμφαση στο οικοσύστημα και στο μέλλον του πλανήτη
- Ισορροπία του οικοσυστήματος: 50% συντελεστής
- Υγεία 30%
- Εξάντληση πόρων 20%

# Μέθοδος Eco-indicator 99 (I)

---

- Υπολογισμός ενδιάμεσων και τελικών επιπτώσεων
- 1. Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία ως συνδυασμός των ακόλουθων δεικτών
  - 1. Καρκινογένεσεις
  - 2. Αναπνευστικές επιπτώσεις
  - 3. Ιονίζουσα ακτινοβολία
  - 4. Καταστροφή της στοιβάδας του όζοντος
  - 5. Κλιματική αλλαγή
- Εκφράζονται σε μονάδες DALY's

# Μέθοδος Eco-indicator 99 (II)

---

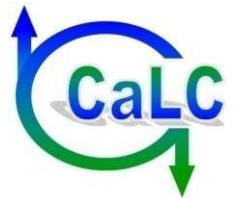
2. Καταστροφή της ποιότητας των οικοσυστημάτων
  - Συνδυασμός των ακόλουθων δεικτών
    - Οικοτοξικότητα
    - Οξύνιση
    - Ευτροφισμός
    - Χρήση γής και μεταβολές
  
3. Καταστροφές των φυσικών πόρων
  - Εξάντληση μετάλλων και ορυκτών καυσίμων

# Λογισμικά Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (I)

---

## ☐ CCalc: LCA - Carbon Footprinting tool:

- Ακολουθεί τα γενικευμένα βήματα της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής
- Εκτίμηση περιβαλλοντικών και οικονομικών επιπτώσεων κατά μήκος της αλυσίδας παραγωγής του προϊόντος
- Διαθέσιμο στο σύνδεσμο <http://www.ccalc.org.uk/>



## ☐ Umberto LCA software:

- Αναπαράσταση διεργασιών με μορφή δικτύων, κατάστρωση ισοζυγίων μάζας και ενέργειας
- Υπολογισμός δεικτών LCA
- Διαθέσιμο (δοκιμαστική έκδοση) στο σύνδεσμο <http://www.umberto.de/en/>

umberto®  
know the flow.

# Λογισμικά Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (II)

---

## ☐ SimaPro :

- Εργαλείο εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων
- Υπολογίζει δείκτες αειφορίας για προϊόντα ή διεργασίες
- Διαθέσιμο (δοκιμαστική έκδοση) στο σύνδεσμο <http://www.prestustainability.com/simapro-demo>



☐ Εκτενής λίστα λογισμικών διαθέσιμη στο σύνδεσμο:

☐ <http://www.epa.gov/nrmrl/std/lca/resources.html#Software>

# Εισαγωγή στο λογισμικό CCaLC

---

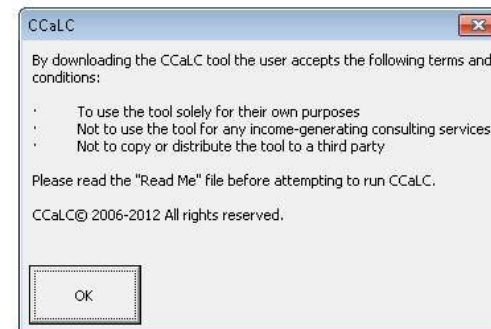
## CCaLC

### Carbon Calculations over the Life Cycle of Industrial Activities

<http://www.ccalc.org.uk>

About CCaLC:

CCaLC was developed by a research group based at the University of Manchester and led by Professor Adisa Azapagic.  
The project was funded by Carbon Trust, EPSRC and NERC (grant No. EP/F003501/1).  
The following researchers were involved in the project:  
David Amienyo (case studies);  
Haruna Gujba (case studies and databases);  
Harish Jeswani (case studies and databases);  
Namy Espinoza-Orias (case studies and databases);  
Anthony Morgan (software development);  
Yu Rong (software development); and  
Heinz Stichnothe (methodology and case studies).



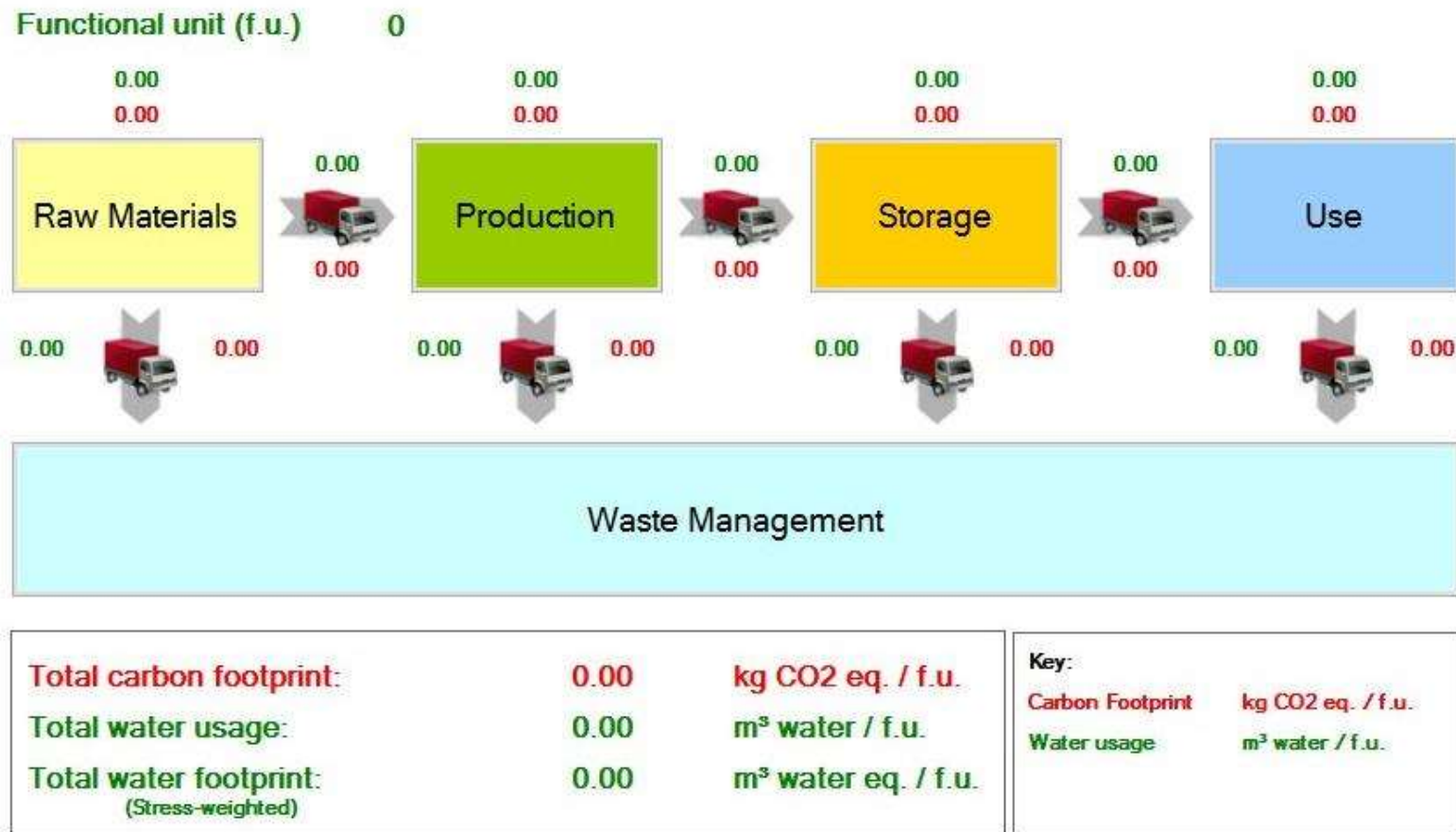
# Χαρακτηριστικά και λειτουργίες

---

- ❑ Ακολουθεί τα γενικευμένα βήματα της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής
  - Footprint analysis
- ❑ Αναγνώριση “hot spots”
- ❑ Εκτίμηση περιβαλλοντικών δεικτών (κλιματική αλλαγή κλπ.)
  - Global Warming Potential
  - Toxicity
  - Eutrophication
  - ....
- ❑ Υποστηρίζει ανάλυση ευαισθησίας των αποτελεσμάτων με τη μεταβολή παραμέτρων του συστήματος (ροές, είδος χημικών κλπ.)

# Εμφάνιση περιβάλλοντος CCaLC

## Γραφική αναπαράσταση συστήματος και αποτελεσμάτων



# Βάσεις δεδομένων και βιβλιοθήκες διεργασιών στο CCalc

## Βάσεις δεδομένων AKZ

- Ccalc
- Ecoinvent
- Διεργασίες γεωργικής παραγωγής
- Πρώτες ύλες
- Χημικά
- Ενέργεια
- Εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων

## Βιβλιοθήκες

- Χημικά
- Διεργασίες βιομηχανίας τροφίμων
- Βιομάζα
- Βιοκαύσιμα

Define raw materials: ✕

Define materials Modify database Search database

CCaLC database  Ecoinvent database  User-defined

Database section: Chemicals & related ▾

Ammonia ▾

Stage for material use: ▾

Amount (kg/f.u.):

Data quality for amount ▾

Cost (£/kg):

Agricultural inputs

define inputs in terms of mass per agricultural area

define inputs in terms of mass per functional unit

Comments on amount used: Update

Details Energy use Impacts Water use

kg CO2 eq./kg:

Year:

Location:

Source:

Quality of dataset: High ▾

Comments:

Exit

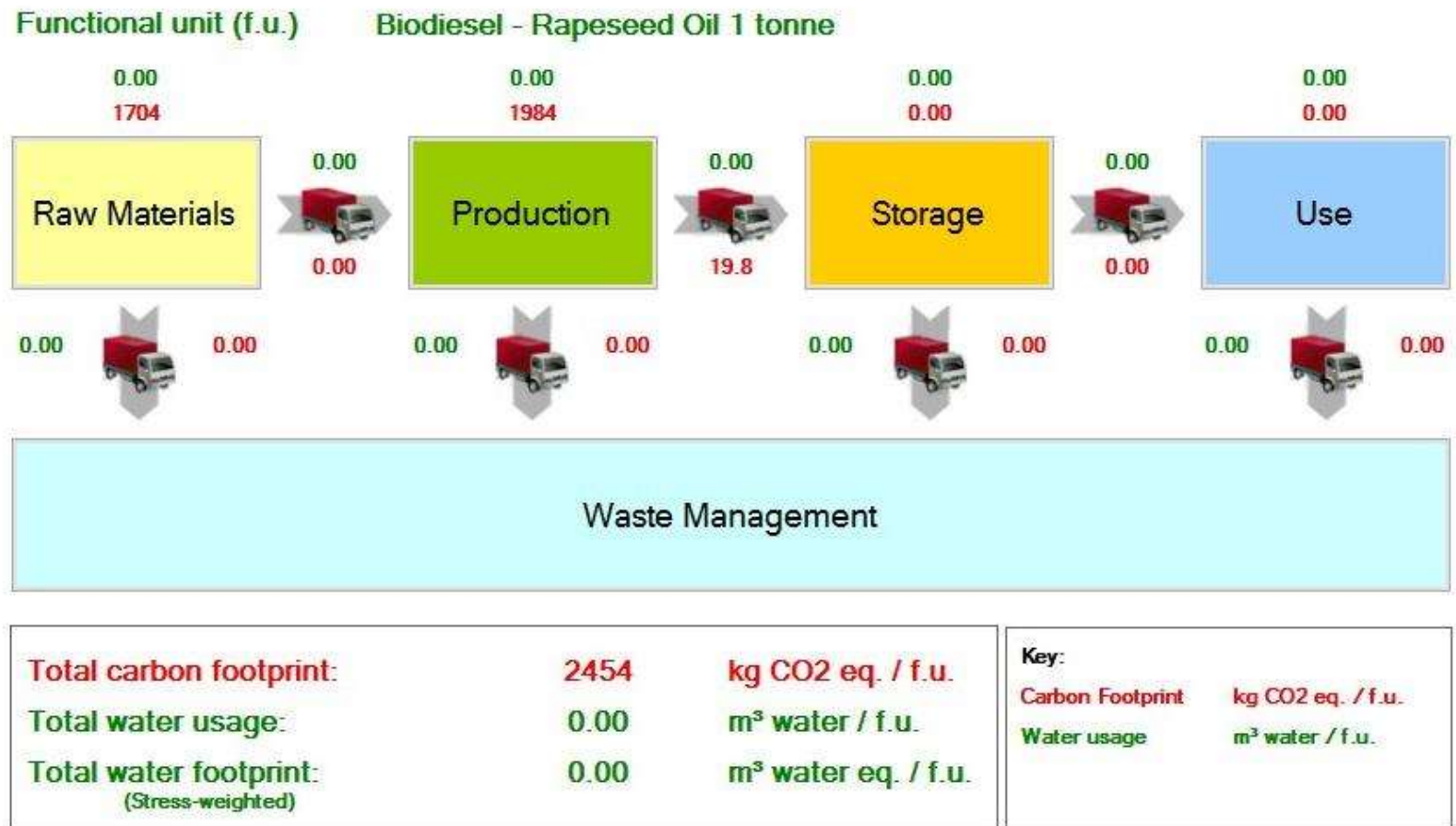
# Ερωτήματα

---

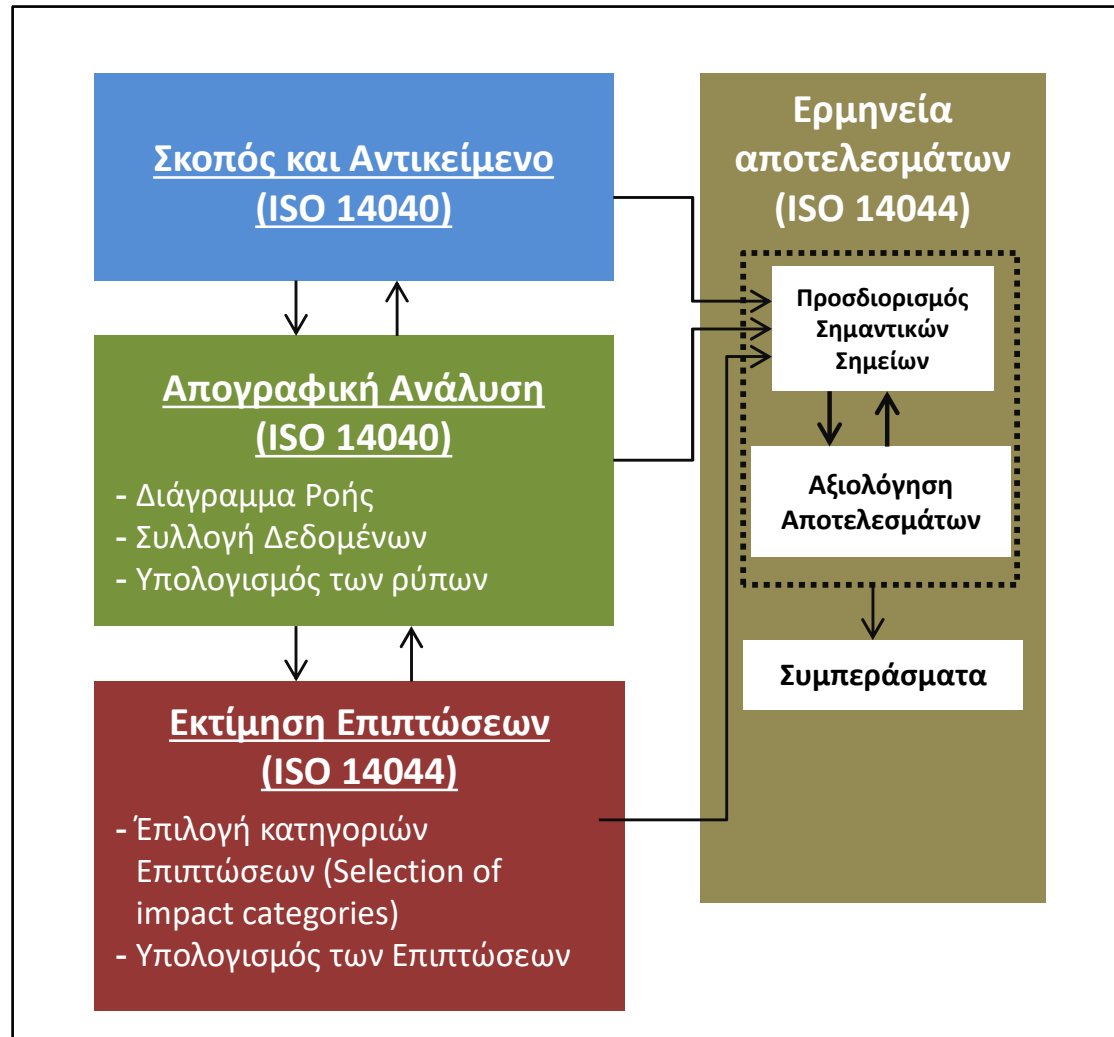
- Ποιο είναι το **«αποτύπωμα άνθρακα»** κατά μήκος μιας αλυσίδας αξιοποίησης (πχ βιομάζας), μιας διεργασίας, ενός προϊόντος;
- Ποια είναι τα πιο **ρυπογόνα στάδια** μιας διεργασίας; (hot spots)
- Με ποιες **παρεμβάσεις** επιτυγχάνεται **βελτίωση του αποτυπώματος άνθρακα**;
- **Υπολογισμός κόστους** κατά μήκος της αλυσίδας
- Άλλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις;

# Παράδειγμα Εφαρμογής στο CCaLC

## Βιοκαύσιμα από κραμβέλαιο (rapeseed oil)



# ΑΚΖ σύμφωνα με το ISO



# Επιλογή λειτουργικής μονάδας

Enter System Details

Functional unit (f.u.)      Biodiesel - Rapeseed Oil 1 tonne

0.00                      0.00                      0.00

1704                      1984                      0.00

Raw Materials

0.00      0.00

0.00

0.00

Production

0.00      0.00

0.00

19.8

Storage

0.00      0.00

0.00

0.00

Waste Management

<b>Total carbon footprint:</b>	2454	<b>kg CO2 eq. / f.u.</b>	<b>Key:</b> <span style="color: red;">Carbon Footprint</span> <span style="color: green;">Water usage</span>
<b>Total water usage:</b>	0.00	<b>m³ water / f.u.</b>	
<b>Total water footprint:</b> <small>(Stress-weighted)</small>	0.00	<b>m³ water eq. / f.u.</b>	

**CCaLC2 - System Details**

Name: Biodiesel - Rapeseed Oil

Functional Unit: Value: 1, Units: tonne

Settings: Mass Units: kg, Energy Units: MJ, Distance Units: km, Volume Units: m3, Monetary Units: Pound

Exchange Rate (per £): 1.00

Data Collected (yr): 2009

Data Source: BEAT (2010)

Last Updated (date): 27/06/2011

Author: HJ

Comments: Bioenergy Technologies Environmental Impact Assessment Tool V2.1, prepared by North Energy Associates Ltd. for DEFRA Project NF0434. www.biomassenergycentre.org System boundary: Cradle to gate. The transport of raw materials and waste is not included. Allocation method: mass or economic

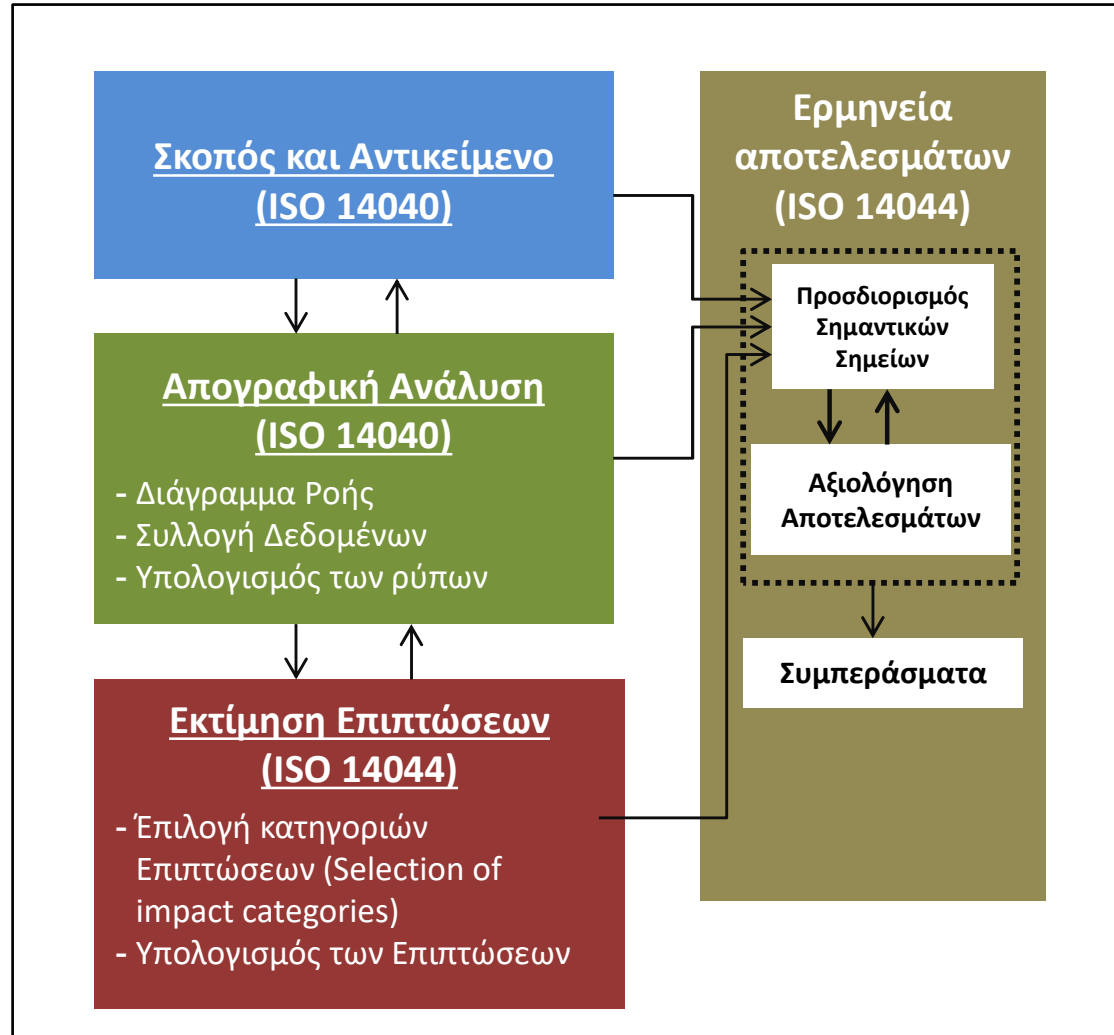
OK      Cancel

# Οριοθέτηση συστήματος

## “Cradle-to-gate” οριοθέτηση



# ΑΚΖ σύμφωνα με το ISO



# Πίνακες απογραφής



## Πίνακας απογραφής διεργασίας εστεροποίησης ελαίου

Functional unit: Biodiesel - Rapeseed Oil 1 tonne  
Stage: Oil Esterification

**Total carbon footprint for stage:** 66.2 kg CO2 eq. / f.u.  
**Total water usage for stage:** 0.00 m³ water / f.u.  
**Total water footprint (stress-weighted) for stage:** 0.00 m³ water eq. / f.u.

Material/Packaging inputs	Amount (kg)
Methanol	109
Sodium hydroxide (Caustic soda 4...)	1.20
Refined rapeseed oil	1052
<b>Total:</b>	<b>1162</b>

Material/Packaging outputs	Amount (kg)
Total mass in (materials + packaging)	1162
Total mass out (materials + waste)	1100
<b>Mass balance</b>	<b>62.2</b>

Water type:	Water used (m³/f.u.)	Water footprint (stress-weighted) (m³ eq./f.u.)
Agricultural	0.00	0.00
Process	0.00	0.00

Energy	Amount (MJ/f.u.)	CO2 eq. (kg/MJ energy)	CO2 eq. (kg/f.u.)	Water usage (m³/MJ energy)	Water usage (m³/f.u.)	Water footprint (stress-weighted) (m³ eq./f.u.)	Database section
Electricity - CHP-11	82.8	0.086	7.09	0.00	0.00	0.00	CCaLC/Energy
Heat - CHP-11	1379	0.043	59.1	0.00	0.00	0.00	CCaLC/Energy
<b>Total:</b>	<b>1462</b>	<b>Total:</b>	<b>66.2</b>	<b>Total:</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	

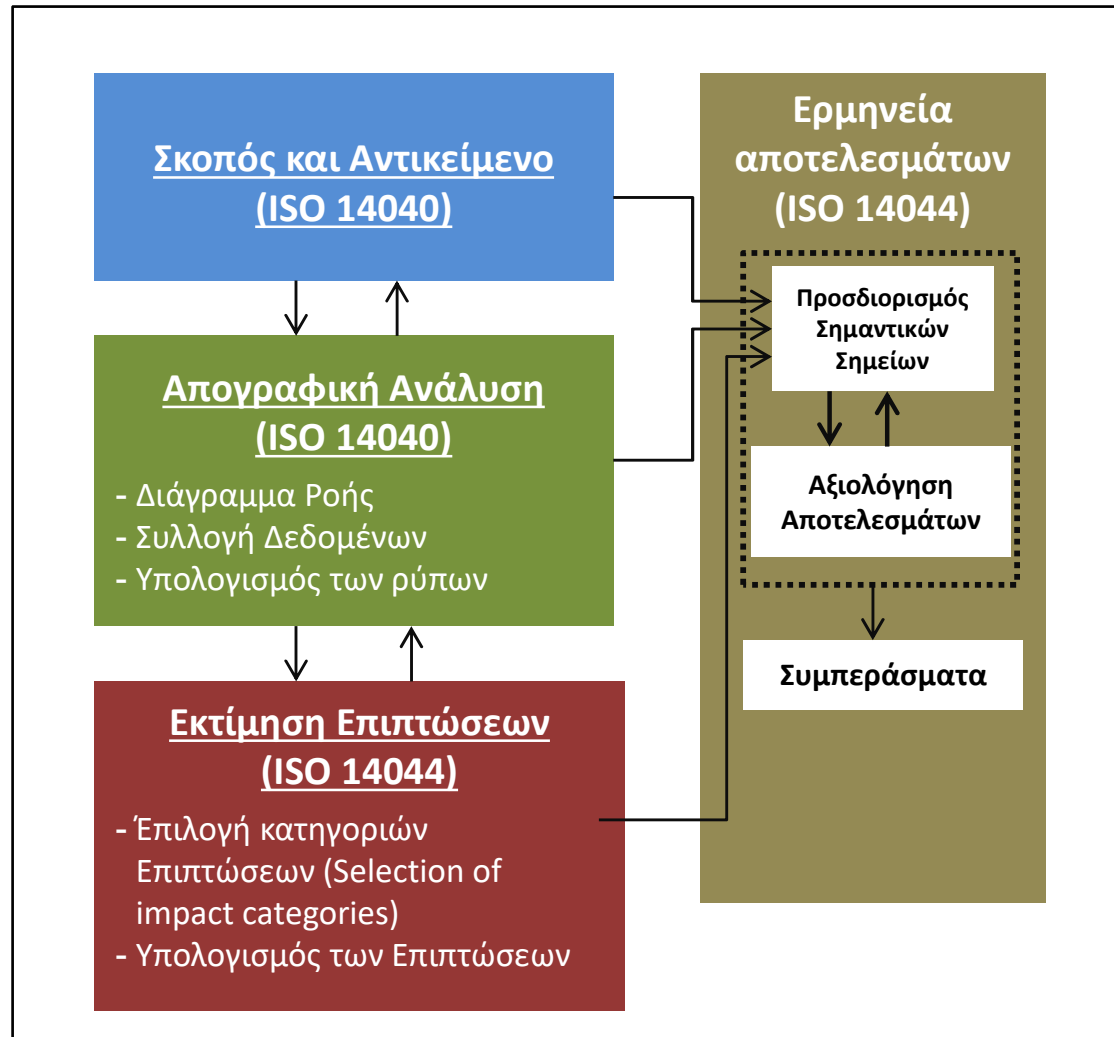
Direct emissions	Amount (kg/f.u.)	CO2 eq. (kg/kg GHG)	CO2 eq. (kg/f.u.)
<b>Total:</b>	<b>0.00</b>	<b>Total:</b>	<b>0.00</b>

Packaging	Amount (kg/f.u.)	CO2 eq. (kg/kg packaging)	CO2 eq. (kg/f.u.)	Water usage (m³/kg packaging)	Water usage (m³/f.u.)	Water footprint (stress-weighted) (m³ eq./f.u.)	Database section
<b>Total:</b>	<b>0.00</b>	<b>Total:</b>	<b>0.00</b>	<b>Total:</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	

Waste	Amount (kg/f.u.)	CO2 eq. (kg/kg waste)	CO2 eq. (kg/f.u.)	Water usage (m³/kg waste)	Water usage (m³/f.u.)	Water footprint (stress-weighted) (m³ eq./f.u.)	Database section
<b>Total:</b>	<b>0.00</b>	<b>Total:</b>	<b>0.00</b>	<b>Total:</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	

Material outputs	Amount (kg)	Destination

# ΑΚΖ σύμφωνα με το ISO



# Εκτίμηση επιπτώσεων

## Διεργασία εστεροποίησης ελαίου

- Μοντελοποίηση ροών εισόδων και εξόδων μέσω βάσεων δεδομένων ΑΚΖ
  - Ενεργειακές ανάγκες
  - Εισροές ύλης
- Απόδοση ΑΚΖ επιπτώσεων

Define energy

Material/Packaging inputs	Amount (kg)
Methanol	109
Sodium hydroxide (Caustic soda 4...	1.20
Refined rapeseed oil	1052
<b>Total:</b>	<b>1162</b>

Water type:	Water used (m <sup>3</sup> /f.u.)	Water footprint (stress-weighted) (m <sup>2</sup> eq./f.u.)
Agricultural	0.00	0.00
Process	0.00	0.00

Energy	Amount (MJ/f.u.)	CO2 eq. (kg/MJ energy)	CO2 eq. (kg/f.u.)	Water usage (m <sup>3</sup> /MJ energy)	Water usage (m <sup>3</sup> /f.u.)
Electricity - CHP-11	82.8	0.086	7.09	0.00	0.00
Heat - CHP-11	1379	0.043	59.1	0.00	0.00
<b>Total:</b>	<b>1462</b>	<b>Total:</b>	<b>66.2</b>	<b>Total:</b>	<b>0.00</b>

Direct emissions	Amount (kg/f.u.)	CO2 eq. (kg/kg GHG)	CO2 eq. (kg/f.u.)
<b>Total:</b>	<b>0.00</b>	<b>Total:</b>	<b>0.00</b>

Packaging	Amount (kg/f.u.)	CO2 eq. (kg/kg packaging)	CO2 eq. (kg/f.u.)	Water usage (m <sup>3</sup> /kg packaging)	Water usage (m <sup>3</sup> /f.u.)
<b>Total:</b>	<b>0.00</b>	<b>Total:</b>	<b>0.00</b>	<b>Total:</b>	<b>0.00</b>

Waste	Amount (kg/f.u.)	CO2 eq. (kg/kg waste)	CO2 eq. (kg/f.u.)	Water usage (m <sup>3</sup> /kg waste)	Water usage (m <sup>3</sup> /f.u.)
<b>Total:</b>	<b>0.00</b>	<b>Total:</b>	<b>0.00</b>	<b>Total:</b>	<b>0.00</b>

Material outputs	Amount (kg)	Destination
------------------	-------------	-------------

**Εκτίμηση Επιπτώσεων (ISO 14044)**

- Έπιλογή κατηγοριών Επιπτώσεων (Selection impact categories)
- Υπολογισμός των Επιπτώσεων

Define energy for Production - Oil Esterification

Define energy | Modify database | Search database

CCaLC database  Ecoinvent database  User-defined

Electricity - CHP-11

Amount (MJ/f.u.): 82.8

Data quality for amount: High

Cost (£/MJ): 0.013

Comments on amount used:

---

Details | Energy use | Impacts | Water use

kg CO2 eq./MJ: 8.563e-002

Year: 2009

Location: UK

Source: BEAT (2010)

Quality of dataset: High

Comments:

CHP power plant capacity: 9MW; Plant eff.: 85%; Heat to power ratio: 1.93 BEAT (2010) Bioenergy Technologies Environmental Impact Assessment Tool V2.1, prepared by North Energy Associates Ltd for DEFRA Project NF0434.

# Εκτίμηση περιβαλλοντικών δεικτών

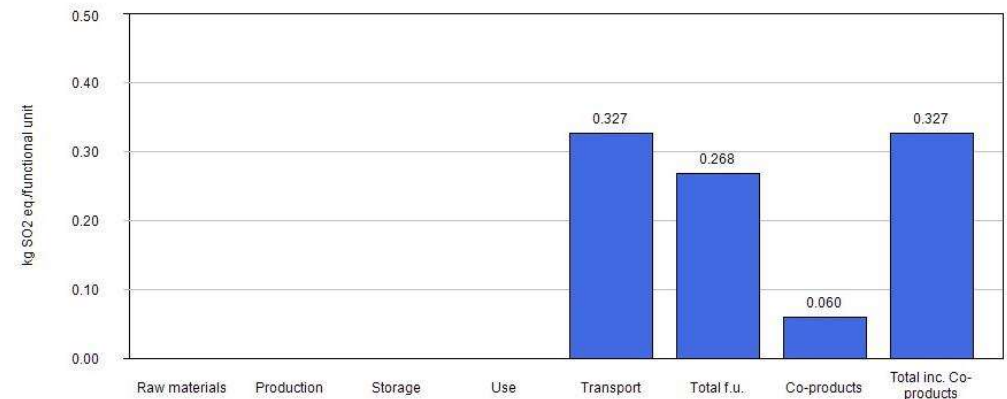
## Εκτίμηση Επιπτώσεων (ISO 14044)

- Επιλογή κατηγοριών Επιπτώσεων (Selection of impact categories)
- Υπολογισμός των Επιπτώσεων

- ❖ Οξύνιση
- ❖ Ευτροφισμός
- ❖ Καταστροφή της στοιβάδας του όζοντος
- ❖ Φωτοχημικό νέφος
- ❖ Τοξικότητα στον άνθρωπο
- ❖ Υδατικό Αποτύπωμα

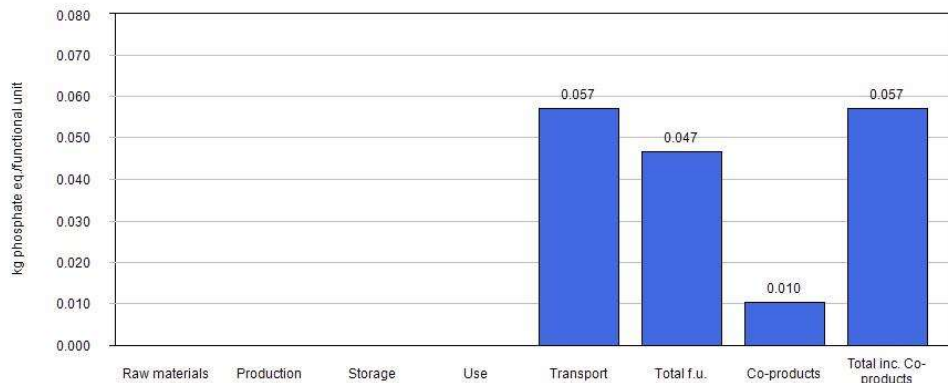
### Acidification potential summary

Warning: LCA Data for some impacts are missing



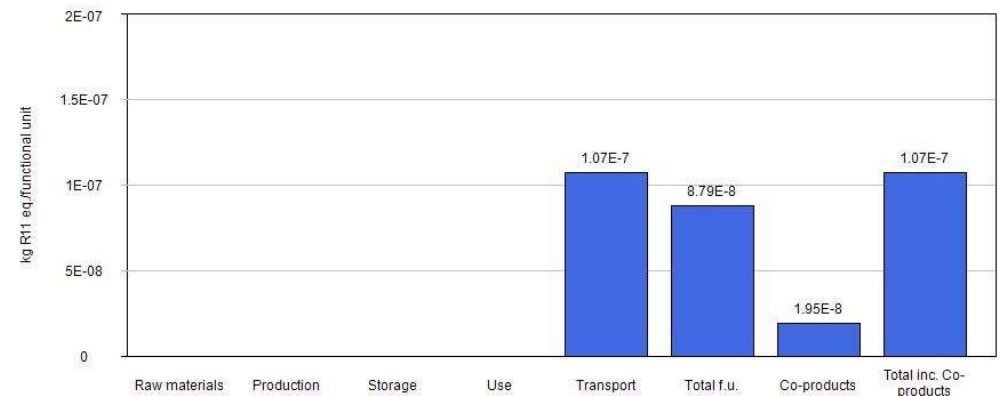
### Eutrophication potential (kg phosphate eq./f.u.):

Warning: LCA Data for some impacts are missing



### Ozone layer depletion potential summary

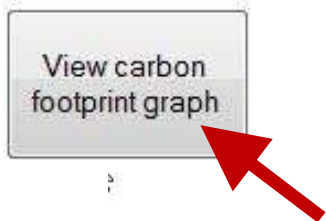
Warning: LCA Data for some impacts are missing



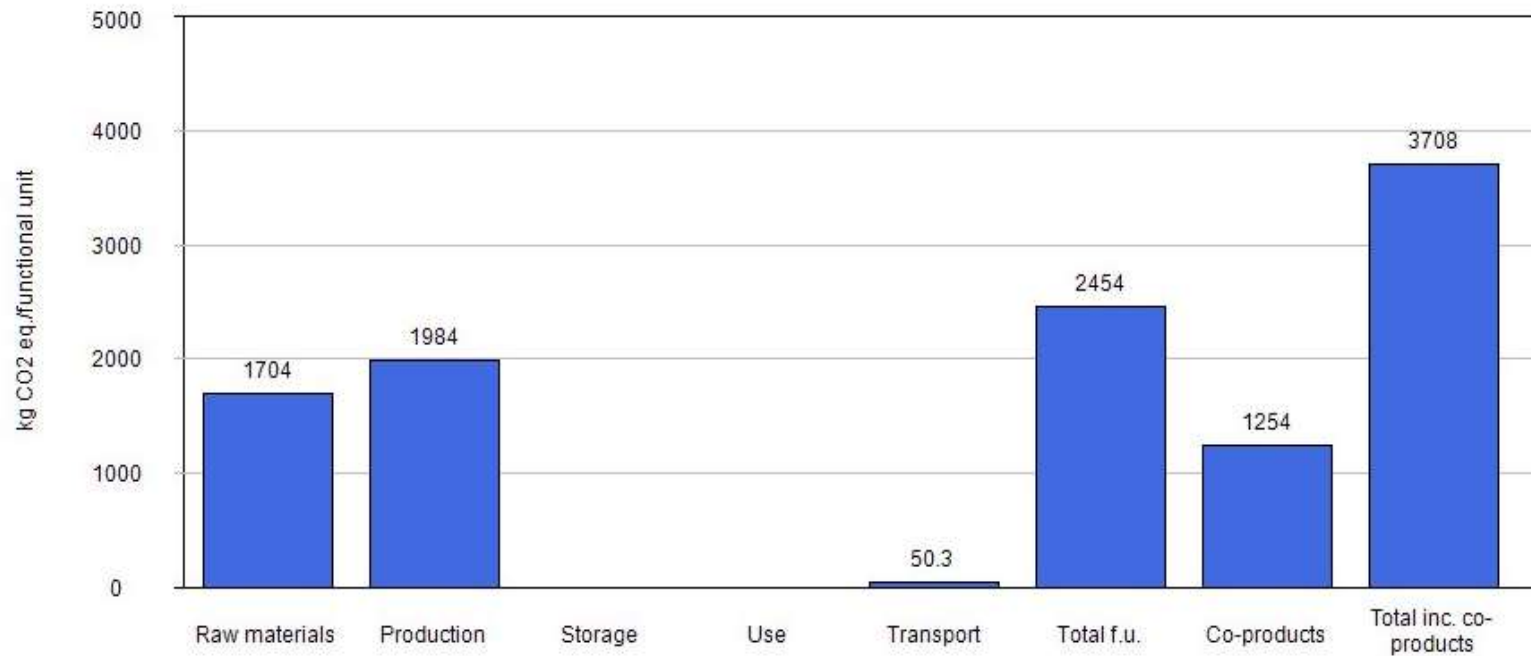
# Εντοπισμός ρυπογόνων σταδίων (I)

Ερμηνεία  
αποτελεσμάτων  
(ISO 14044)

## Σύνοψη Αποτελεσμάτων Αποτυπώματος Άνθρακα ανά στάδιο κύκλου ζωής



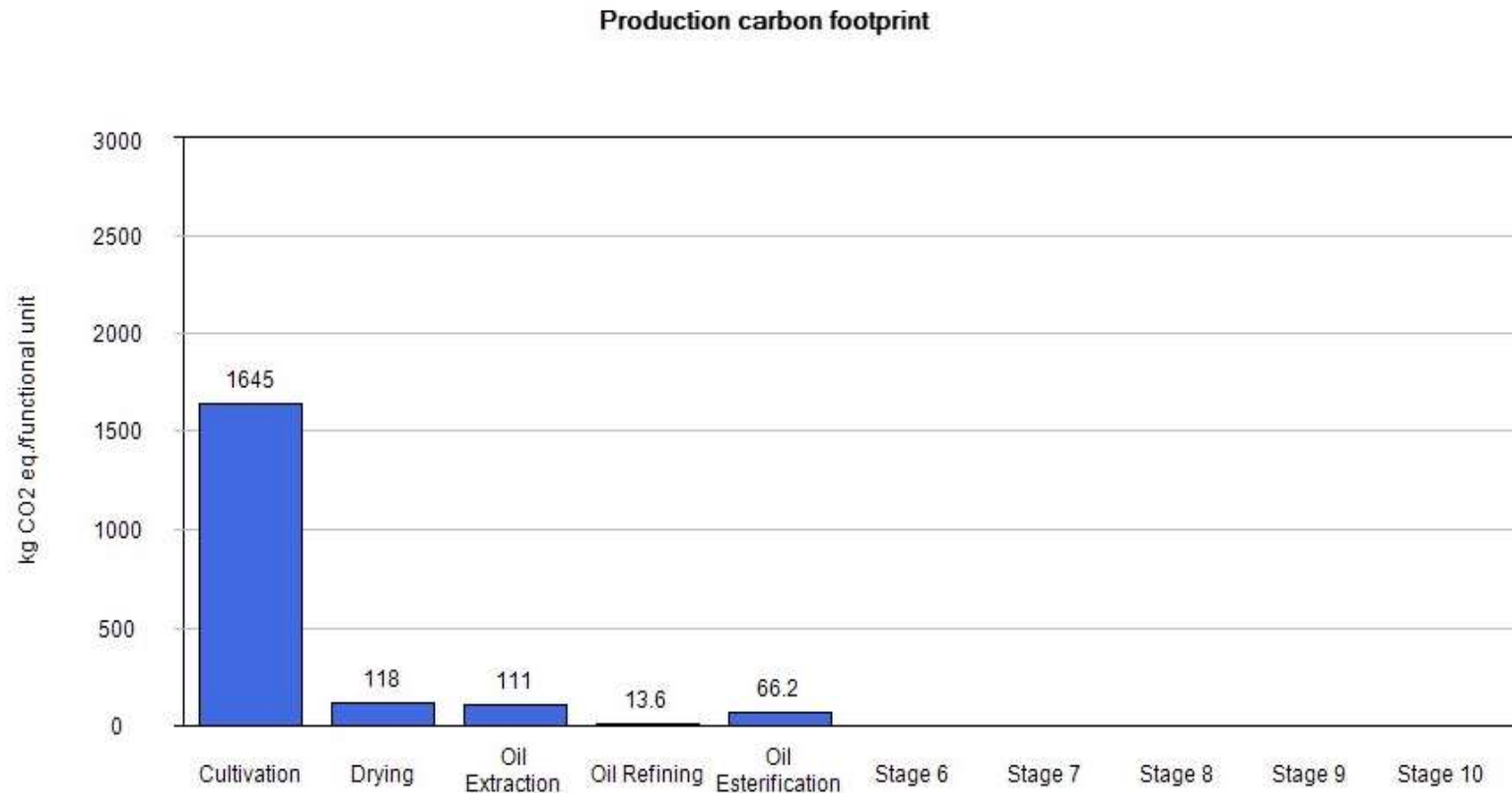
Summary of carbon footprint



# Εντοπισμός ρυπογόνων σταδίων (II)

Ερμηνεία  
αποτελεσμάτων  
(ISO 14044)

## Σύνοψη Αποτελεσμάτων Αποτυπώματος Άνθρακα ανά στάδιο παραγωγής



# Εισαγωγή στο λογισμικό SimaPro

---

**Simapro**

# Χαρακτηριστικά και λειτουργίες

---

- ❑ Αποτελεί ένα λεπτομερές εργαλείο περιβαλλοντικής ανάλυσης
- ❑ Χρησιμοποιείται για προϊόντα ή/και διεργασίες
  - Προϊόντα και διεργασίες αναφέρονται ως διεργασίες (processes)
- ❑ Ποσοτικοποίηση των πρώτων υλών, της κατανάλωσης ενέργειας και εκπομπών στον αέρα, το νερό και το έδαφος
- ❑ Χαρακτηρισμός περιβαλλοντικών επιπτώσεων
- ❑ Οι βάσεις δεδομένων περιέχουν πολλές κοινές διεργασίες (και προϊόντα) αλλά όχι όλες
  - Προϊόντα ή διεργασίες που δεν περιέχονται στις βάσεις δεδομένων θα πρέπει να αξιολογηθούν σύμφωνα με τα παρακάτω

# Επιλογές πλοήγησης

<b>Wizards</b>
Wizards
<b>Goal and scope</b>
Description
Libraries
<b>Inventory</b>
Processes
Product stages
System descriptions
Waste types
Parameters
<b>Impact assessment</b>
Methods
Calculation setups
<b>Interpretation</b>
Interpretation
Document Links
<b>General data</b>
Literature references
Substances
Units
Quantities
Images

## 1. Σκοπός και αντικείμενο

- “Description”: Επεξεργασία στοιχείων και περιγραφής μιας καινούριας διεργασίας
- “Libraries”: Βιβλιοθήκες – Βάσεις δεδομένων διεργασιών (χημικά, καύσιμα κλπ.)

## 2. Απογραφή

- “Processes”: Υπάρχοντα μοντέλα ή δημιουργία νέων
- “Product stages”: Στάδια κύκλου ζωής

## 3. Εκτίμηση επιπτώσεων

- Επιλογή μεθόδου υπολογισμού επιπτώσεων (CML, RECIPE, Eco-Indicator 99 κλπ.)

## 4. Ερμηνεία αποτελεσμάτων

- Σχόλια και βιβλιογραφία

# Περιβάλλον εργασίας

Επιλογές  
πλοήγησης

Διεργασίες

File Edit Calculate Tools Window Help

LCA Explorer

Wizards  
Wizards

Goal and scope  
Description  
Libraries

Inventory  
Processes  
Product stages  
System descriptions  
Waste types  
Parameters

Impact assessment  
Methods  
Calculation setups

Interpretation  
Interpretation  
Document Links

General data  
Literature references  
Substances  
Units  
Quantities  
Images

Processes

- Material
  - Agricultural
  - Ceramics
    - Market
    - Infrastructure
    - Transformation
  - Chemicals
    - Acids (inorganic)
      - Market
      - Infrastructure
      - Transformation
    - Acids (organic)
      - Market
      - Infrastructure
      - Transformation
    - Fertilisers (inorganic)
      - Market
      - Transformation
    - Fertilisers (organic)
      - Market
      - Transformation
    - Gases
      - Market
      - Infrastructure
      - Transformation
    - Inorganic
      - Market
      - Transformation
      - Infrastructure
    - Organic
      - Market
      - Infrastructure
      - Transformation
    - Others
    - Pesticides
    - Silicons
    - Washing agents
  - Construction
  - Electronics
  - Fuels
    - Biofuels
      - Biogas
        - Market
        - Transformation
      - Ethanol
      - Methane
      - Others
    - Coal
    - Lignite
    - Natural gas
    - Oil
    - Peat
    - Uranium

Name	Unit	Waste type	Project	Status
Argon, crude, liquid (GLO) market for   Alloc Def, U	kg	not defined	Ecoinvent 3 - allocation, default - unit	None
Argon, liquid (GLO) market for   Alloc Def, U	kg	not defined	Ecoinvent 3 - allocation, default - unit	None
Carbon dioxide, liquid (RER) market for   Alloc Def, U	kg	not defined	Ecoinvent 3 - allocation, default - unit	None
Carbon dioxide, liquid (RoW) market for   Alloc Def, U	kg	not defined	Ecoinvent 3 - allocation, default - unit	None
Carbon monoxide (RER) market for   Alloc Def, U	kg	not defined	Ecoinvent 3 - allocation, default - unit	None
Carbon monoxide (RoW) market for   Alloc Def, U	kg	not defined	Ecoinvent 3 - allocation, default - unit	None
Chlorine dioxide (GLO) market for   Alloc Def, U	kg	not defined	Ecoinvent 3 - allocation, default - unit	None
Chlorine, gaseous (RER) market for   Alloc Def, U	kg	not defined	Ecoinvent 3 - allocation, default - unit	None
Chlorine, gaseous (RoW) market for   Alloc Def, U	kg	not defined	Ecoinvent 3 - allocation, default - unit	None
Chlorine, liquid (GLO) market for   Alloc Def, U	kg	not defined	Ecoinvent 3 - allocation, default - unit	None
Ethane (GLO) market for   Alloc Def, U	kg	not defined	Ecoinvent 3 - allocation, default - unit	None
Fluorine, liquid (RER) market for   Alloc Def, U	kg	not defined	Ecoinvent 3 - allocation, default - unit	None
Fluorine, liquid (RoW) market for   Alloc Def, U	kg	not defined	Ecoinvent 3 - allocation, default - unit	None
Helium (GLO) market for   Alloc Def, U	kg	not defined	Ecoinvent 3 - allocation, default - unit	None
Helium, crude (GLO) market for   Alloc Def, U	kg	not defined	Ecoinvent 3 - allocation, default - unit	None
Helium, crude stockpiling (GLO) market for   Alloc Def, U	kg	not defined	Ecoinvent 3 - allocation, default - unit	None
Hydrogen sulfide (GLO) market for   Alloc Def, U	kg	not defined	Ecoinvent 3 - allocation, default - unit	None
Hydrogen, liquid (RER) market for   Alloc Def, U	kg	not defined	Ecoinvent 3 - allocation, default - unit	None
Hydrogen, liquid (RoW) market for   Alloc Def, U	kg	not defined	Ecoinvent 3 - allocation, default - unit	None
Krypton, gaseous (GLO) market for   Alloc Def, U	kg	not defined	Ecoinvent 3 - allocation, default - unit	None
Natural gas liquids (GLO) market for   Alloc Def, U	kg	not defined	Ecoinvent 3 - allocation, default - unit	None
Nitrogen, liquid (RER) market for   Alloc Def, U	kg	not defined	Ecoinvent 3 - allocation, default - unit	None
Nitrogen, liquid (RoW) market for   Alloc Def, U	kg	not defined	Ecoinvent 3 - allocation, default - unit	None
Nitrous dioxide (GLO) market for   Alloc Def, U	kg	not defined	Ecoinvent 3 - allocation, default - unit	None
Nitrous oxide (GLO) market for   Alloc Def, U	kg	not defined	Ecoinvent 3 - allocation, default - unit	None
Oxygen, liquid (RER) market for   Alloc Def, U	kg	not defined	Ecoinvent 3 - allocation, default - unit	None
Oxygen, liquid (RoW) market for   Alloc Def, U	kg	not defined	Ecoinvent 3 - allocation, default - unit	None
Ozone, liquid (RER) market for   Alloc Def, U	kg	not defined	Ecoinvent 3 - allocation, default - unit	None
Ozone, liquid (RoW) market for   Alloc Def, U	kg	not defined	Ecoinvent 3 - allocation, default - unit	None
Propane (GLO) market for   Alloc Def, U	kg	not defined	Ecoinvent 3 - allocation, default - unit	None
Sulfur dioxide, liquid (RER) market for   Alloc Def, U	kg	not defined	Ecoinvent 3 - allocation, default - unit	None
Sulfur dioxide, liquid (RoW) market for   Alloc Def, U	kg	not defined	Ecoinvent 3 - allocation, default - unit	None
Sulfur hexafluoride, liquid (GLO) market for   Alloc Def, S	kg	not defined	Ecoinvent 3 - allocation, default - system	None
Sulfur hexafluoride, liquid (GLO) market for   Alloc Def, U	kg	not defined	Ecoinvent 3 - allocation, default - unit	None
Sulfur trioxide (GLO) market for   Alloc Def, U	kg	not defined	Ecoinvent 3 - allocation, default - unit	None
Xenon, gaseous (GLO) market for   Alloc Def, U	kg	not defined	Ecoinvent 3 - allocation, default - unit	None

In this market, expert judgement was used to develop product specific transport distance estimations.

Production volume: 4 kg  
Technology level: 0 undefined  
Start date: 2011-01-01  
End date: 2014-12-31  
Is data valid for entire period: true  
Macro-economic scenario name: Business-as-Usual

Version: 3.0.3.0  
Created: 2011-08-02T09:57:47  
Source: 05a39056-95c6-4f16-bc2e-f6005fa4bb7f\_ab5dcfa8-e8f9-4923-84d4-51b25a898fa1.spold

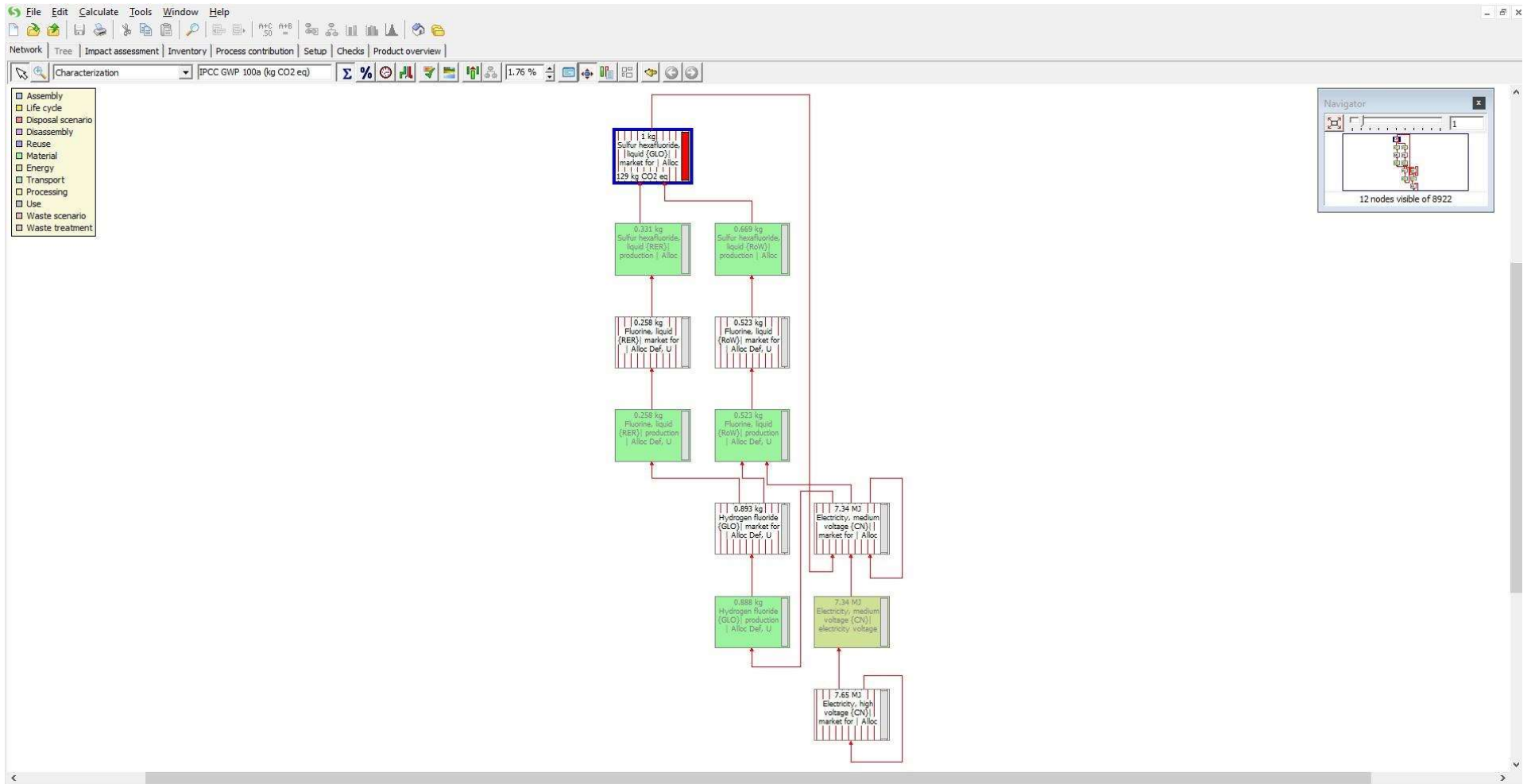
Filter on [ ] and [ ] or [ ] Clear 36

11606 items 1 item selected

# Πίνακας απογραφής

Documentation							
Input/output							
Parameters							
System description							
Products							
Known outputs to technosphere. Products and co-products							
Name	Amount	Unit	Quantity	Allocation %	Waste type	Category	Comment
	1	kg	Mass	100 %	not defined	Chemicals\Gases\Market	
Known outputs to technosphere. Avoided products							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SDMin	Max	Comment	
Inputs							
Known inputs from nature (resources)							
Name	Sub-compartment	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SDMin	Max	Comment
Known inputs from technosphere (materials/fuels)							
Name	Amount	Unit	Distribution	SD^2 or 2*SDMin	Max	Comment	
Transport, freight, lorry, unspecified {GLO} market for   Alloc Def, U	0.2088	tkm	Lognormal	2.281			{1,1,4,5,4,na} Transport distance based on US BTS Commodity Flow Surveys 1993, 1997, 2002, 2007, US Dep. Of Transportation, Bureau of Transportation Statistics. Of the total road transport, 6% is assumed to be by delivery van for goods with a large share of retail sale, and 3% for goods that are mainly sold via wholesale.
Sulfur hexafluoride, liquid {RER} production   Alloc Def, U	0.3305923516	kg	Undefined				Production Volume Amount: 1.32236940655721
Sulfur hexafluoride, liquid {RoW} production   Alloc Def, U	0.6694076483	kg	Undefined				Production Volume Amount: 2.67763059344279
Transport, freight train {Europe without Switzerland} market for   Alloc Def, U	0.0201465820	tkm	Lognormal	2.281			{1,1,4,5,4,na} Transport distance based on US BTS Commodity Flow Surveys 1993, 1997, 2002, 2007, US Dep. Of Transportation, Bureau of Transportation Statistics.
Transport, freight train {CN} market for   Alloc Def, U	0.0681819833	tkm	Lognormal	2.281			{1,1,4,5,4,na} Transport distance based on US BTS Commodity Flow Surveys 1993, 1997, 2002, 2007, US Dep. Of Transportation, Bureau of Transportation Statistics.
Transport, freight train {CH} market for   Alloc Def, U	0.0004015638	tkm	Lognormal	2.281			{1,1,4,5,4,na} Transport distance based on US BTS Commodity Flow Surveys 1993, 1997, 2002, 2007, US Dep. Of Transportation, Bureau of Transportation Statistics.
Transport, freight train {US} market for   Alloc Def, U	0.0957745405	tkm	Lognormal	2.281			{1,1,4,5,4,na} Transport distance based on US BTS Commodity Flow Surveys 1993, 1997, 2002, 2007, US Dep. Of Transportation, Bureau of Transportation Statistics.
Transport, freight train {RoW} market for   Alloc Def, U	0.1245953300	tkm	Lognormal	2.281			{1,1,4,5,4,na} Transport distance based on US BTS Commodity Flow Surveys 1993, 1997, 2002, 2007, US Dep. Of Transportation, Bureau of Transportation Statistics.
Known inputs from technosphere (electricity/heat)							

# Υπολογισμός επιπτώσεων



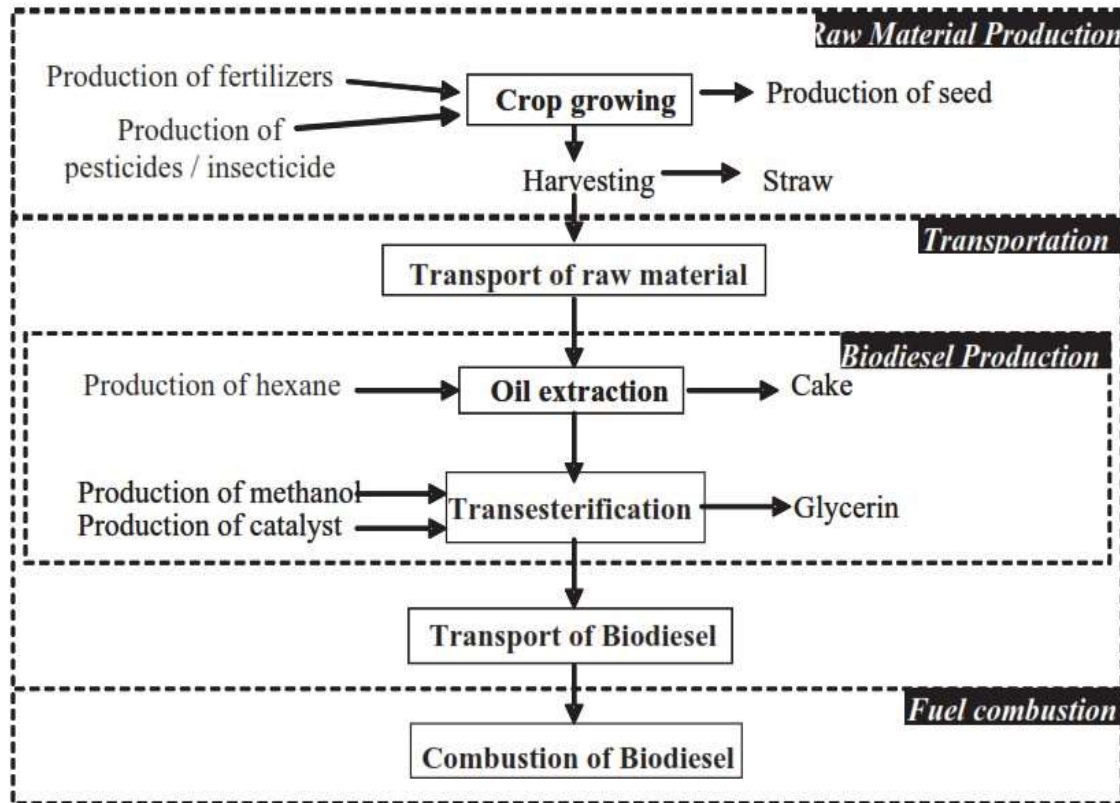
# Παράδειγμα

---

Παραγωγή βιοντίζελ από το φυτό jatropha

# Περιγραφή προβλήματος

## Ανάλυση Κύκλου Ζωής παραγωγής βιοντίζελ από το φυτό jatropha



### Ερωτήματα

- Ποιες είναι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της διεργασίας;
- Ποιο/ποια στάδια συνεισφέρουν σε μεγαλύτερο βαθμό στην καταστροφή του περιβάλλοντος (αναγνώριση hot-spot);

# Σκοπός και αντικείμενο

Σκοπός και Αντικείμενο  
(ISO 14040)

## Οριοθέτηση συστήματος

Cradle-to-grave σύστημα με 4 διαφορετικά στάδια: Καλλιέργεια → Κατανάλωση



## Λειτουργική μονάδα

- Παραγωγή 1000 kg βιοντίζελ

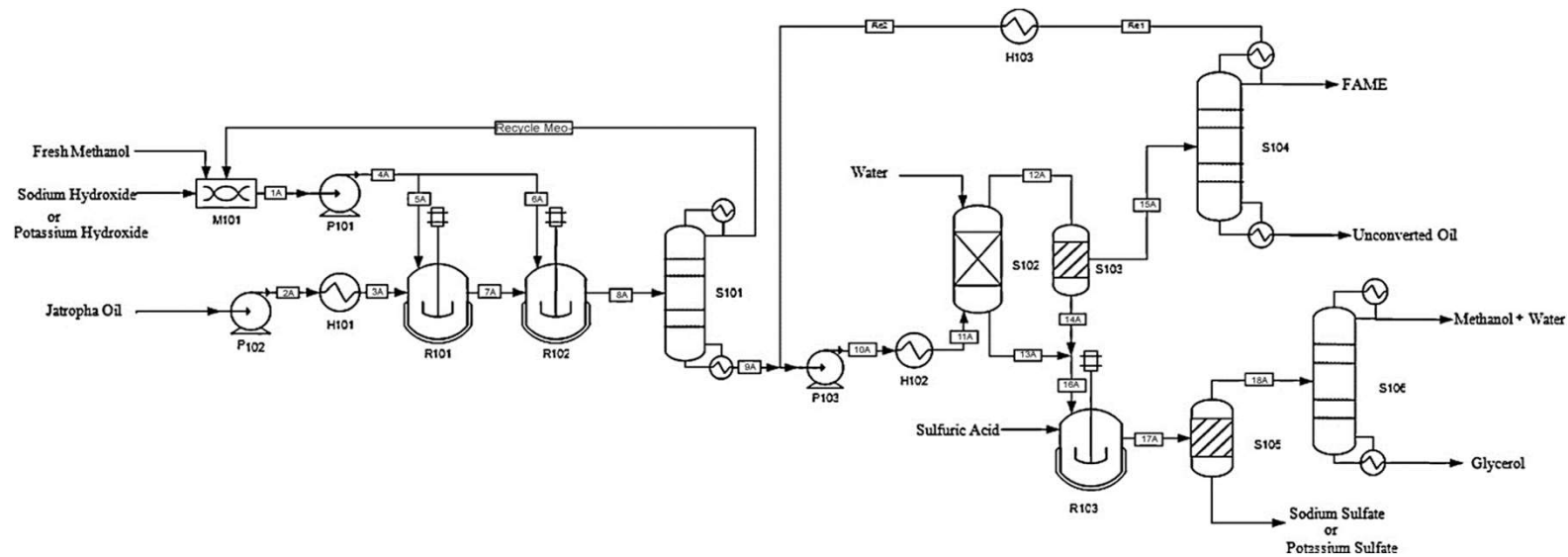
# Απογραφική ανάλυση

## Απογραφική Ανάλυση (ISO 14040)

- Διάγραμμα Ροής
- Συλλογή Δεδομένων
- Υπολογισμός των ρύπων

## Πηγές δεδομένων

- Καλλιέργεια: Δεδομένα από τοποθεσία αναφοράς (real-life data)
- Μεταφορά πρώτης ύλης: Υπόθεση μέσης απόστασης (150 km)
- Παραγωγή βιοντίζελ: Συνδυασμός δεδομένων από σχεδιασμό διεργασίας σε Aspen Plus και πραγματικής εγκατάστασης παραγωγής βιοντίζελ



- Κατανάλωση καυσίμου: Δεδομένα εκπομπών καύσης από SimaPro

# Εκτίμηση επιπτώσεων

## Εκτίμηση Επιπτώσεων (ISO 14044)

- Έπιλογή κατηγοριών Επιπτώσεων  
(Selection of impact categories)
- Υπολογισμός των Επιπτώσεων

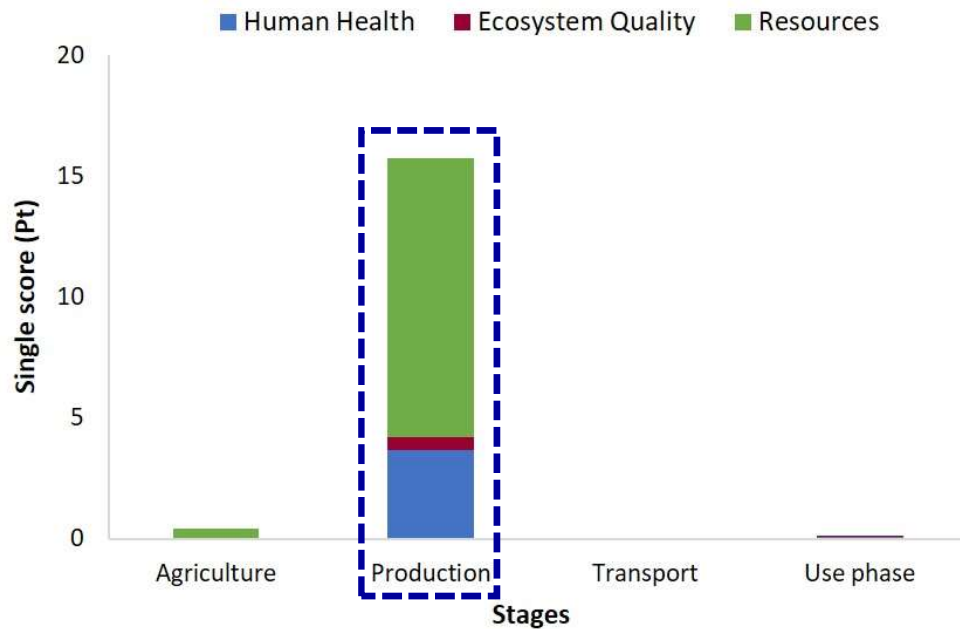
## Eco-indicator 99

1. Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία (Human Health)
  - Καρκινογόνες ουσίες (carcinogens)
  - Αναπνευστικές επιπτώσεις (respiratory organics, inorganics)
  - Κλιματική αλλαγή (climate change)
  - Ακτινοβολία (radiation)
  - Καταστροφή της στριβάδας του όζοντος (ozone layer)
2. Επιπτώσεις στην ποιότητα του οικοσυστήματος (Ecosystem Quality)
  - Οικοτοξικότητα (eco-toxicity)
  - Οξύνιση (acidification)
  - Ευτροφισμός (eutrophication)
  - Χρήση γης (land use)
3. Επιπτώσεις στους φυσικούς πόρους (Resources)
  - Εξάντληση μετάλλων και φυσικών πόρων (minerals, fossil fuels)

# Υπολογισμός και ερμηνεία αποτελεσμάτων (I)

Ερμηνεία  
αποτελεσμάτων  
(ISO 14044)

## Τελικές επιπτώσεις ανά στάδιο

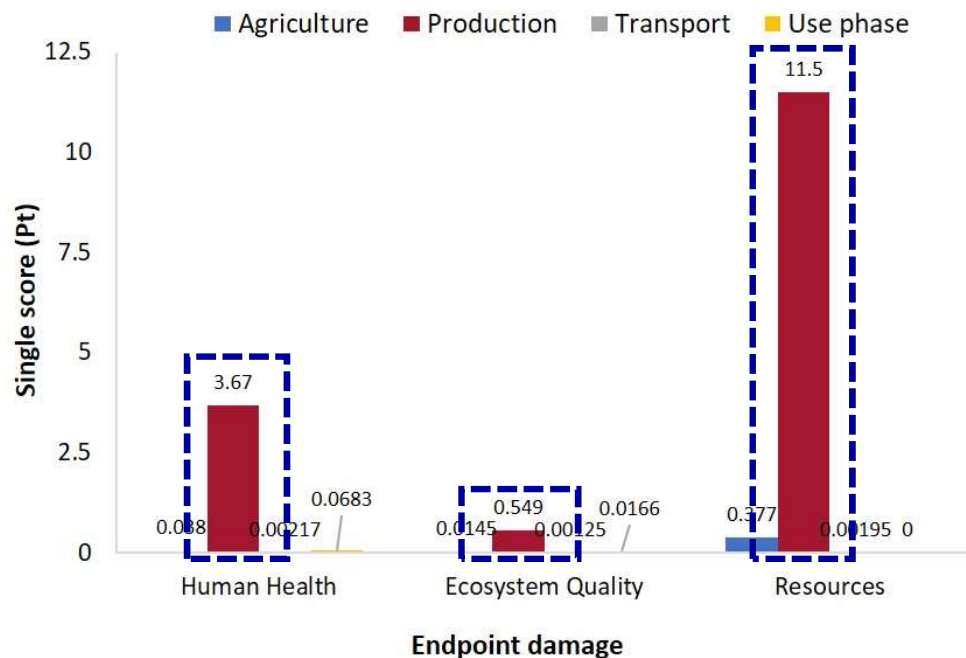


- Μεγαλύτερες επιπτώσεις → στάδιο παραγωγής βιοντίζελ (15.7 Pt)

# Υπολογισμός και ερμηνεία αποτελεσμάτων (II)

Ερμηνεία  
αποτελεσμάτων  
(ISO 14044)

## Τελικές επιπτώσεις ανά κατηγορία

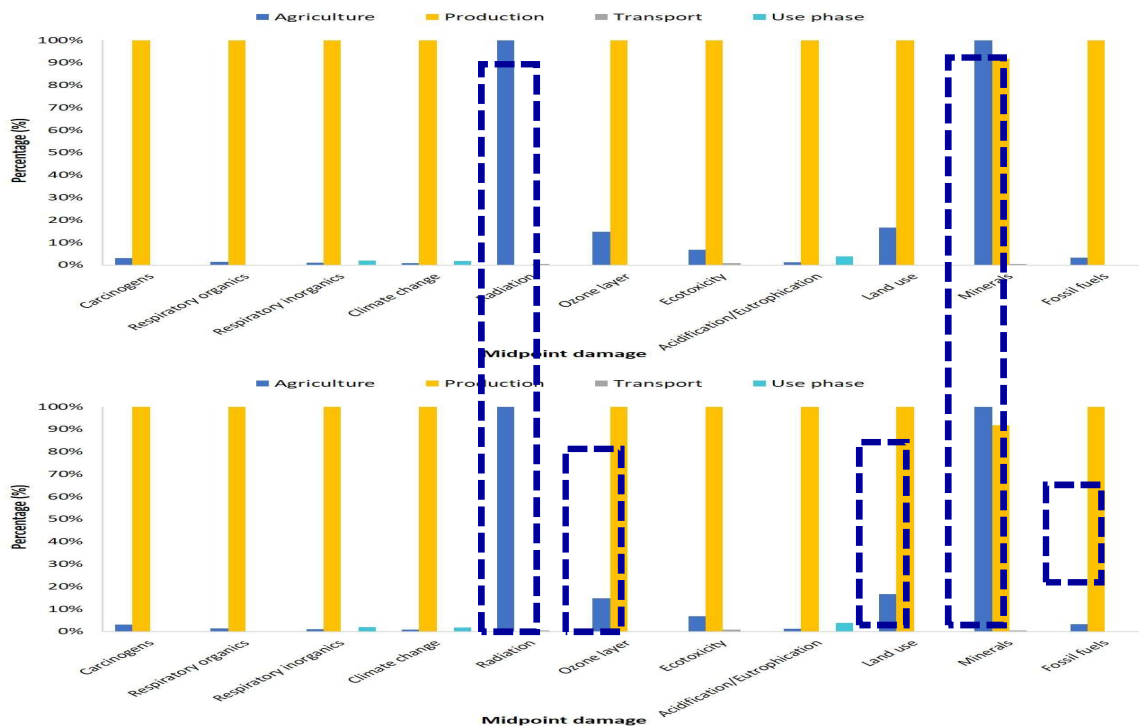


- Μείωση φυσικών πόρων κατά 11.5 Pt: Χρήση μεγάλης ποσότητας πόρων (καύσιμα, ηλεκτρική ενέργεια κλπ.)
- Ανθρώπινη υγεία: επιπτώσεις κατά 3.67 Pt → εκπομπές τοξικών αερίων από χρήση πόρων
- Ποιότητα οικοσυστήματος: μικρότερες επιπτώσεις → θεωρούνται αποδεκτές

# Υπολογισμός και ερμηνεία αποτελεσμάτων (III)

Ερμηνεία  
αποτελεσμάτων  
(ISO 14044)

## Ενδιάμεσες επιπτώσεις για όλα τα στάδια



## Καλλιέργεια (Agriculture)

- Καταστροφή της στοιβάδας του όζοντος → ψυκτικά μέσα κατά το λίπασμα (CFCs / HFCs)
- Χρήση γης → έδαφος για καλλιέργεια
- Εξάντληση μετάλλων και φυσικών πόρων → χρήση εδάφους, καύσιμα για οχήματα κατά την καλλιέργεια
- Ακτινοβολία → χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από πυρηνικό σταθμό ηλεκτροπαραγωγής (ευρωπαϊκή βάση δεδομένων) → ανάλογα με τόπο αναφοράς μπορεί να εξαλειφθεί σαν επίπτωση

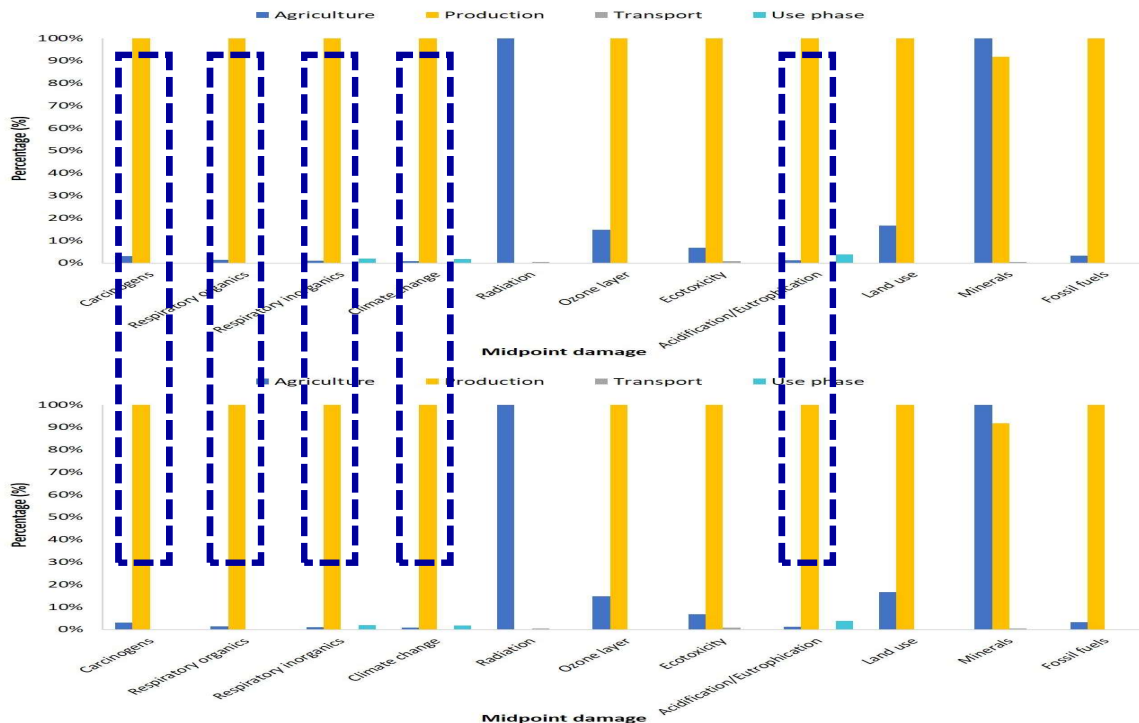


Κατάλληλη ερμηνεία αποτελεσμάτων

# Υπολογισμός και ερμηνεία αποτελεσμάτων (IV)

Ερμηνεία  
αποτελεσμάτων  
(ISO 14044)

## Ενδιάμεσες επιπτώσεις για όλα τα στάδια



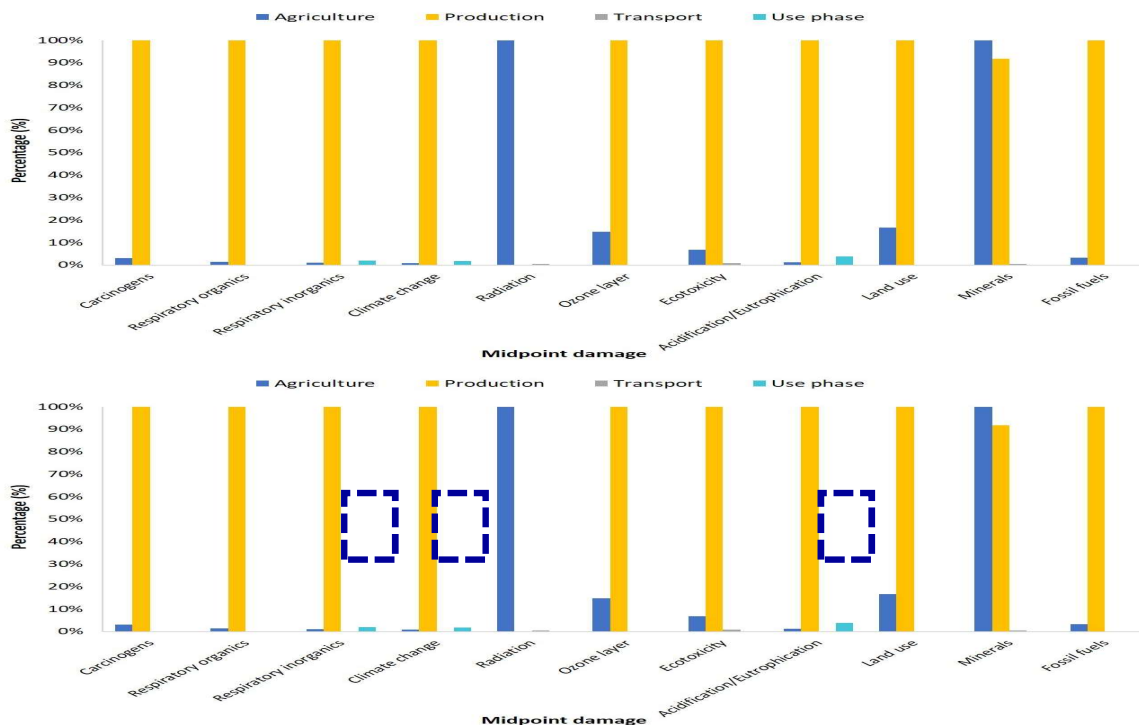
## Παραγωγή (Production)

- Συμβολή σε όλες σχεδόν τις επιπτώσεις → μεγάλες ποσότητες πρώτων υλών με υψηλές εκπομπές, μεγάλη χρήση ενέργειας
- Εκπομπές CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, SO<sub>x</sub> → αναπνευστικές επιπτώσεις, κλιματική αλλαγή, οξύνιση/ευτροφισμός
- Εκπομπές αρωματικών (μεθάνιο, βενζόλιο) → αναπνευστικές επιπτώσεις
- Καρκινογόνες ουσίες → νικέλιο, κάδμιο

# Υπολογισμός και ερμηνεία αποτελεσμάτων (V)

Ερμηνεία  
αποτελεσμάτων  
(ISO 14044)

## Ενδιάμεσες επιπτώσεις για όλα τα στάδια



### Μεταφορά (Transport)

- Σχεδόν μηδενικές επιπτώσεις → εξαρτάται από την επιλογή στοιχείων από τη βάση δεδομένων

### Κατανάλωση (Use Phase)

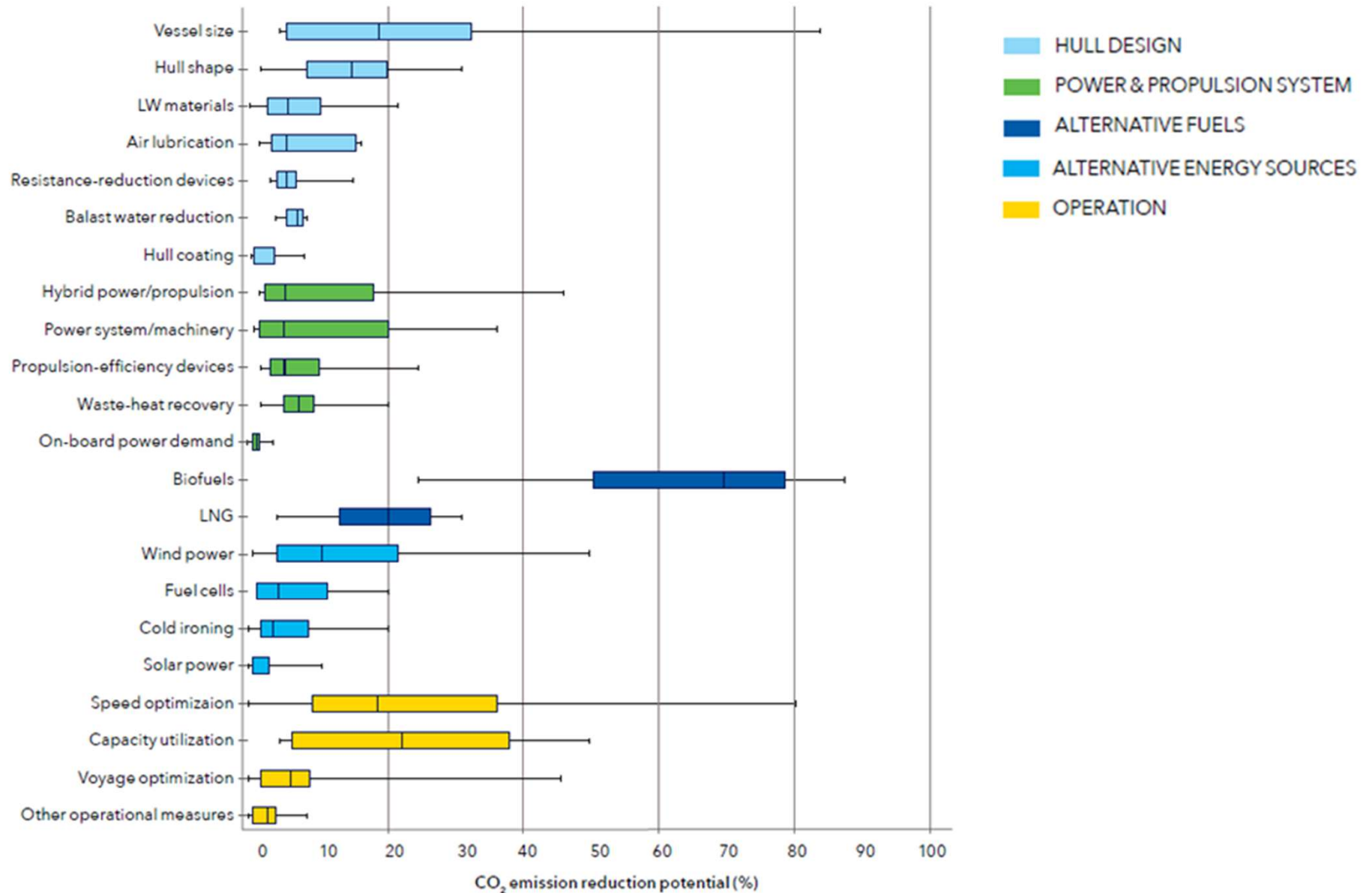
- Εκπομπές CO, CO<sub>2</sub> και NO<sub>2</sub> λόγω καύσης του βιοντίζελ → αναπνευστικές επιπτώσεις, κλιματική αλλαγή, οξύνιση/ευτροφισμός υδάτινων σωμάτων

# Παράδειγμα

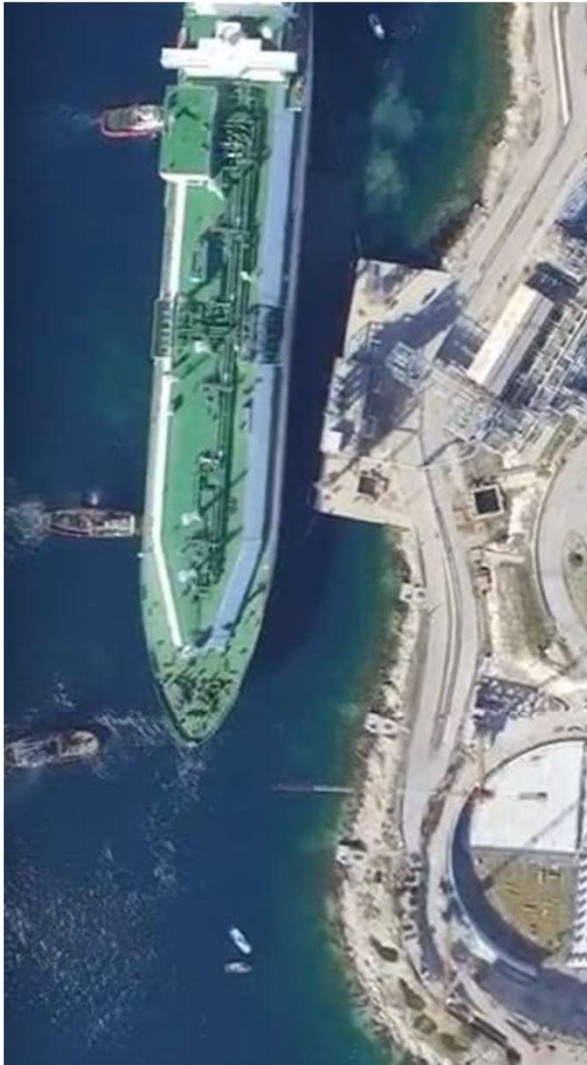
---

Εναλλακτικά καύσιμα πλοίων

# Δυναμικό βελτίωσης ανά κατηγορία τεχνολογίας



# Προοπτικές εναλλακτικών καυσίμων



**LNG**

- High energy density
- High cooling demands to achieve storage conditions

**Methanol**

- Adequate energy density
- Challenges in green sourcing

**Hydrogen**

- Zero carbon emissions fuel
- Challenges in green sourcing of adequate volumes

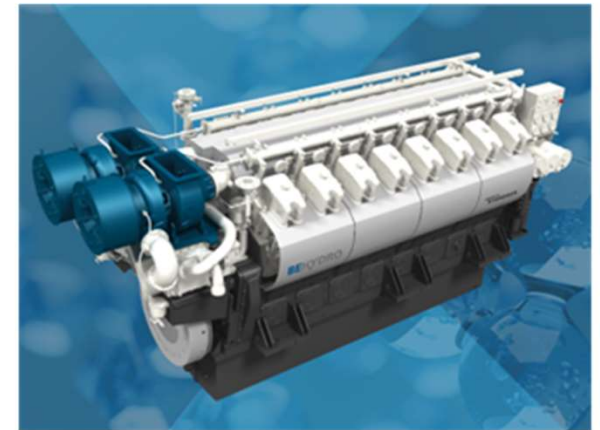
**Bio-fuels**

- Zero carbon emissions fuel
- Challenges in safety and availability

# Μηχανολογικός εξοπλισμός

85% hydrogen gas and 15%  
conventional fuel engine (16DZD  
H2 BEHYDRO ABC)

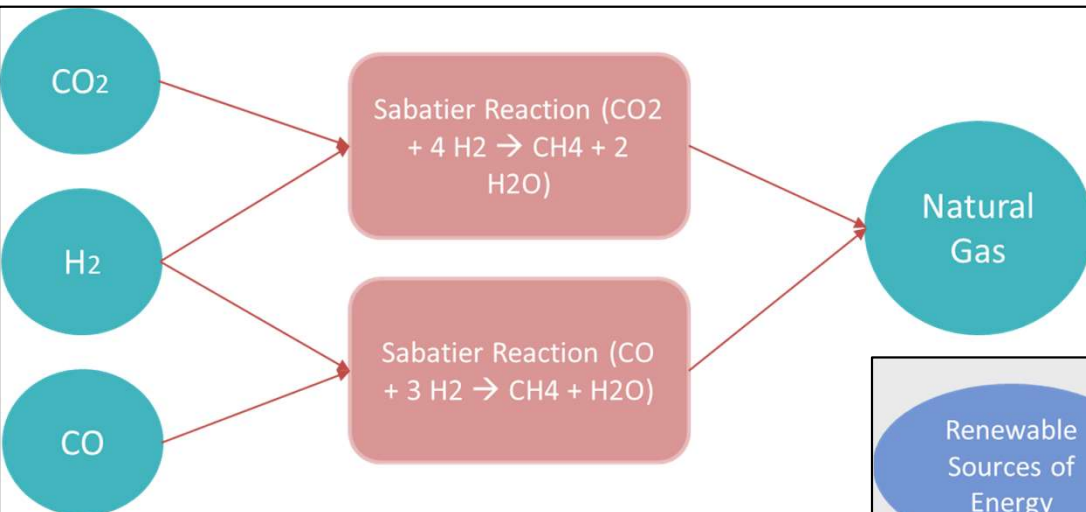
- Constant improvements in efficiency in new generation engines
- Alternative fuel engines are either on the market or close to being released
- Engines supporting multiple fuels are available allow flexibility for fuel use optimization



Methanol and/or fuel oils  
engine (WÄRTSILÄ 32)

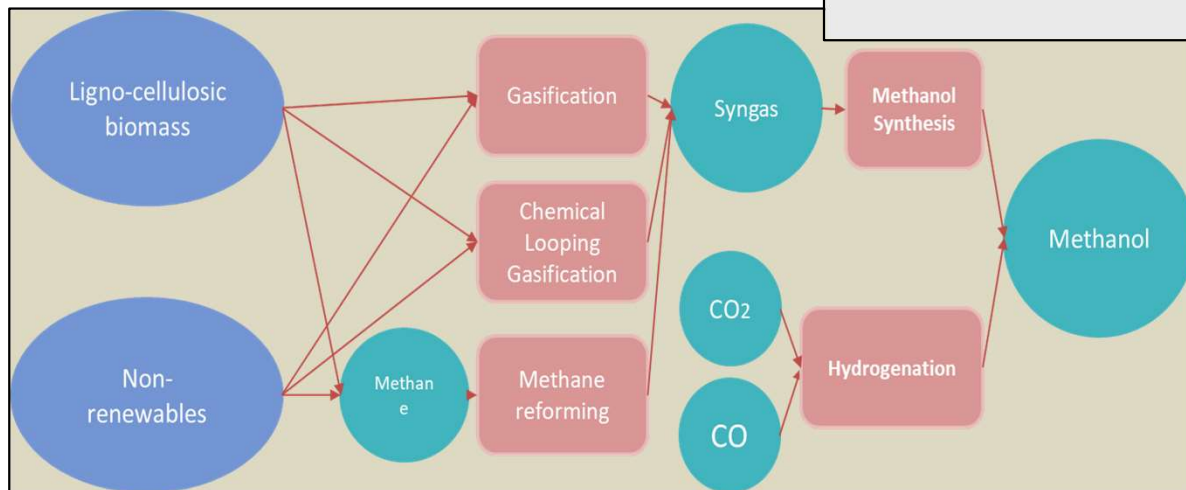
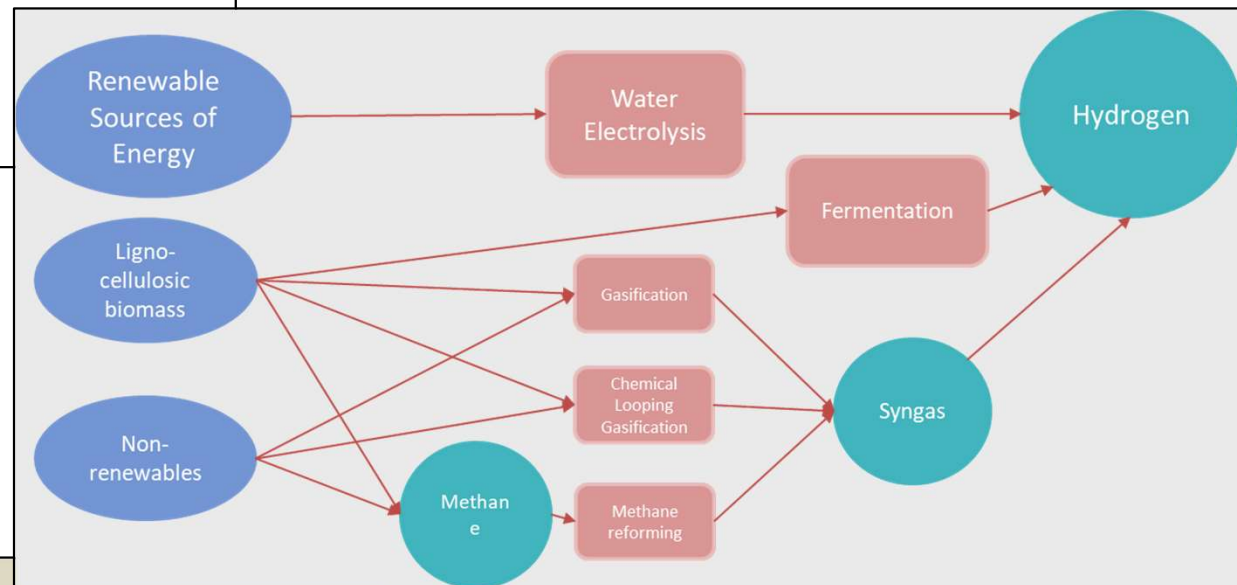


# Διεργασίες παραγωγής ανά καύσιμο



Συνθετικό φυσικό αέριο, αέριο αεριοποίησης

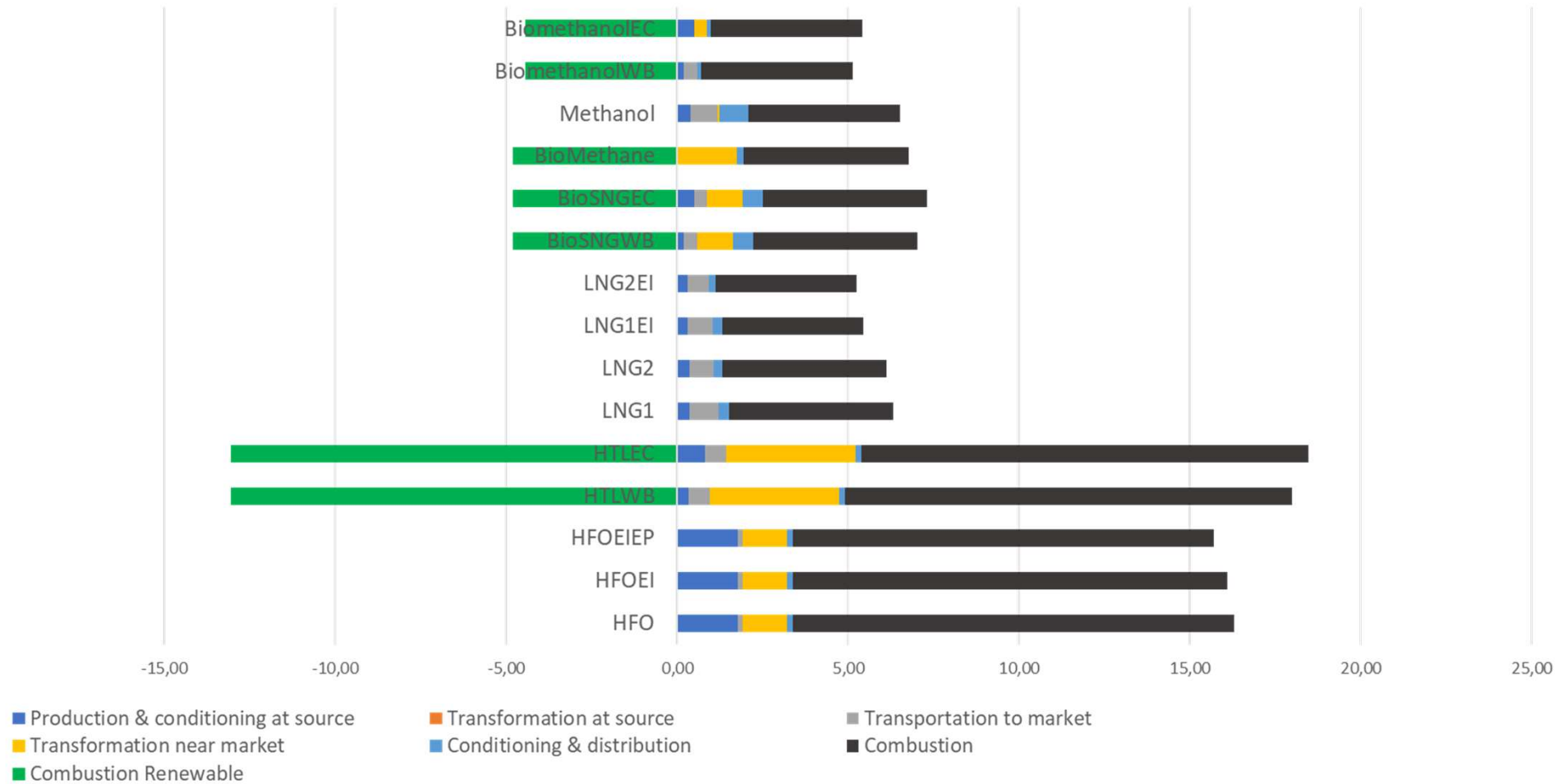
Αέριο σύνθεσης



Μεθανόλη

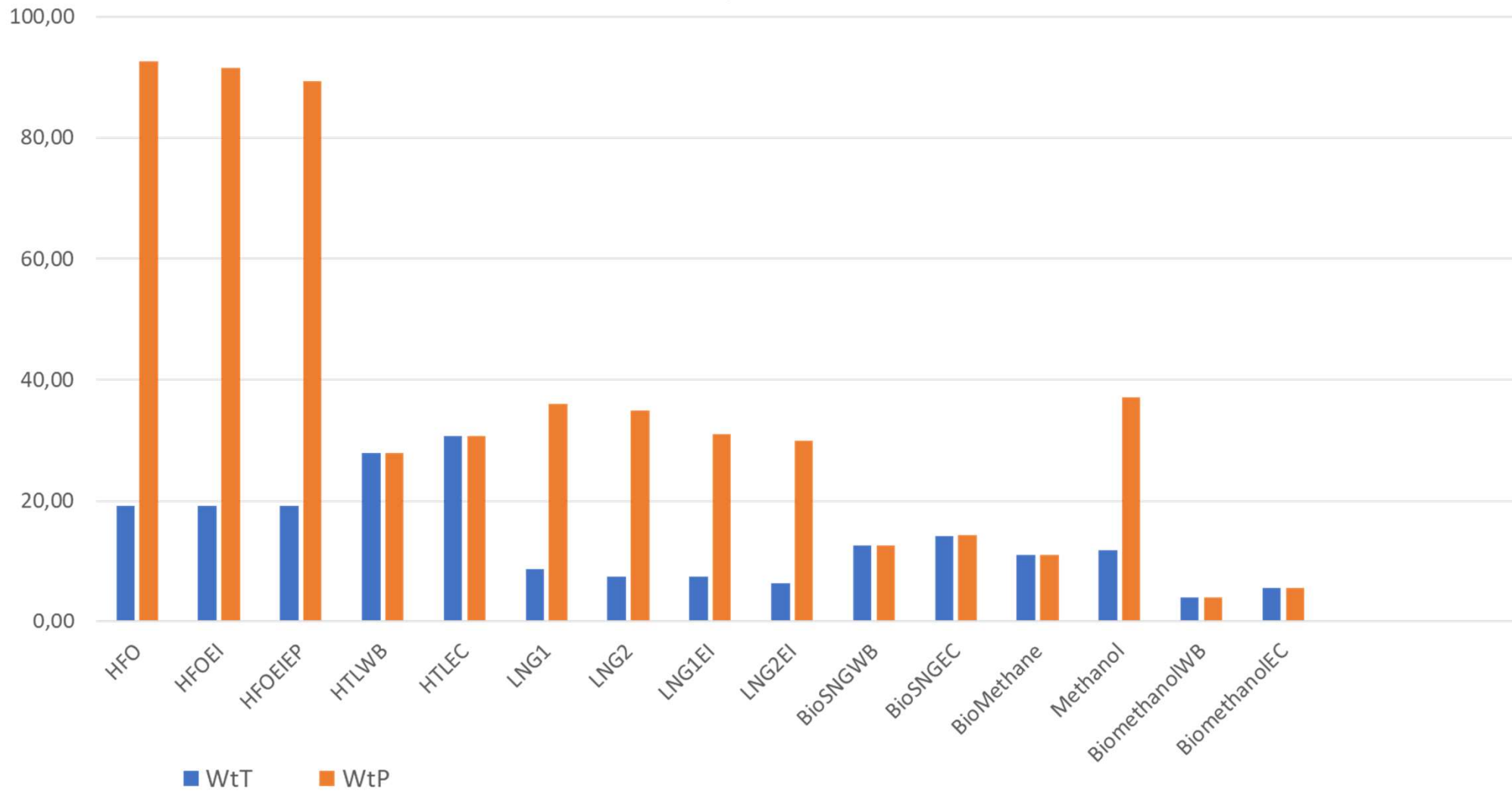
# Αποτυπώματα άνθρακα ανά καύσιμο

Well-to-Propeller CO2 eq emission (t/h)



# Ετήσιες εκπομπές

Annual CO<sub>2</sub>e<sub>q</sub> Emissions (kt/a)

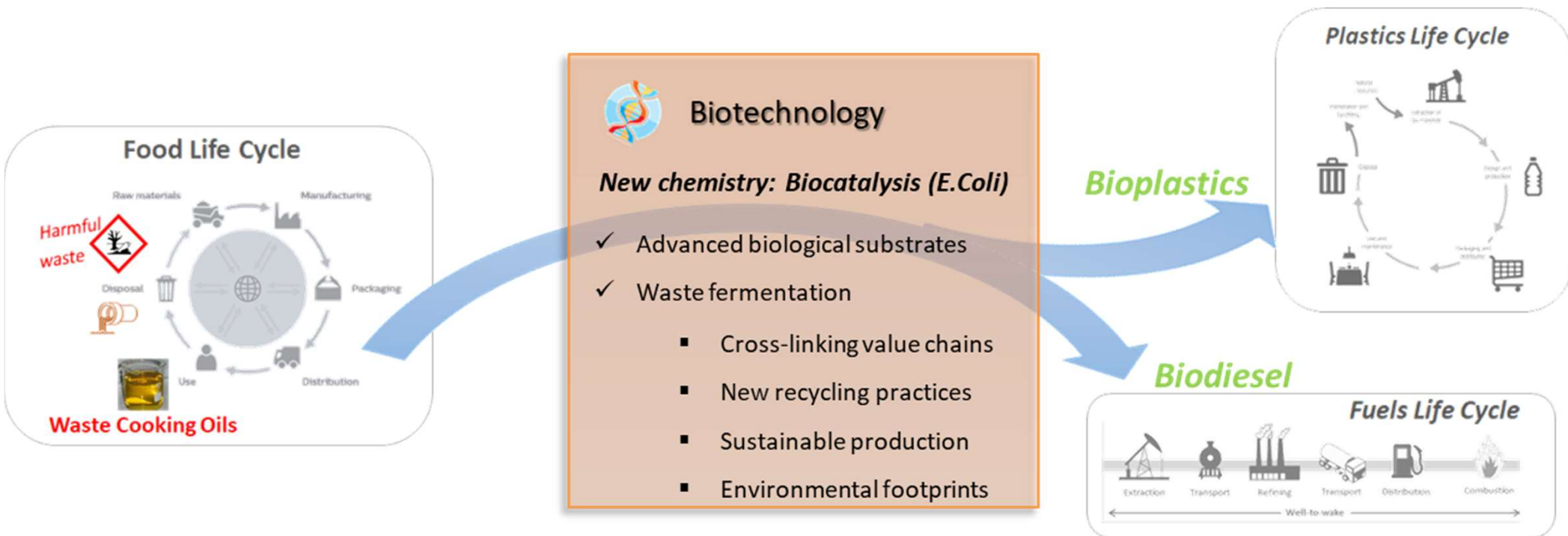


# Παράδειγμα

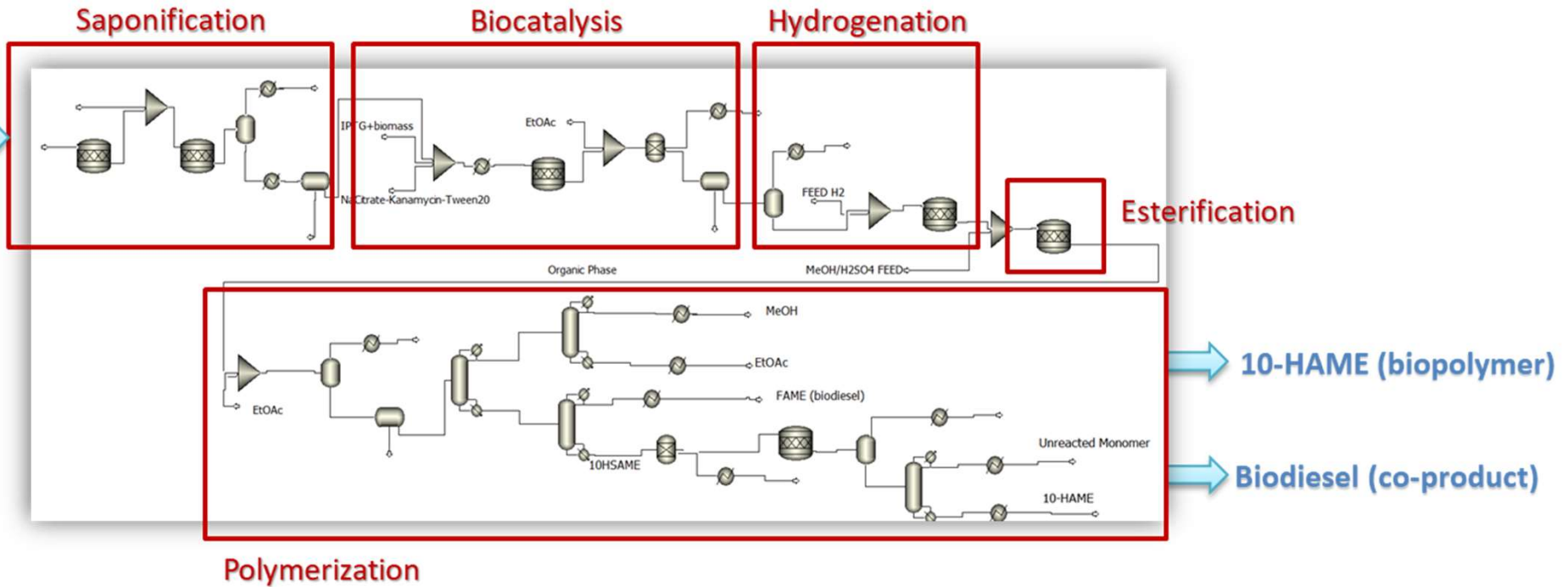
---

Παραγωγή πλαστικών απο βιοαπόβλητα

# Παράλληλη παραγωγή μονομερών (HA, κύριο προϊόν) και βιοντήζελ (παραπροϊόν)



# Διάγραμμα ολοκληρωμένης εγκατάστασης



## Income sources (Production)

- ❖ Bio-polymer: 11.2 ktn/yr
- ❖ Biodiesel: 17.6 ktn/yr

## Financial Indications

- ❖ CAPEX: 141 M€
- ❖ OPEX: 65 M€/yr

For a depreciation period of 20 years  
(Cost allocation strategy 34%-64% Biodiesel-Biopolymer)

	Proposed chemistry	Conventional production
Biopolymer PVC equivalent	1.66 €/ kg	1.80 €/ kg
Biodiesel	0.84 €/ kg	0.91 €/ kg

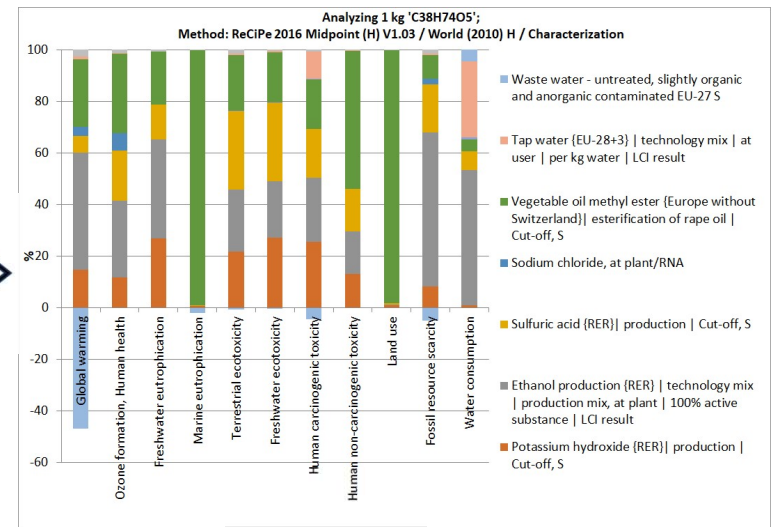
★ Improved prices by 8% ★

# Results: Life Cycle Analysis (Gate-to-Gate)

- ✓ Mid- & End-point Environmental Indicators
- ✓ Ecoinvent database
- ✓ ReCiPe Method

## Quantities of Inputs & Outputs SimaPro

Inputs [kg/hr]		Outputs [kg/hr]	
Triolein	1,837	Tristearin	87
Trilinolein	750	Oleic acid	15
Tripalmitin	226	Linoleic acid	0.2
KOH	637	Palmitic acid	11
H2O	20,859	Stearic acid	20
ETHANOL	731	Potassium oleate	8.3
H2SO4	2,125	Potassium linoleic	3.4
NaCl	477	Potassium palmitate	22
Isopropyl β-d-1-thiogalactopyranoside	1.7	Potassium stearate	234
e.Coli	278	H2O	285,413
Polysorbate	0.0004	KHSO4	1027
Kanamycin	0.1	Glycerol	257
Sodium Citrate	25	10-Hydroxyl-stearic-acid	82
Ethyl Acetate	149	Methyl stearate	378
Methanol	408	Methyl palmitate	172
Energy [MW]	2.2	O2	24
		Poly-10-HA	1424
		Energy [MW]	9



**Up to 30% less GHG emissions**

- ✓ Bio-catalysis: 2.4 kg CO<sub>2,eq</sub>/kg biopolymer
- ✓ Traditional fossil-based: 3.5 kg CO<sub>2,eq</sub>/kg polymer

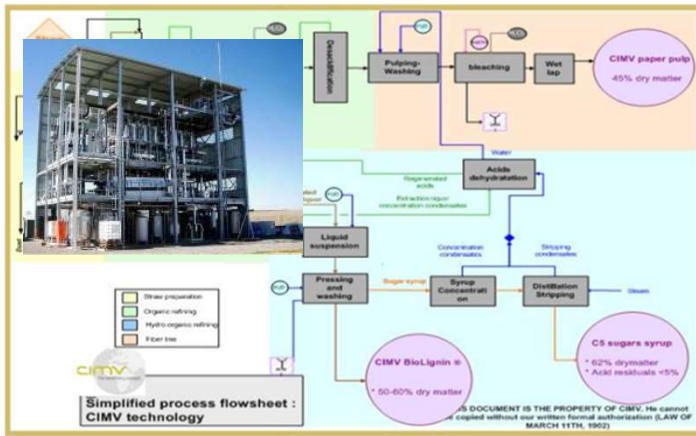


# Παράδειγμα

---

Ολοκληρωμένες εγκαταστάσεις βιοδιυλιστηρίων

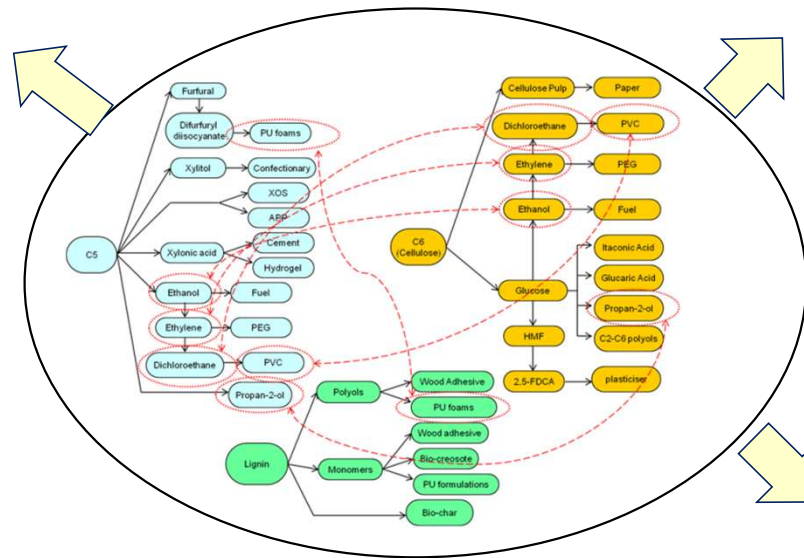
# Γαλλική τεχνολογία αξιοποίησης βιόμαζας



- Bulk chemicals: C6, C5, lignin
- Feedstocks: wheat straw, corn stover, rice, bagasse, hardwood
- 85 different products and chemistries



C6 Sugars - Cellulose		
Ranking	Product Name	Price €/tn
1	Polyamide_1	4000
2	Polyester	7523
3	Polyamide_1	4000
4	HMF_1	5000
5	Propan-2-ol	1667
6	Polyacrylate	1971
7	PEIF	1079
8	Pulp	550
9	Polypropylene1	970
10	Wood_Adhesive1	500
11	PEF	1079
12	Ethylene_Glycol	800
13	Dichloroethane1	442
14	Bio_PVC1	681
15	2_6_FDCA_Ester	622
16	Glucose	373
17	Sorbitol	583
18	Ethanol1	560
19	Ethylene1	906
20	Isosorbite	502
21	2G_sorbitan_esters	502



C5 Sugars		
Ranking	Product Name	Price €/tn
1	Xylonic Acid	61370
2	1_2_4_Butanetrio_trinitrate	90000
3	Difurfuryl disocyanate	15000
4	XOS	8500
5	Xylitol	3500
6	APP	2500
7	Hydrogel	1888
8	Bio_Polyester	1483
9	XB polyester	1750
10	New_Polyamide	1000
11	Dichloroethane2	442
12	Bio_PVC2	681
13	Wood_Adhesive2	360
14	C5 fraction	360
15	Ethanol2	560
16	Ethylene3	906
17	Polypropylene2	970
18	Furfural	597
19	Propylene2	930

Lignin		
Ranking	Product Name	Price €/tn
1	Lignin_Castor_Oil	4200
2	BIO_PU_Coating	10000
3	RF_Resin	1076
4	Aromatic_Polyols	1620
5	Vanillin	12000
6	Activated_Carbon	2093
	Phenolic_oligomers	800
	Phenolic_monomers	1750
7	Carbon_Black	835
	Phenolic_oligomers	1076
	Bio_Char	109
8	Pyrolysis_Oil	

- Scope for savings: bulk products
- Scope to expand: products and feedstocks
- Scope to integrate production paths of bulk and specialties

# Συνδυασμός ΤΕΑ και ΑΚΖ

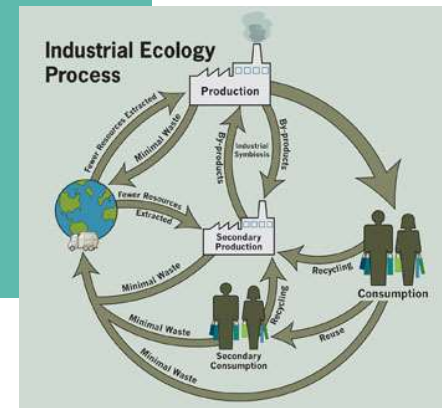
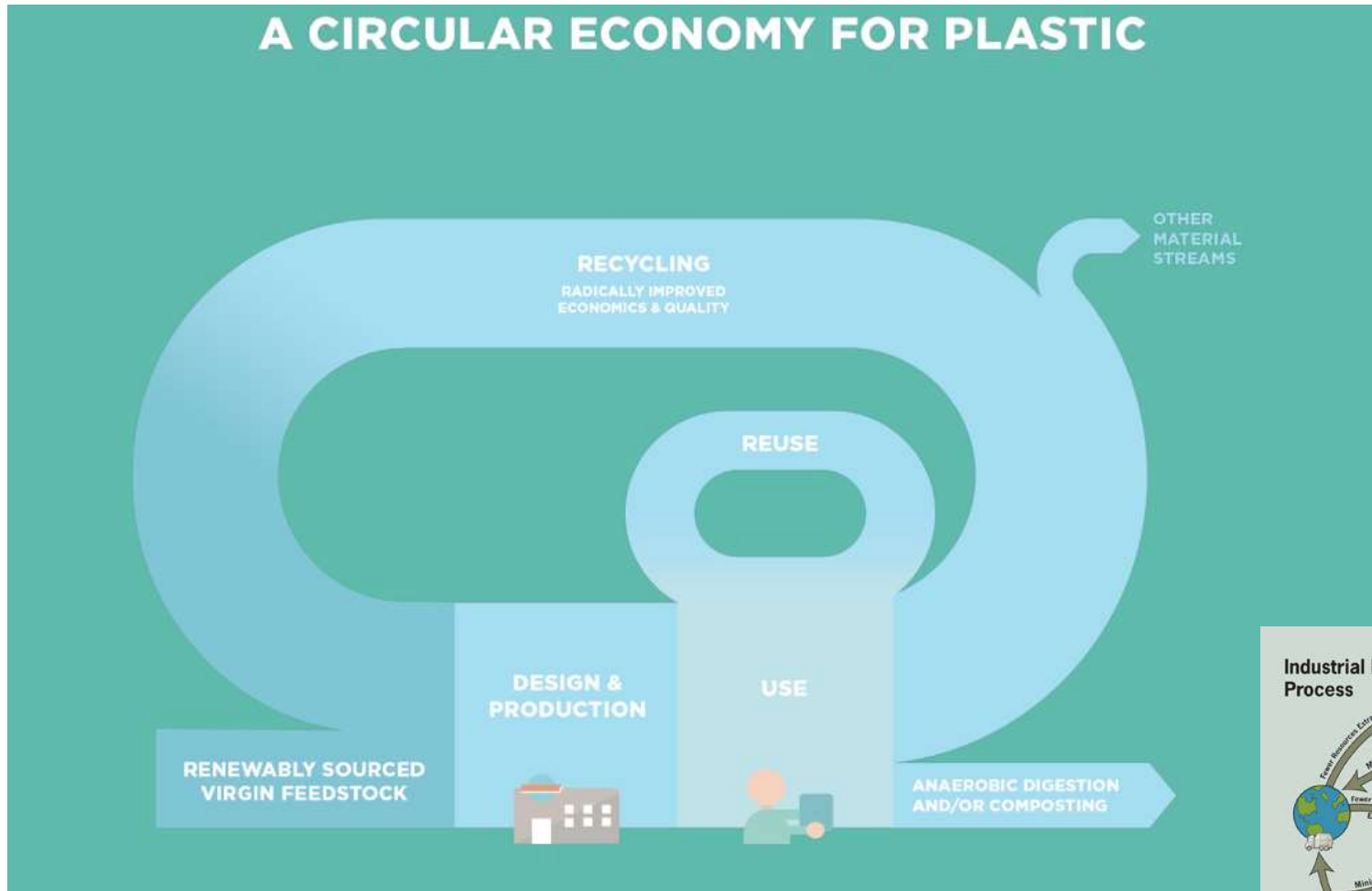
Cellulose								
Product name	Economic					Greenhouse gases		
	Rank (Econ)	Plant profit	Profit	Price	CAPACITY	Rank (GHG)	GHG balance	Reference product
			[%]	€/t	t/y		t CO <sub>2</sub> eq. / t	t CO <sub>2</sub> eq. / t
Polyamide_1	1	2,76E+07	110	4000	32400	1	-4,8	-6,4
Polyester_1	2	2,66E+07	106	7523	23760	12	-0,4	-2,7
Polyamide_2	3	2,64E+07	105	4000	39420	5	-2,3	-6,4
HMF_2	4	2,63E+07	105	5000	30000			
Propan_2_ol_1	5	2,57E+07	102	1667	55800	7	-0,7	-1,9
Polyacrylate	6	2,55E+07	101	1971	34200	2	-3,4	-6,8
PEIF	7	2,53E+07	100	1079	41310	14	-0,2	-1,8
PEF	8	2,52E+07	100	1079	33480	8	-0,6	-2,7
Pulp	9	2,52E+07	100	550	75000	19	0,4	-0,4
Polypropylene_1	10	2,52E+07	100	970	39060			
Wood_adhesive2	11	2,52E+07	100	500	75000	3	-3,4	-4,2
bioPVC1	12	2,51E+07	100	681	68428	21	0,5	-2,0
Glucose_2	13	2,51E+07	100	373	60000	16	0,2	-0,5
Ethylene_glycol	14	2,51E+07	100	800	39000	15	-0,1	-1,6
Ethylene_4	15	2,50E+07	99	906	19440	18	0,3	-1,4
2G_Ethanol_2	16	2,50E+07	99	560	32400	10	-0,5	-2,2
Dichloroethane_4	17	2,50E+07	99	443	68429			
2_5_FDCA_ester	18	2,49E+07	99	622	37800	9	-0,5	-2,6
Isosorbide	19	2,49E+07	99	502	33314			
Sorbitol_2	20	2,49E+07	99	583	32250	20	0,4	-0,5
2G_sorbitan_esters	21	2,48E+07	99	502	33282			
Itaconic acid for polyamide						4	-3,2	-6,4
Itaconic acid for SB rubber						6	-1,0	-2,9
Polyester_1						11	-0,4	-1,8
Polyester_1						13	-0,3	-1,8
Glucarate_2						17	0,2	-0,5

Lignin								
Product name	Economic					Greenhouse gases		
	Rank (Econ)	Plant profit	Profit	Price	CAPACITY	Rank (GHG)	GHG balance	Reference product
			[%]	€/t	t/y		t CO <sub>2</sub> eq. / t	t CO <sub>2</sub> eq. / t
Bio_PU_coatings	2	2,64E+07	117	10000	39000	4	-2,1	-2,8
Lignin_based_PF_resin	3	2,60E+07	115	1076	343980	2	-22,9	-4,2
Aromatic_polyols	4	2,31E+07	103	1620	39000			
Vanillin	5	2,29E+07	102	12000	3900		?	?
Activated_carbon	6	2,27E+07	101	2093	5742	6	-0,2	-2,4
Phenolic_oligo_monomers	6	2,27E+07	101	1076	10951			
Carbon_black	7	2,25E+07	100	835	5742	5	-0,2	-2,4
Phenolic_monomers	7	2,25E+07	100	1750	892			
Phenolic_oligomers	7	2,25E+07	100	800	5563			
Lignin as basis for PF resin						3	-3,2	-3,9
Pyrolysis oil as wood preservative						7	-0,3	-1,6
Bio_char_2	-			109		8	0,1	-0,4

C5 Sugars								
Product name	Economic					Greenhouse gases		
	Rank (Econ)	Plant profit	Profit	Price	CAPACITY	Rank (GHG)	GHG balance	Reference product
			[%]	€/t	t/y		t CO <sub>2</sub> eq. / t	t CO <sub>2</sub> eq. / t
Xyloic_acid_2	1	2,76E+07	350	61370	70470	9	0,2	-0,5
1_2_4_butanetriol_trinitrate	2	2,08E+07	264	90000	14515	1	-2,9	-8,4
Difurfuryl_diisocyanate	3	1,09E+07	138	15000	21384	3	-1,7	-4,1
XOS	4	9,72E+06	123	8500	23040	12	0,6	-0,1
Bio_xylitol	5	8,59E+06	109	3500	25200		?	?
APP	6	8,43E+06	107	2500	27720	6	-0,1	-2,3
Name_VTT (Hydrogel)	7	8,37E+06	106	1888	32400			
Bio_polyester	8	8,24E+06	104	1483	32400			
Xylitol_based_polyester	9	8,20E+06	104	1750	25200			
New_polyamide	10	7,90E+06	100	1000	18475	2	-2,1	-6,0
C5 fraction	11	7,89E+06	100	360	36000		(?)	-1,1
Polypropylene	12	7,85E+06	99	970	10080	8	0,1	-2,0
Ethanol_2	13	7,85E+06	99	560	18000	5	-0,3	-2,2
Ethylene_2	14	7,84E+06	99	906	10800	10	0,3	-1,4
Propylene_2	15	7,84E+06	99	930	10080			
bioPVC	16	7,83E+06	99	681	22429	11	0,4	-2,0
Dichloroethane_2	17	7,82E+06	99	433	38016			
Furfural_2	18	7,82E+06	99	579	15840	7	-0,1	-1,8
Wood_adhesive 1,2,4-butanetriol	19	7,72E+06	98	360	36000	4	-0,3	-4,1

- LCA extended beyond GHG
- Instead of Pareto, threshold analysis to prune value chain
- Reduction of viable paths but still DOF to explore

# Αειφορία και κυκλική οικονομία

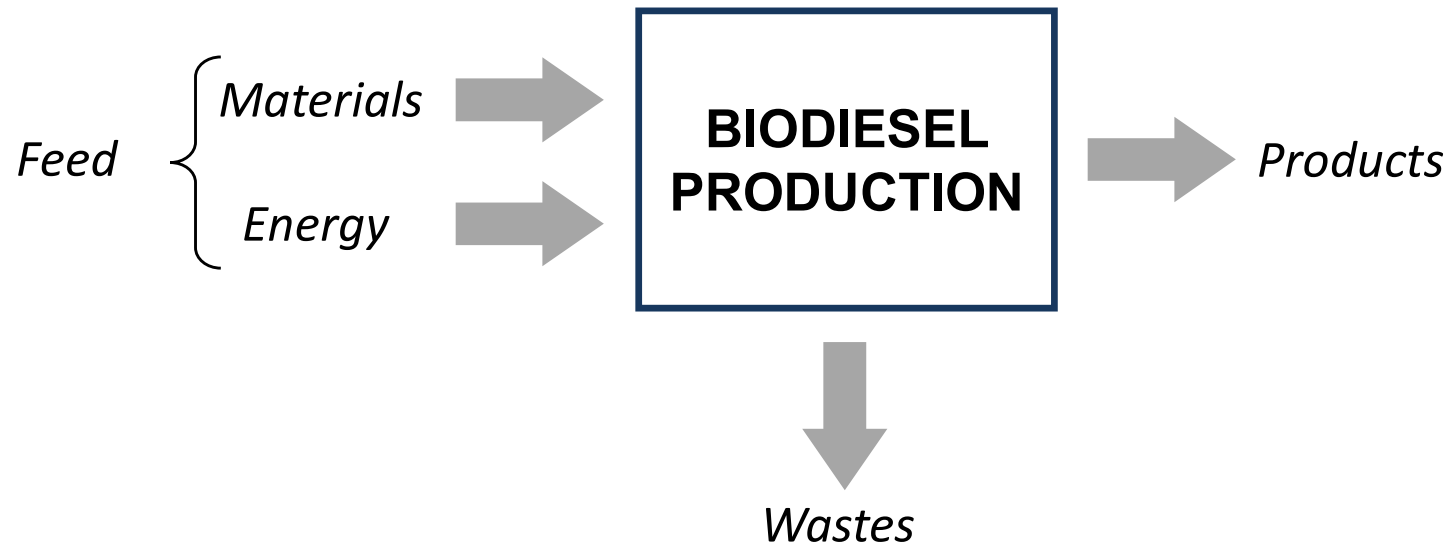


- **Εναλλακτικές πρώτες ύλες**: ανανεώσιμες και επαναχρησιμοποιημένες
- **Παραγωγή** που ενισχύει κύκλους επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης
- Συμβιωτικές σχέσεις στα πλαίσια της κυκλικής οικονομίας και βιομηχανικής συμβίωσης

Ευχαριστώ!

# Παρουσίαση προβλήματος

---



Θεωρείστε ως λειτουργική μονάδα το 1 kg βιοντίζελ και υπολογίστε:

- i. την κλιματική αλλαγή ( $\text{kgCO}_2 \text{ eq}$ ) και τη μείωση της στοιβάδας του όζοντος ( $\text{kg CFC-11-Eq}$ ).
- ii. τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, στους φυσικούς πόρους και στην ποιότητα του οικοσυστήματος σύμφωνα με τη μέθοδο Eco-indicator 99.

# Δεδομένα

## Ροές εισόδων και εξόδων

Inventory	Production
<i>Products</i>	
Biodiesel (kg)	992.07
<i>Materials</i>	
Jatropha oil (kg)	1000
Methanol (kg)	205
KOH (kg)	12
H2SO4 (kg)	14.71
Water (kg)	10
<i>Energy</i>	
Electricity (kWh)	0.704
Heat (MJ)	2125
<i>Wastes</i>	
K2SO4 (kg)	21.3
Liquid waste (kg)	28.27

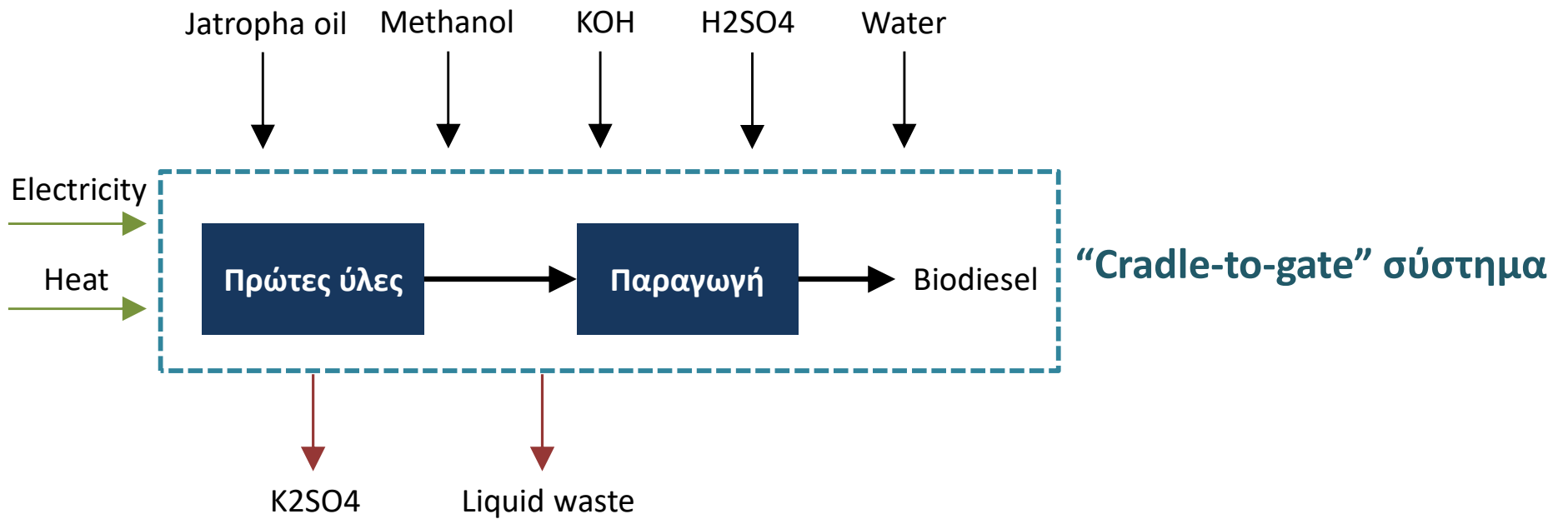
Λειτουργική μονάδα

1 kg biodiesel

Συντελεστές

Αρχείο excel

# 1. Οριοθέτηση



## 2. Αναγωγή στη λειτουργική μονάδα

Inventory	Production
<i>Products</i>	
Biodiesel (kg)	1
<i>Materials</i>	
Jatropha oil (kg)	1.007
Methanol (kg)	0.206
KOH (kg)	0.012
H2SO4 (kg)	0.015
Water (kg)	0.01
<i>Energy</i>	
Electricity (kWh)	7.096E-04
Heat (MJ)	2.142
<i>Wastes</i>	
K2SO4 (kg)	0.022
Liquid waste (kg)	0.029

### 3. Αντιστοίχιση με βάση δεδομένων

---

Flow	Dataset
<i>Materials</i>	
Jatropha oil (kg)	6575 - rape oil, at oil mill (RER)
Methanol (kg)	422 – methanol, at plant (GLO)
KOH (kg)	6122 - potassium hydroxide, at regional storage (RER)
H2SO4 (kg)	350 - sulphuric acid, liquid, at plant (RER)
Water (kg)	2292 - water, deionised, at plant (CH)
<i>Energy</i>	
Electricity (kWh)	756 - electricity, low voltage, at grid (GR)
Heat (MJ)	411 - heat, unspecific, in chemical plant (RER)
<i>Wastes</i>	
K2SO4 (kg)	6570 - potassium sulphate, as K2O, from rape oil, at esterification plant (RER)
Liquid waste (kg)	2237 -disposal, refinery sludge, 89.5% water, to sanitary landfill (CH)

## 4. Εκτίμηση επιπτώσεων (I)

### i. Υπολογισμός κλιματικής αλλαγής και μείωση στρωσφαιρικής οζοντοσφαιρικής (CML 2001)

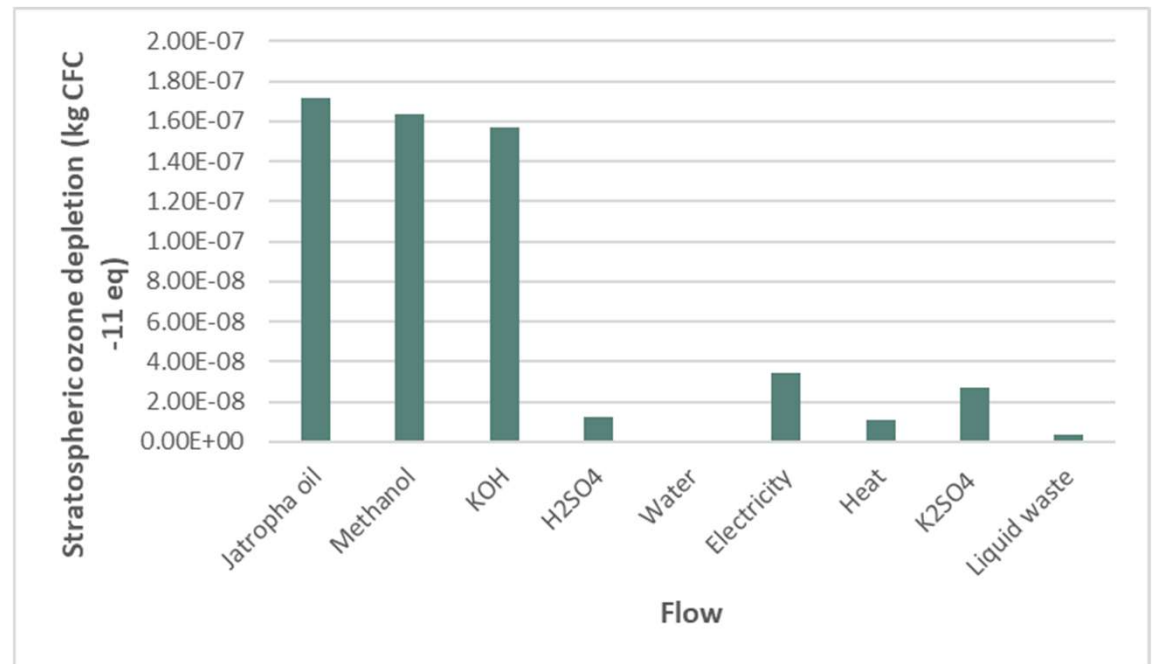
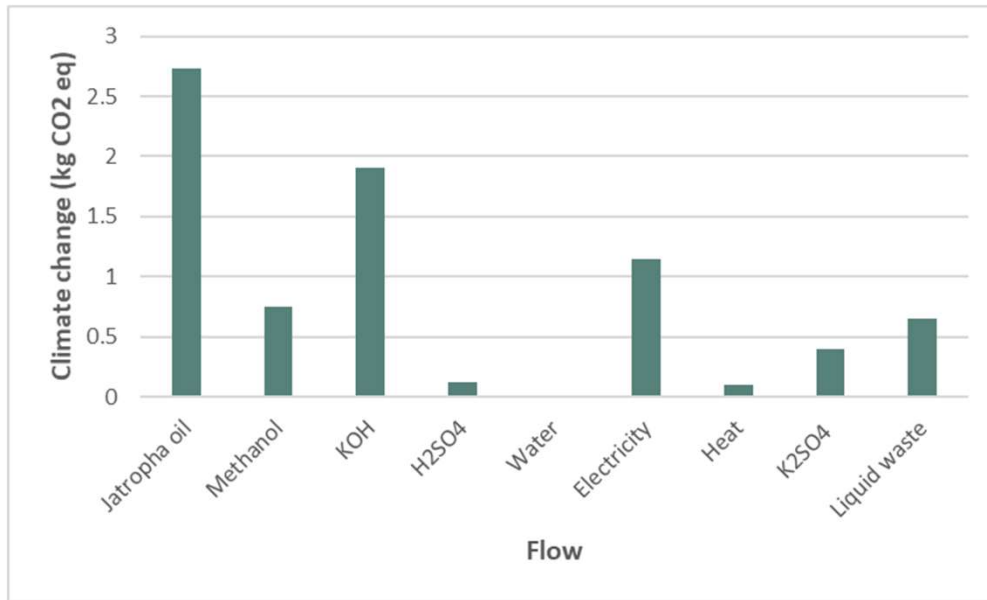
Flow	Climate change (kg CO <sub>2</sub> eq)	Stratospheric ozone depletion (kg CFC-11-Eq)
<i>Materials</i>		
Jatropha oil (kg)	2.746089	1.7267E-07
Methanol (kg)	0.15342262	3.36892E-08
KOH (kg)	0.0228708	1.88088E-09
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (kg)	0.00185925	1.89855E-10
Water (kg)	7.9585E-06	3.8642E-12
<i>Energy</i>		
Electricity (kWh)	0.000812492	2.41775E-11
Heat (MJ)	0.213435306	2.38105E-08
<i>Wastes</i>		
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (kg)	0.00865964	5.9939E-10
Liquid waste (kg)	0.01873835	9.65468E-11
<b>TOTAL</b>	<b>3.17</b>	<b>2.33E-07</b>

## 4. Εκτίμηση επιπτώσεων (II)

### ii. Υπολογισμός επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία, στους φυσικούς πόρους και στην ποιότητα του οικοσυστήματος (Eco indicator 99)

Flow	Ecosystem quality (points)	Human health (points)	Resources (points)
<i>Materials</i>			
Jatropha oil (kg)	0.96530013	0.1298023	0.058547987
Methanol (kg)	0.000288441	0.001930632	0.02397634
KOH (kg)	0.000101964	0.000610248	0.00069018
H2SO4 (kg)	4.40595E-05	0.000459645	7.76145E-05
Water (kg)	5.3256E-08	2.7976E-07	1.6752E-07
<i>Energy</i>			
Electricity (kWh)	4.86587E-06	3.85703E-05	9.19571E-06
Heat (MJ)	0.000435383	0.0028555	0.009066443
<i>Wastes</i>			
K2SO4 (kg)	0.00283536	0.00039182	0.000224576
Liquid waste (kg)	0.000139452	0.000625675	2.76967E-05
<b>TOTAL</b>	<b>9.69E-01</b>	<b>1.37E-01</b>	<b>9.26E-02</b>

## 5. Αναγνώριση hot-spots (I)



# 5. Αναγνώριση hot-spots (II)

