ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Ανάλυση Κύκλου Ζωής

1η φάση ΑΚΖ: υποθέσεις, πολυλειτουργικότητα

Γιώργος Α. Τσαλίδης

Περιεχόμενα

- Εργασία – Πρώτο μέρος
- Υποθέσεις
- Πολυ-λειτουργικότητα
- Καταλογιστική και Συνεπακόλουθη ΑΚΖ
- Χειρισμός πολυ-λειτουργικότητας
- Παραδείγματα κατανομής

Εργασία – Πρώτο μέρος

https://www.youtube.com/watch?v=g_iGNTMBtsA&t=256s

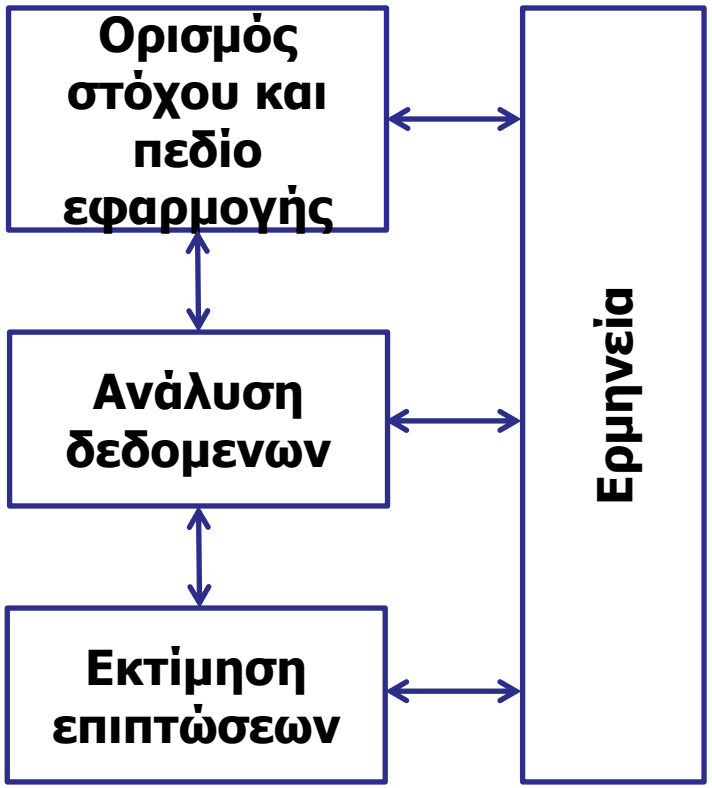


Υποθέσεις

- Ισχυρή σχέση με το στόχο και το πεδίο εφαρμογής, τα όρια του συστήματος και τη λειτουργική μονάδα.
- Οι υποθέσεις πρέπει να αντικατοπτρίζουν το (/τα) σύστημα (/τα).
- Οι υποθέσεις θα πρέπει να αναθεωρούνται/συζητούνται κριτικά.
- Οι υποθέσεις (μπορεί) να έχουν μεγάλες επιπτώσεις κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων
- Οι αβεβαιότητες είναι εγγενείς στις υποθέσεις
- Η εγκυρότητα των υποθέσεων πρέπει να ελέγχεται στη φάση της ερμηνείας

Ανάλυση κύκλου ζωής

Πλαίσιο LCA, σειρά ISO 14040

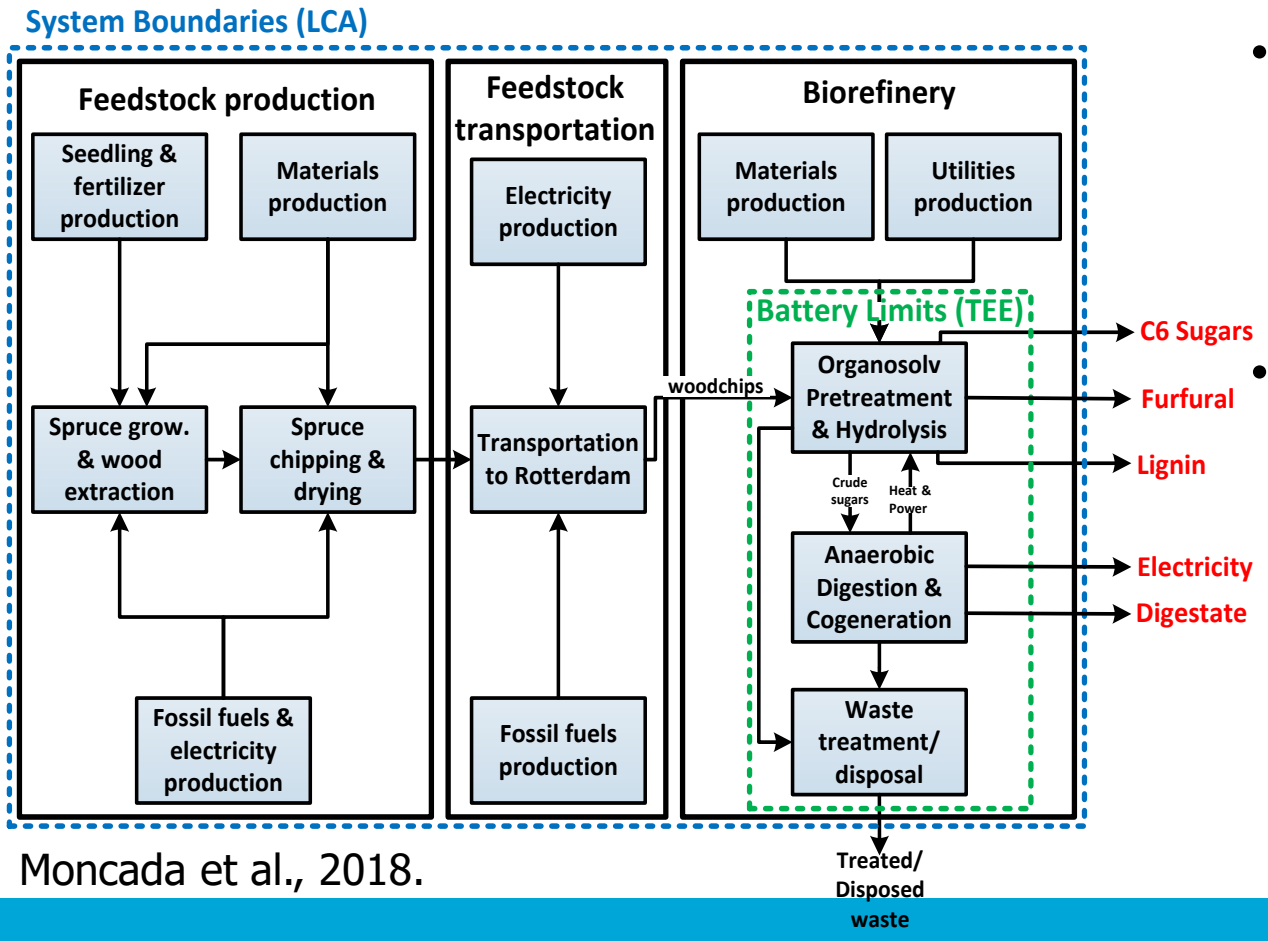


ISO 14040 Πλαίσιο αξιολόγησης κύκλου ζωής – Οι τέσσερις φάσεις μιας ΑΚΖ (ISO, 1997)

Παράδειγμα

Παραγωγή σακχάρων C6

Σύστημα Ι: Παραγωγή από σκανδιναβικό ξύλο



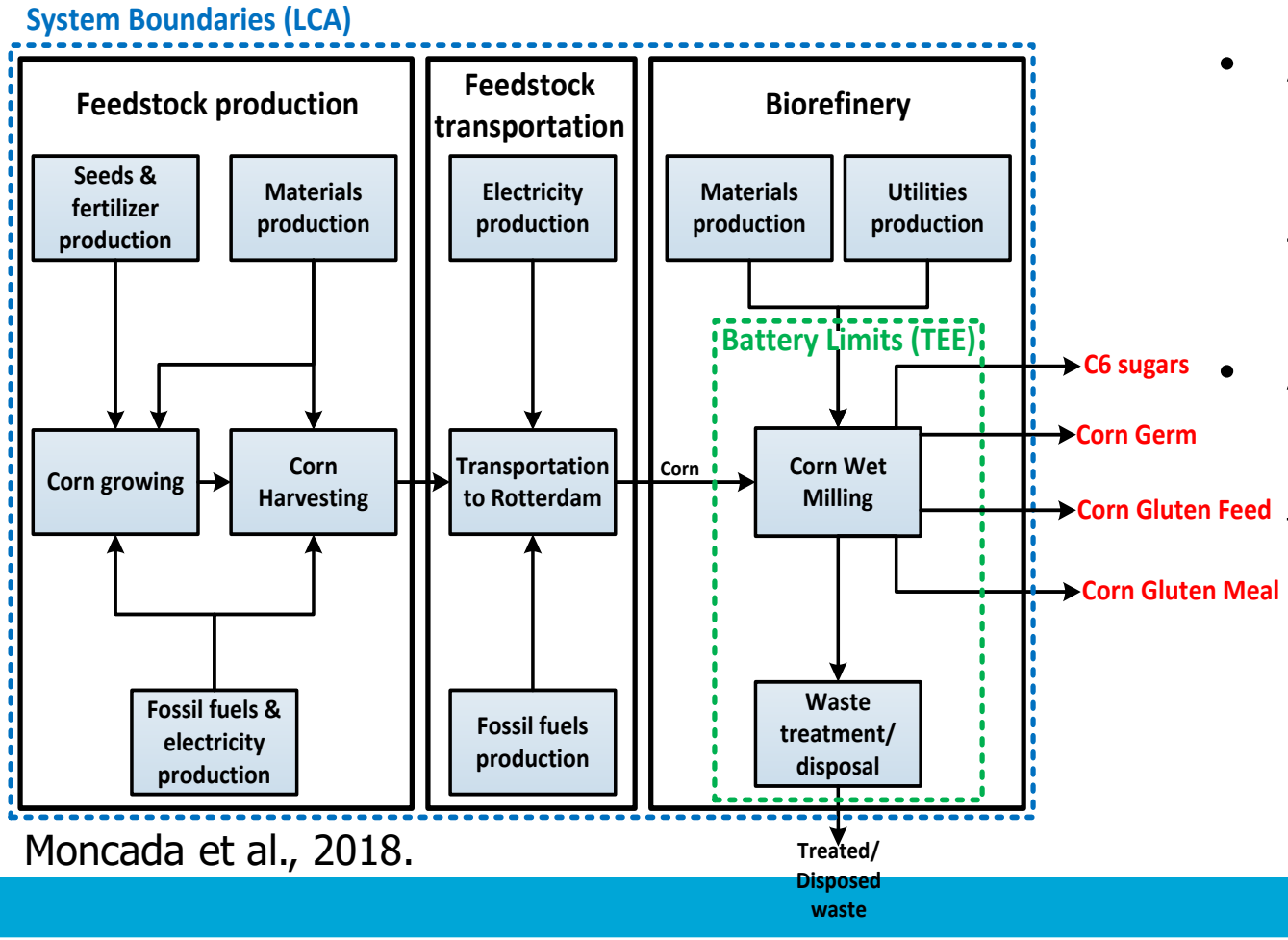
Moncada et al., 2018.

- Αξιολόγηση μελλοντικού κύκλου ζωής από το λίκνο μέχρι την πύλη
- **Λειτουργική μονάδα: *1 κιλό σάκχαρα C6***

Παράδειγμα

Παραγωγή σακχάρων C6

Σύστημα ΙΙ: Παραγωγή από καλαμπόκι



Moncada et al., 2018.

- Αξιολόγηση μελλοντικού κύκλου ζωής από το λίκνο μέχρι την πύλη
- **Λειτουργική μονάδα: *1 κιλό σάκχαρα C6***

Υποθέσεις




Σύστημα I

- Σάκχαρα C6 που θα παραχθούν στο Ρότερνταμ
- Επεξεργασία ξύλου στη Σουηδία και αποστολή στο Ρότερνταμ
- 200 km εμπορευματική σιδηροδρομική μεταφορά από ξυλουργεία στο λιμάνι του Γκέτεμποργκ
- Θαλάσσια μεταφορά 928 χλμ., με χρήση πλοίου μεταφοράς
- 20 km μεταφορά από το λιμάνι του Ρότερνταμ στην εγκατάσταση
- Παραγωγή σακχάρων C6 359 kton / έτος




Σύστημα II

- Σάκχαρα C6 που θα παραχθούν στο Ρότερνταμ
- Καλαμπόκι επεξεργάζεται στις ΗΠΑ και αποστέλλεται στο Ρότερνταμ
- 300 km εμπορευματική σιδηροδρομική μεταφορά από αγροκτήματα στο λιμάνι του Norfolk
- Θαλάσσια μεταφορά 6,569 χλμ., με φορτηγό Supramax
- 20 km μεταφορά από το λιμάνι του Ρότερνταμ στην εγκατάσταση
- Παραγωγή σακχάρων C6 359 kton / έτος

Ποια υπόθεση θα ελέγχατε πρώτη;

Συγκρίνουμε παραγωγή σακχάρων από ξύλο και καλαμπόκι.
Μπορείτε να ελέξετε καλύτερα μόνο μία παραδοχή:

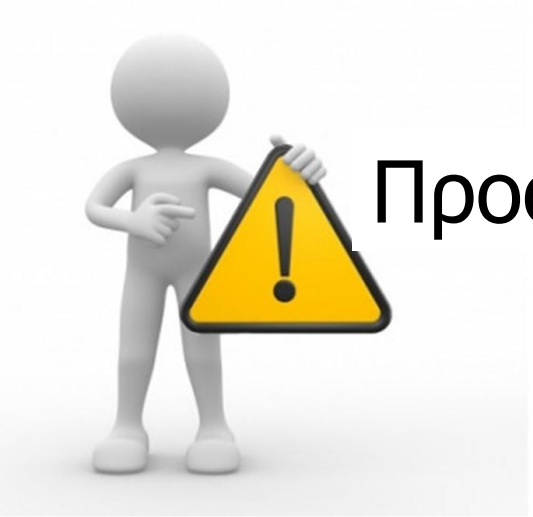
1. Αποστάσεις μεταφοράς

2. Κατανάλωση ενέργειας στην παραγωγή

3. Απόδοση πρώτης ύλης σε σάκχαρα

Ποια επιλέγετε και γιατί;
Αρκεί η μεγαλύτερη απόσταση για να είναι ένα σύστημα περιβαλλοντικά χειρότερο;

Υποθέσεις



Προσοχή!

Η διαθεσιμότητα δεδομένων μπορεί επίσης να οδηγήσει στην ανάγκη εξέτασης πρόσθετων υποθέσεων κατά την εκτέλεση μιας ΑΚΖ!

Για παράδειγμα, συλλογή παραγόντων χαρακτηρισμού.

Πολύ-λειτουργικότητα

- **Λειτουργική ροή:** οποιαδήποτε από τις ροές σε μια διαδικασία μονάδας που αποτελεί τον στόχο της
  - Εκροές προϊόντων από παραγωγικές διαδικασίες
  - Εισροές αποβλήτων από διαδικασίες επεξεργασίας αποβλήτων

- Μια **πολυλειτουργική διαδικασία** είναι μια διαδικασία που έχει περισσότερες από μία λειτουργικές ροές, δηλαδή ροές που αποτελούν τους στόχους της διαδικασίας (Guinée and Heijungs ., 2007).
  - Διυλιστήρια πετρελαίου
  - Βιοδιυλιστήρια

Πολυ-λειτουργικότητα



Γιατί η πολυλειτουργικότητα είναι πρόβλημα στην ΑΚΖ;

Το πρόβλημα πολυλειτουργικότητας είναι ένα τεχνούργημα της επιθυμίας να απομονωθεί μια λειτουργία του συστήματος στην ΑΚΖ

Do not edit
How to change the design

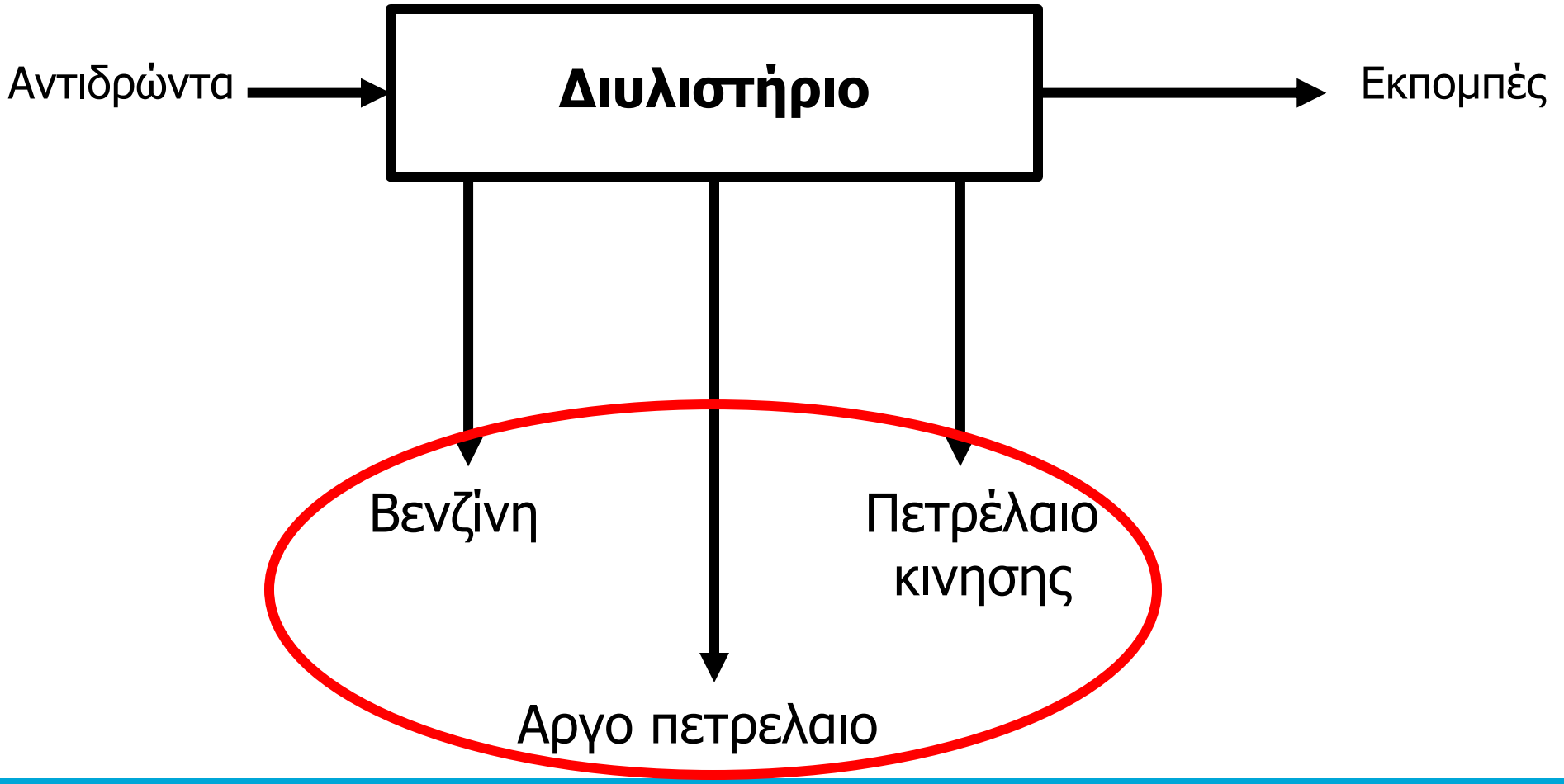


Ένα διυλιστήριο που παράγει βενζίνη, αργό πετρέλαιο και πετρέλαιο κίνησης ειναι:

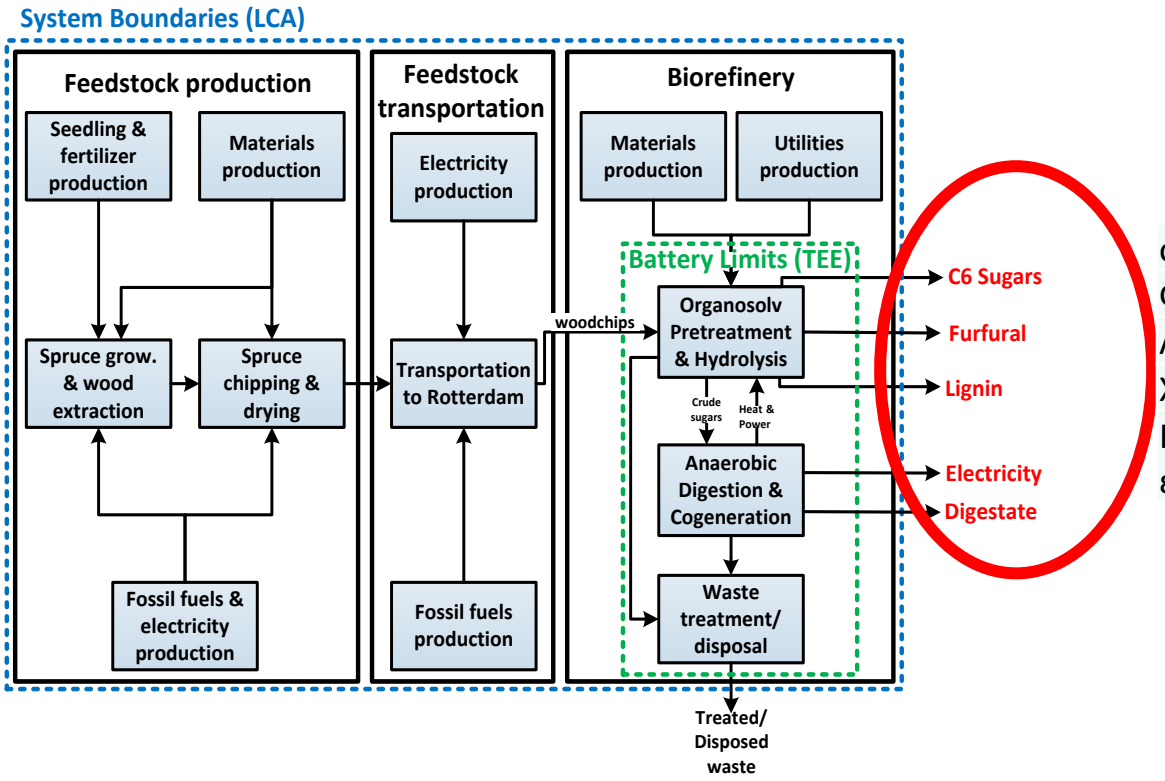
The Slido app must be installed on every computer you're presenting from

slido

Πολυ-λειτουργικότητα σε διυλιστήριο



Πολυ-λειτουργικότητα



Προϊόντα

σάκχαρα C6	1.00	kg/kg ζάχαρη C6
Φουρφουράλη	0,03	kg/kg ζάχαρη C6
Λιγνίνη	0,53	kg/kg ζάχαρη C6
Χωνεμένο	0,98	kg/kg ζάχαρη C6
Ηλεκτρική ενέργεια	2,65	MJ/kg ζάχαρη C6

Moncada et al., 2018.

Είναι όλες οι εκροές λειτουργικές ροές;

Ένα βιοδιυλιστήριο παράγει σάκχαρα, φουρφουράλη, λιγνίνη, χωνεμένο υλικό και ηλεκτρική ενέργεια.

1. Είναι κάθε εκροή αυτομάτως προϊόν;

2. Τι πρέπει να γνωρίζουμε για τη λιγνίνη και το χωνεμένο υλικό;

3. Είναι οι εκπομπές CO_2 λειτουργική ροή;

Επιλέξτε μία εκροή και πείτε ποια επιπλέον πληροφορία χρειάζεστε.

Do not edit
How to change the design

Ένα εργοστάσιο παραγωγής αλουμινίου είναι:



The Slido app must be installed on every computer you're presenting from

slido

Εργοστάσιο παραγωγής αλουμινίου



Do not edit
How to change the design

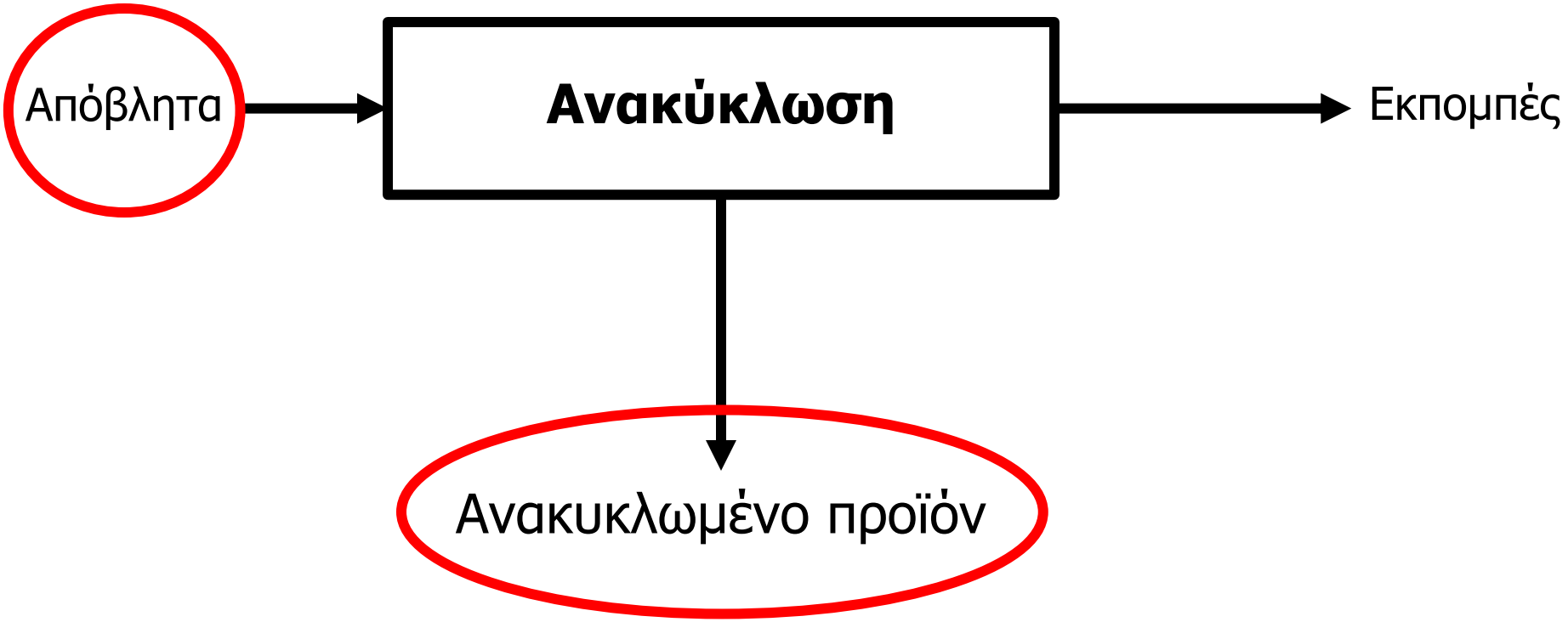
Ένα εργοστάσιο ανακλυκλωσης αλουμινίου είναι ένα:



The Slido app must be installed on every computer you're presenting from

slido

Πολυ-λειτουργικότητα στην επεξεργασία αποβλήτων



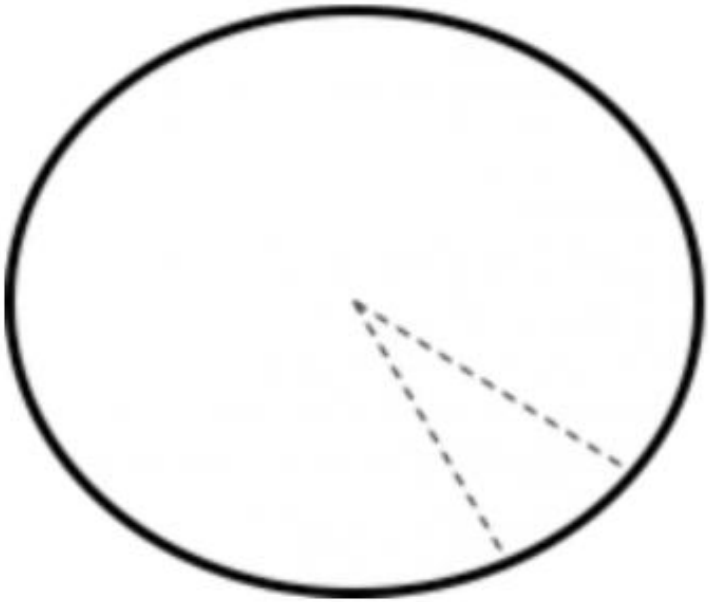
Πολυλειτουργικότητα είδη

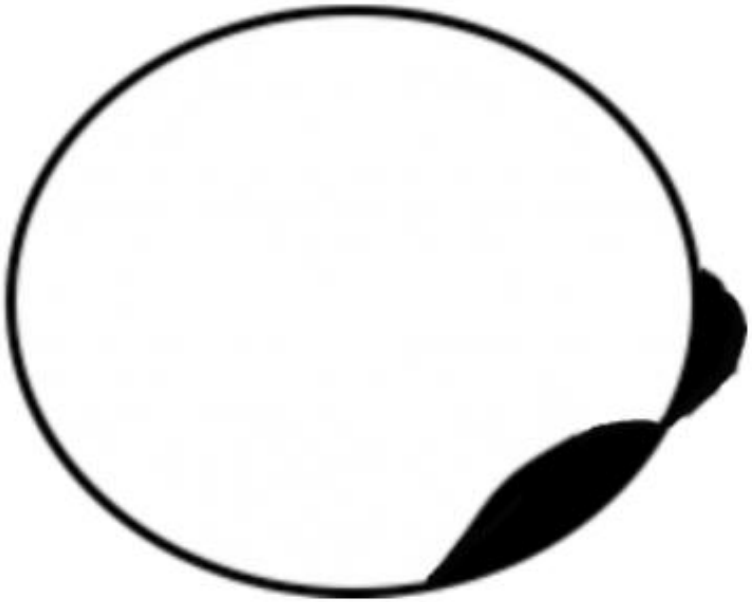


Τι είδους πολύ-λειτουργικότητα περιμένετε να αντιμετωπίσουμε στα πλαίσια του μαθήματος;

Κατανομή με βάση τον τύπο AKZ;

- Καταλογιστική προσέγγιση
- Συνεπακόλουθη προσέγγιση





Καταλογιστική έναντι Συνεπακόλουθη ΑΚΖ

Καταλογιστική

- Ποια είναι τα συνολικά περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τις διεργασίες και τις ροές υλικών που χρησιμοποιούνται άμεσα στον κύκλο ζωής ενός προϊόντος;
- Ισχύει για την κατανόηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνδέονται άμεσα με τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος.
- Δεν λαμβάνει υπόψη τις αγοραίες ή έμμεσες επιπτώσεις στην παραγωγή και την κατανάλωση του προϊόντος.
- Κατανέμει τις επιπτώσεις σε συμπροϊόντα χρησιμοποιώντας μεθόδους επέκτασης συστήματος ή οικονομικής, ενεργειακής ή μαζικής κατανομής

Συνεπακόλουθη

- Ποια είναι η αλλαγή στο συνολικό περιβαλλοντικές επιπτώσεις ως αποτέλεσμα μιας οριακής αλλαγής στην παραγωγή (και κατανάλωση και διάθεση) ενός προϊόντος;
- Ισχύει για την ενημέρωση των καταναλωτών και των υπευθύνων χάραξης πολιτικής σχετικά με την αλλαγή των συνολικών εκπομπών από μια απόφαση αγοράς ή πολιτικής.
- Λαμβάνει υπόψη τις επιπτώσεις της αγοράς ή τις έμμεσες επιπτώσεις στην παραγωγή και την κατανάλωση του προϊόντος.
- Εξετάζει την επίδραση των συμπροϊόντων χρησιμοποιώντας την αντικατάσταση (= substitution)

Ποια ερώτηση απαντά η μελέτη;

Καταλογιστική ή συνεπακόλουθη ΑΚΖ;
Αντιστοιχίστε και αιτιολογήστε:

1. Επιπτώσεις που αποδίδονται σε 1 kg αλουμινίου με το σημερινό σύστημα παραγωγής.

2. Αλλαγές από αυξημένη χρήση ανακυκλωμένου αλουμινίου.

3. Αποτύπωμα της τρέχουσας παραγωγής επιχείρησης.

4. Αλλαγές από νέο δημοτικό πρόγραμμα συλλογής.

Πρότυπο ISO βήματα για την αντιμετώπιση της πολυ-λειτουργικότητας

1. Αποφύγετε την κατανομή αν είναι δυνατόν
2. Διαχωρίστε τη διαδικασία σε υποδιεργασίες
3. Επέκταση του συστήματος (συμπεριλαμβανομένης της αντικατάστασης;)
4. Κατανομή με βάση την μάζα (mass allocation)
5. Κατανομή με βάση την οικονομία (economic allocation)
6. Άλλο είδος κατανομής (energy allocation)

Χειρισμός πολυ-λειτουργικότητας (1)

- **Επέκταση συστήματος**: προσθήκη επιπλέον λειτουργίας στη Λειτουργική Μονάδα

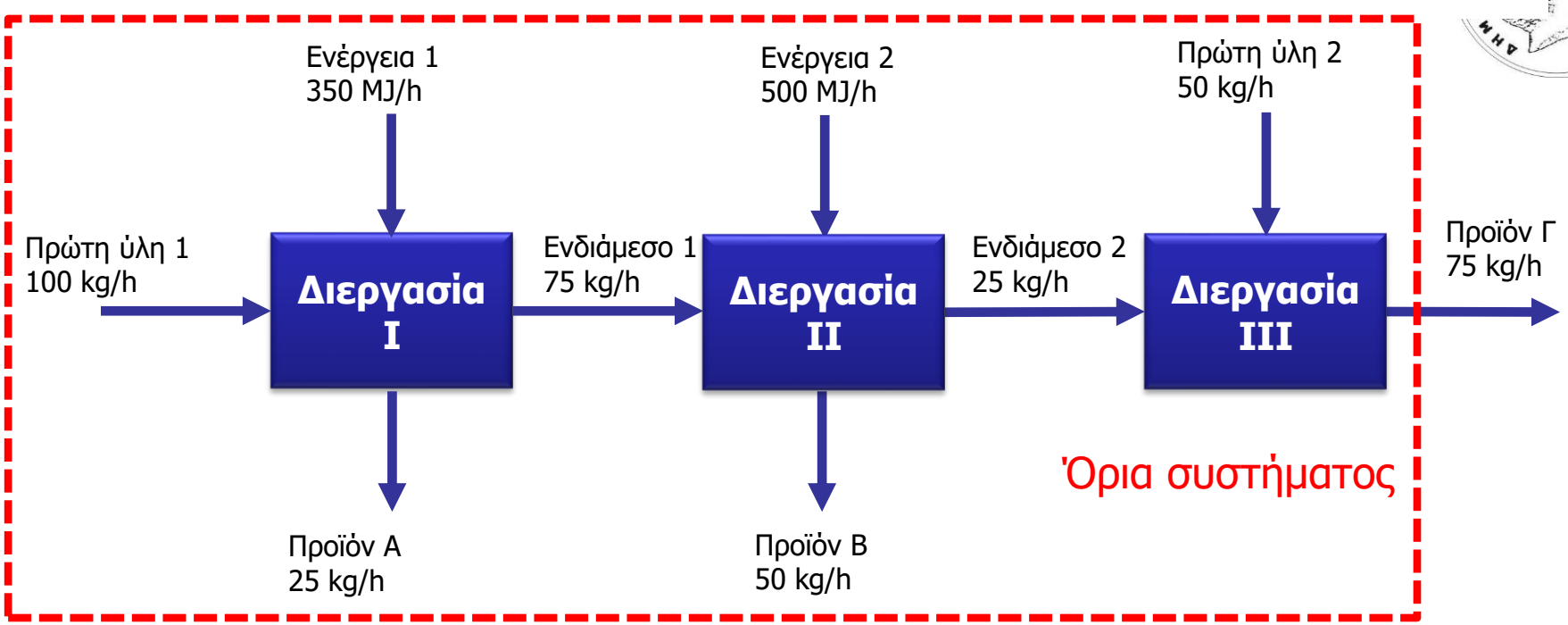
- **Αντικατάσταση**: ορίστε τη διαδικασία «αποφυγής» και «αποφεύγονται» επιπτώσεις

- Πλεόνασμα ή **αποκοπή (cut off)**: αγνοώντας τα συμπροϊόντα

Χειρισμός πολυ-λειτουργικότητας (2)

- **Μαζική κατανομή**: καταμερισμός με βάση τη μάζα των προϊόντων. Περιλαμβάνει επίσης προσεγγίσεις υποδιαίρεσης
- **Κατανομή ενέργειας**: καταμερισμός με βάση την ενσωματωμένη ενέργεια των προϊόντων.
- **Οικονομική κατανομή**: επιμερισμός με βάση τη μάζα **ΚΑΙ** την οικονομική αξία.
- Η χρήση της μεθόδου κατανομής έχει ως αποτέλεσματον υπολογισμό συντελεστών κατανομής (%)

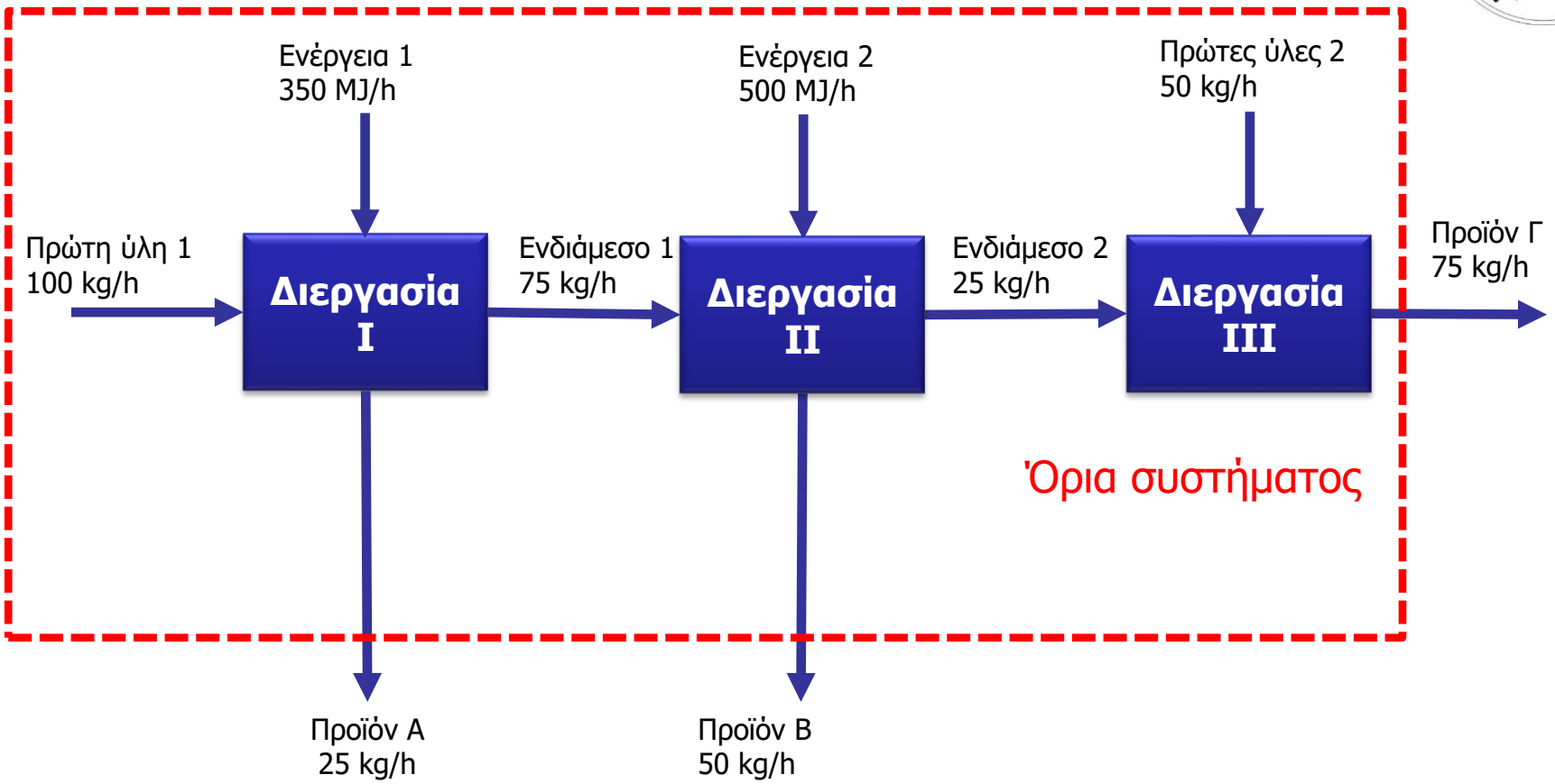
Παράδειγμα κατανομής (1)



Παράγοντες χαρακτηρισμού θερμοκηπικών αερίων	
Πρώτη ύλη 1	1.15 kg CO_2-eq/kg
Πρώτη ύλη 2	3.23 kg CO_2-eq/kg
Ενέργεια	0,7 kg CO_2-eq/MJ

Κύριο προϊόν Γ
Λειτουργική μονάδα: 1 kg προϊόν Γ

Επέκταση συστήματος



Παράδειγμα κατανομής (2)

$$Impact = \sum CF_{i,p} \times FlowEmitted_p$$

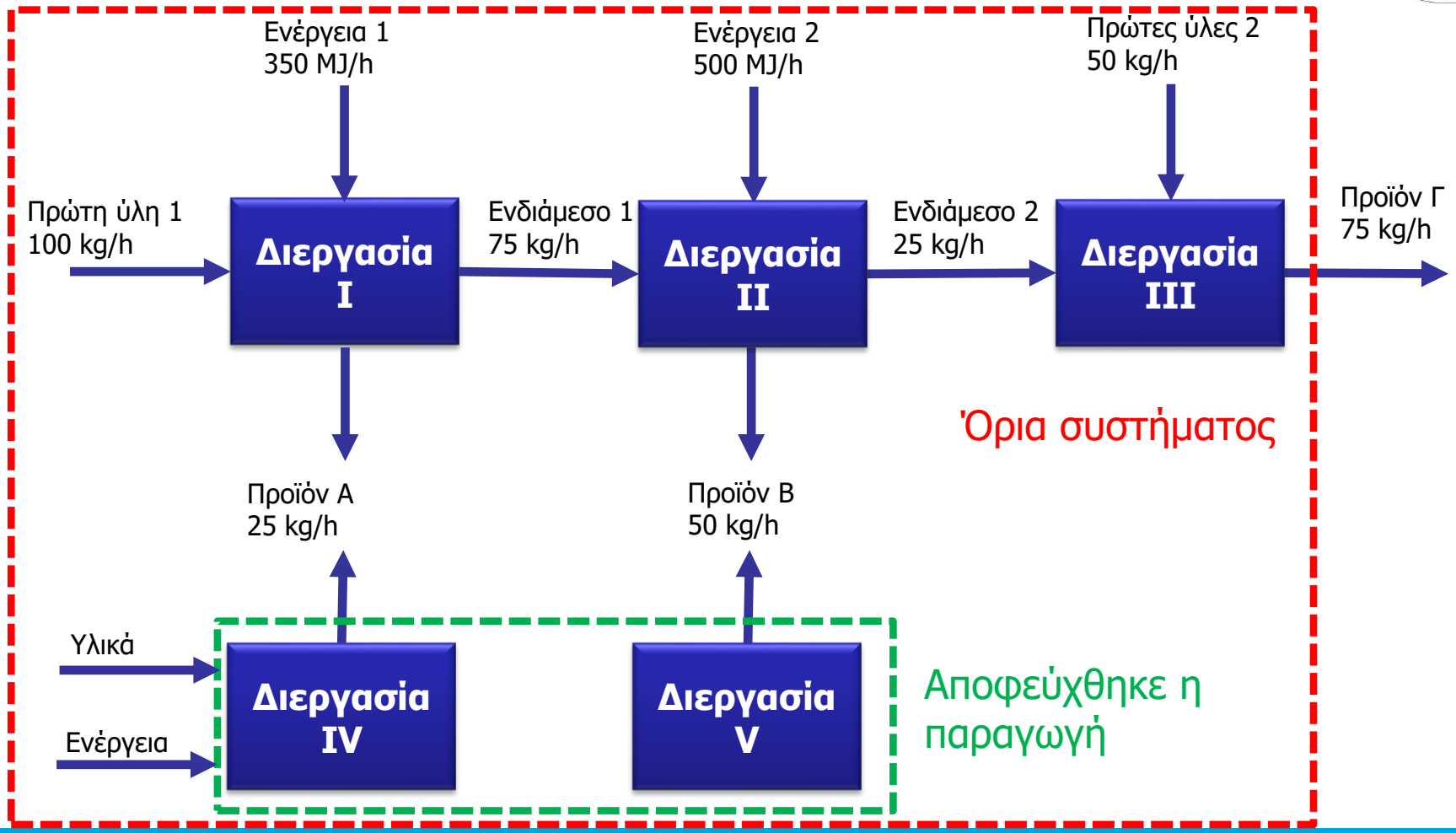
$Impact$: Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις υπό εξέταση

$FlowEmitted_p$: Η ροή του ρύπου

$CF_{i,p}$: Ο συντελεστής χαρακτηρισμού για τον ρύπο p και επιπτώσεις i

Διαδικασία I	**kg CO2-eq/h**	**Διαδικασία II**	**kg CO2-eq/h**	**Διαδικασία III**	**kg CO2-eq/h**
Πρώτη ύλη 1	115	Ενέργεια 2	350	Πρώτες ύλες 2	162
Ενέργεια 1	245				
Συνολικά	**360**	**Συνολικά**	**350**	**Συνολικά**	**162**
Συνολικές Εκπομπές	**872**	**kg CO_2-eq/h**			
Εκπομπές ανά FU	**11.6**	**kg CO_2-eq/kg**	**προϊόν Γ, δεν έχει κατανεμηθεί**		

Αντικατάσταση (ΟΧΙ επέκταση συστήματος)



Επέκταση/υποκατάσταση συστήματος

Παράγοντες χαρακτηρισμού θερμοκηπικών αερίων	
Αντικαταστήσιμο Προϊόν Α από τη διαδικασία IV	5.25 kg CO_2-eq/kg
ΑντικαταστήσιμοΠροϊόν Β από τη διαδικασία V	8.32 kg CO_2-eq/kg

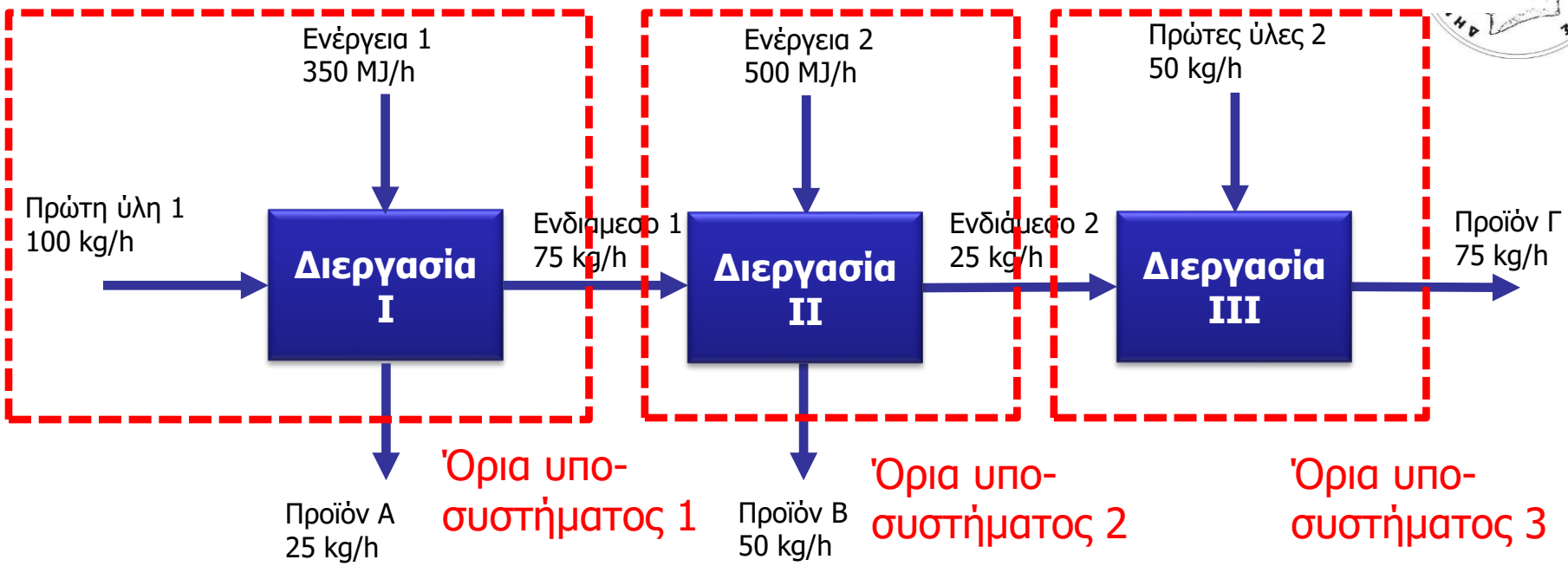
Διαδικασία IV	**kg CO2-eq/h**	**Διαδικασία V**	**kg CO2-eq/h**
Προϊόν Α	131	**Προϊόν Β**	416
Αποφευγόμενες Εκπομπές	**547 kg CO2-eq/h**		

Εκπομπές Γ = Συνολικές Εκπομπές – (Εκπομπές Α + Εκπομπές Β)

Αποφυγή **(;)**

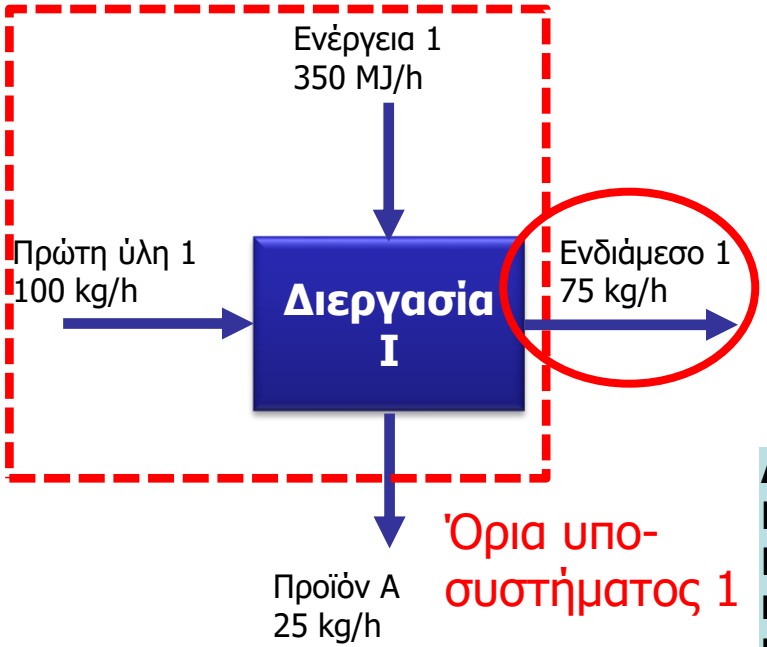
Εκπομπές	**324 kg CO2-eq/h**
Εκπομπές ανά FU	**4.3 kg CO2-eq/kg Γ**

Υποδιαίρεση με μαζική κατανομή



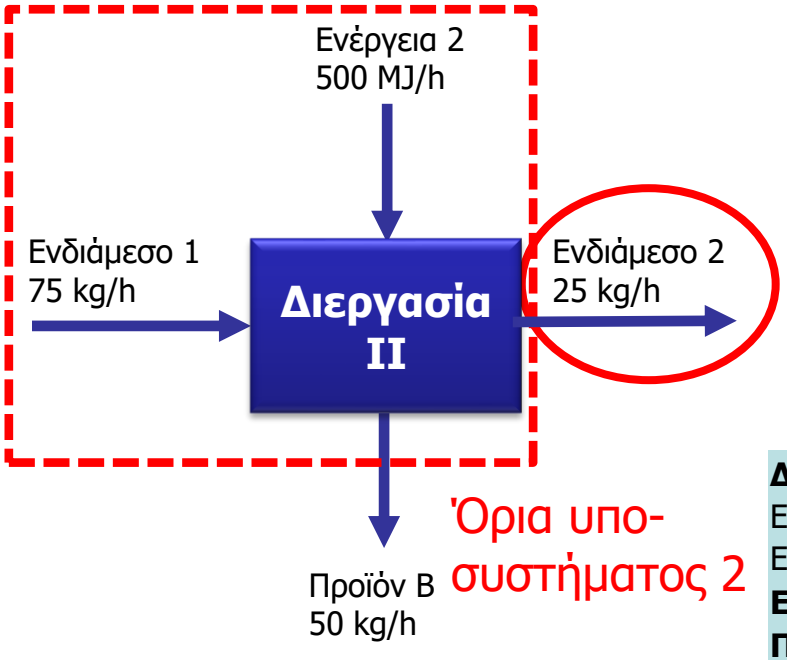
Τα ενδιάμεσα προϊόντα παίζουν σημαντικό ρόλο. Επιπτώσεις που κατανέμονται στα ενδιάμεσα προϊόντα ως αποτέλεσμα της διαίρεσης των διαδικασιών

Υποδιαίρεση με μαζική κατανομή



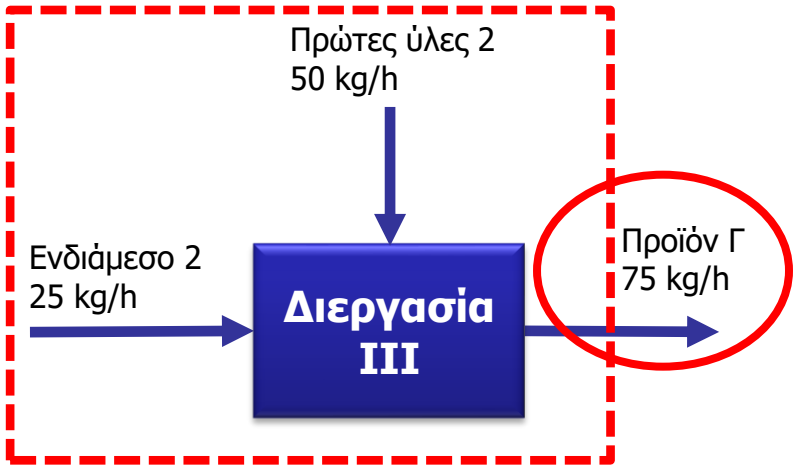
Διαδικασία I			
Πρώτη ύλη 1	115	**kg CO2-eq/h**	
Ενέργεια 1	245	**kg CO2-eq/h**	
Εκπομπές	**360**	**kg CO2-eq/h**	
Προϊόντα και παράγοντες κατανομής			
	kg/h	**ΠΚ**	**Κατανεμημένο - kgCO2-eq/h**
Προϊόν Α	25	**25%**	90
Ενδιάμεσο 1	75	**75%**	**270**
Σύνολο	**100**	**100%**	**360**

Υποδιαίρεση με μαζική κατανομή



Διαδικασία II			
Ενέργεια 2	350	**kg CO2-eq/h**	
Ενδιάμεσο 1	270	**kg CO2-eq/h**	
Εκπομπές	**620**	**kg CO2-eq/h**	
Προϊόντα και παράγοντες κατανομής			
	kg/h	**ΠΚ**	**Κατανεμημένο - kgCO2-eq/h**
Προϊόν Β	50	67%	413
Ενδιάμεσο 2	25	**33%**	**207**
Σύνολο	**75**	**100%**	**620**

Υποδιαίρεση με μαζική κατανομή



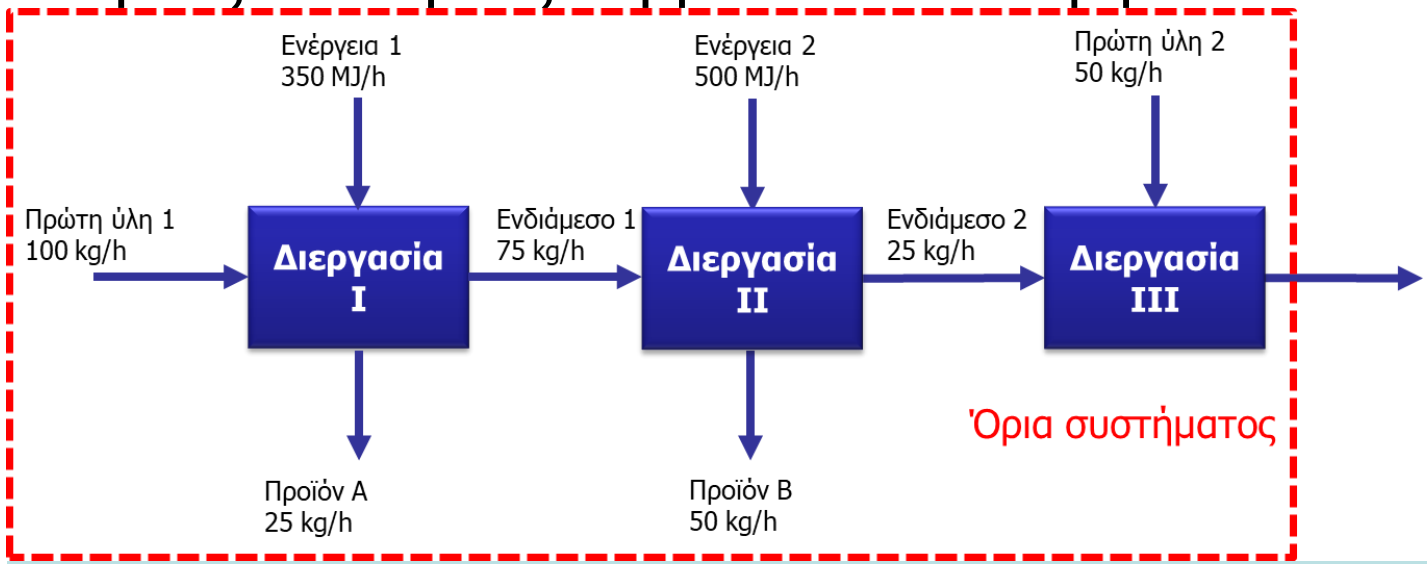
Όρια υπο-συστήματος 3

Διαδικασία III			
Πρώτες ύλες 2	162	**kg CO2-eq/h**	
Ενδιάμεσο 2	207	**kg CO2-eq/h**	
Εκπομπές	**368**	**kg CO2-eq/h**	
Προϊόντα και παράγοντες κατανομής			
	kg/h	**ΠΚ**	**Κατανεμημένο - kgCO2-eq/h**
Προϊόν Β	75	**100%**	**368**
Σύνολο	**75**	**100%**	**368**

Εκπομπές	**368**	**kg CO2-eq/h**
Εκπομπές ανά FU	**4.9**	**kg CO2-eq/kg Γ**

Μαζική κατανομή – Μαύρο κουτί

Τα ενδιάμεσα δεν παίζουν κανένα ρόλο. Συνολικές εισροές και εκροές λαμβάνονται υπόψη.



Συνολική Διαδικασία			
Εκπομπές	**872 kg CO2-eq/h**		
Προϊόντα και παράγοντες κατανομής			
	kg/h	**ΠΚ**	**Εm . Κατανεμημένο - kgCO2-eq/h**
Προϊόν Α	25	**17%**	145
Προϊόν Β	50	**33%**	291
Προϊόν Γ	75	**50%**	**436**
Σύνολο	**150**	**100**	**872**

Εκπομπές	**872 kg CO2-eq/h**
Εκπομπές ανά FU	**5.8 kg CO2-eq/kg Γ**

Κατανομή ενέργειας – Μαύρο κουτί

Τα ενδιάμεσα δεν παίζουν κανένα ρόλο. Συνολικές εισροές και εκροές λαμβάνονται υπόψη.
Απαιτούμενες οι τιμές ενεργειακής πυκνότητας (lower heating value)

Συνολική διαδικασία					
Εκπομπές	872 **kg CO2-eq/h**				
Προϊόντα και παράγοντες κατανομής					
	kg/h	**LHV - MJ/kg**	**Ενέργεια - MJ/h**	**ΠΚ**	**Εμ. Κατανεμημένο - kgCO2-eq/h**
Προϊόν Α	25	18	**450**	**11%**	94
Προϊόν Β	50	25	**1250**	**30%**	261
Προϊόν Γ	75	33	**2475**	**59%**	**517**
Σύνολο	**150**		**4175**	**100%**	**872**

Εκπομπές	**872 kg CO2-eq/h**
Εκπομπές ανά FU	**6.9 kg CO2-eq/kg Γ**

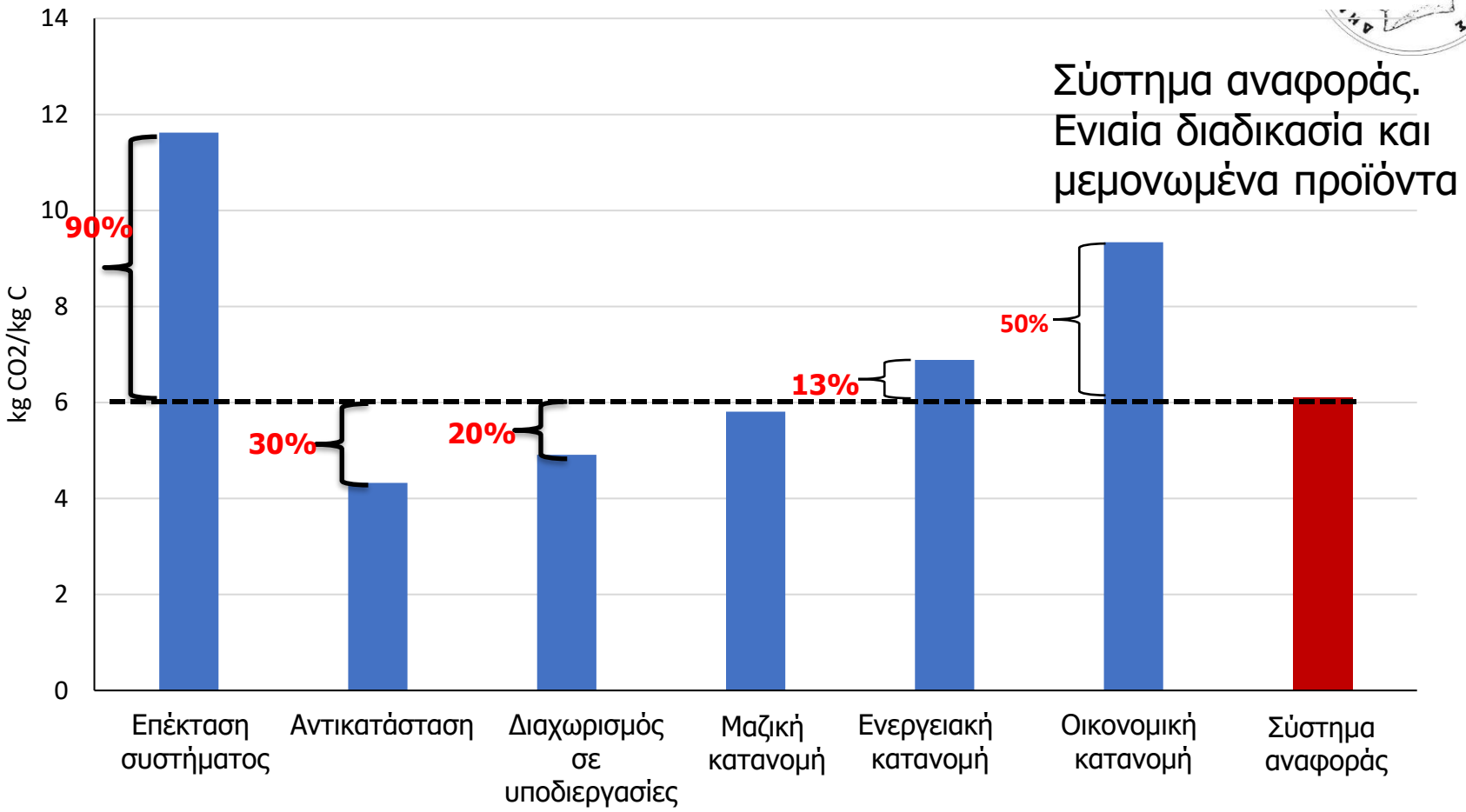
Οικονομική κατανομή – Μαύρο κουτί

Τα ενδιάμεσα δεν παίζουν κανένα ρόλο. Συνολικές εισροές και εκροές λαμβάνονται υπόψη.
Απαιτούνται οικονομικές τιμές

Συνολική διαδικασία					
Εκπομπές	872 **kg CO2-eq/h**				
Προϊόντα και παράγοντες κατανομής					
	kg/h	**Τιμή - €/τόνο**	**Ταμειακές ροές - €/ώρα**	**ΠΚ**	**Εμ. Κατανεμημένο - kgCO2-eq/h**
Προϊόν Α	25	300	**8**	**5%**	**47**
Προϊόν Β	50	400	**20**	**14%**	**125**
Προϊόν Γ	75	1500	**113**	**80%**	**700**
Σύνολο	**150**		**140**	**100%**	**872**

Εκπομπές	**872 kg CO2-eq/h**
Εκπομπές ανά FU	**9.3 kg CO2-eq/kg Γ**

Διαφορετικά αποτελεσμάτα





Ποιες πρόσθετες πληροφορίες απαιτούνται για μαζική, ενεργειακή και οικονομική κατανομή; Τι κίνδυνο μεροληψίας φέρει καθεμία;

1. Μαζική: απαιτεί κλάσματα μάζας (αγνοεί αξία/λειτουργικότητα).
2. Ενεργειακή: απαιτεί ενεργειακή πυκνότητα (προϋποθέτει ενεργειακή συνάφεια).
3. Οικονομική: απαιτεί τιμές/έσοδα (ευαίσθητη σε διακυμάνσεις αγοράς και χρονισμό).

Μάζα ή οικονομική αξία;

Μια διεργασία καταναλώνει 100 kWh και παράγει δύο προϊόντα:

Προϊόν	Ποσότητα	Τιμή πώλησης
Χ	80 kg	1 €/kg
Ψ	20 kg	4 €/kg

Πώς κατανέμονται οι 100 kWh με βάση τη μάζα και με βάση τα έσοδα;

Γιατί διαφέρουν;

Δραστηριότητα στην τάξη

Μια διεργασία παράγει 25 kg προϊόν Α και 75 kg προϊόν Β.
Οι συνολικές εκπομπές CO_2 = 100 kg.

Ζητείται να υπολογίσετε:
Πόσες εκπομπές αποδίδονται στο Α και στο Β, αν η κατανομή είναι:

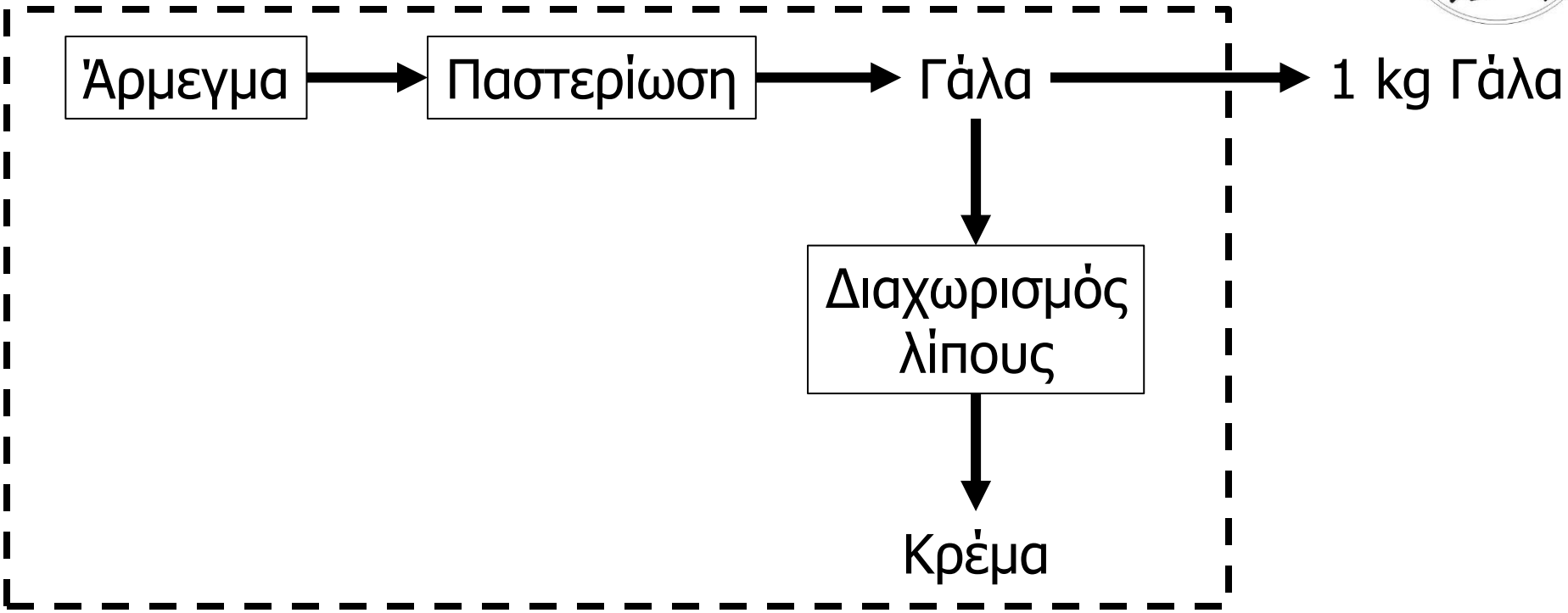
1. Μαζική
2. Ενεργειακή (αν Α έχει 30 MJ/kg και Β 10 MJ/kg)
3. Οικονομική (Α: 5 €/kg, Β: 1 €/kg)

Συζήτηση

Τα αποτελέσματα είναι αντικρουόμενα.
Και μετά τι?

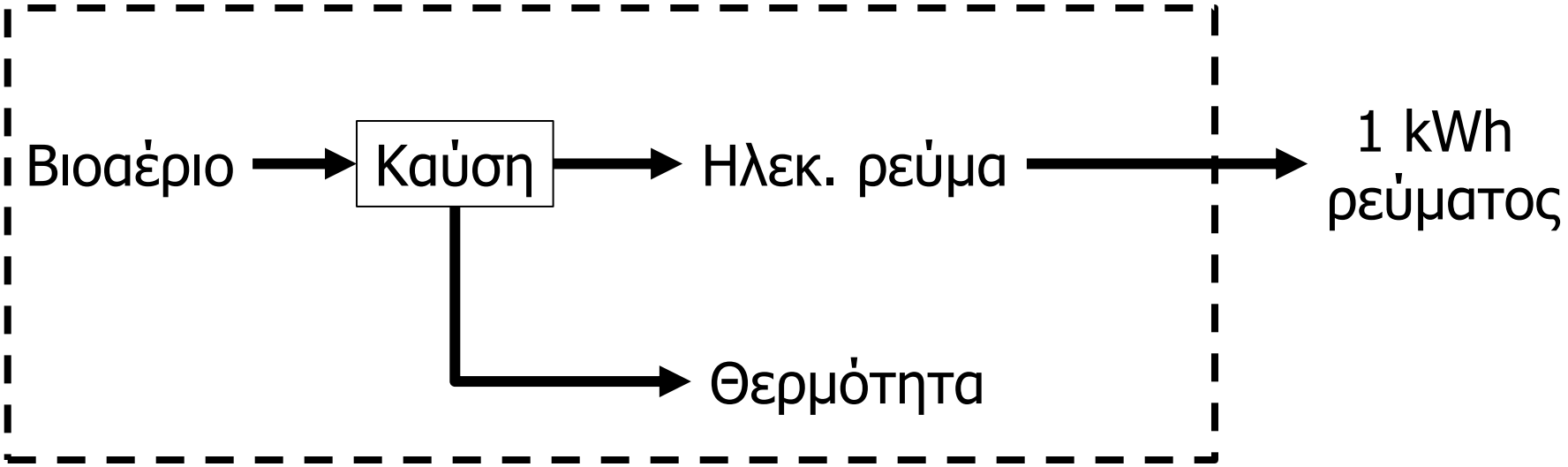


Πώς θα λύνατε την πολυλειτουργικότητα;

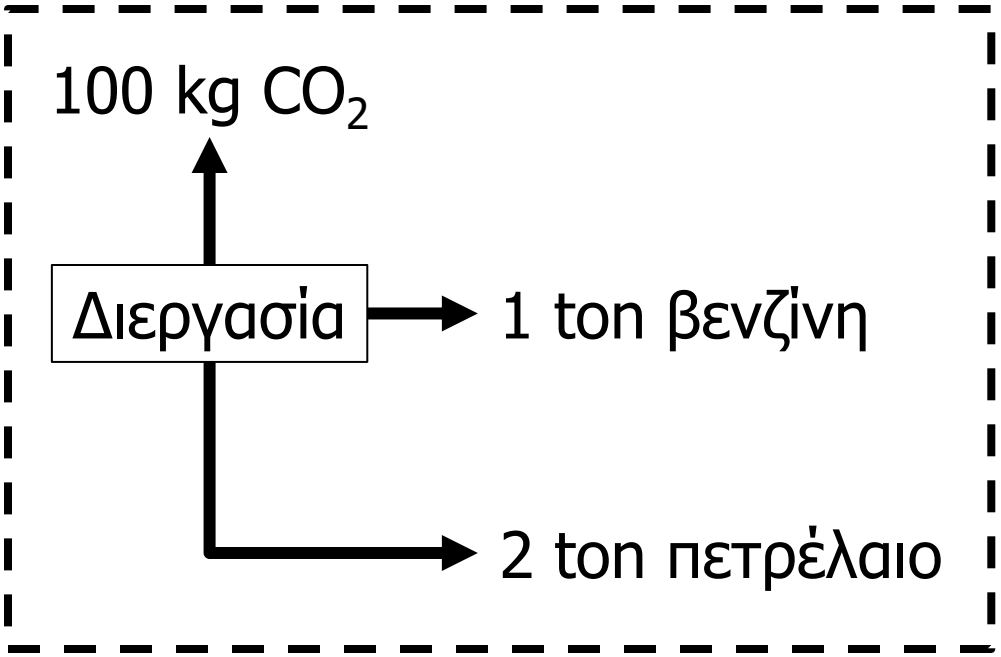


Τι θα συμβεί στα όρια των συστημάτων (product systems)?

Πώς θα λύνατε την πολυλειτουργικότητα;

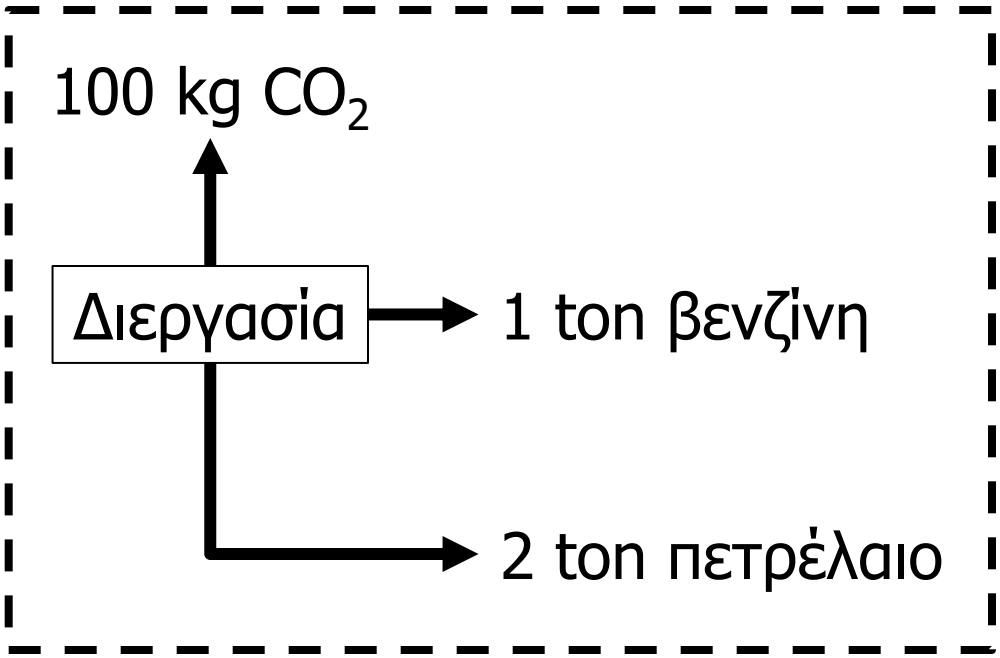


Πώς θα λύνατε την πολυλειτουργικότητα;



Υπολογίστε τις εκπομπές που αναλογούν σε κάθε προϊόν αν εφαρμόσετε κατανομή μάζας

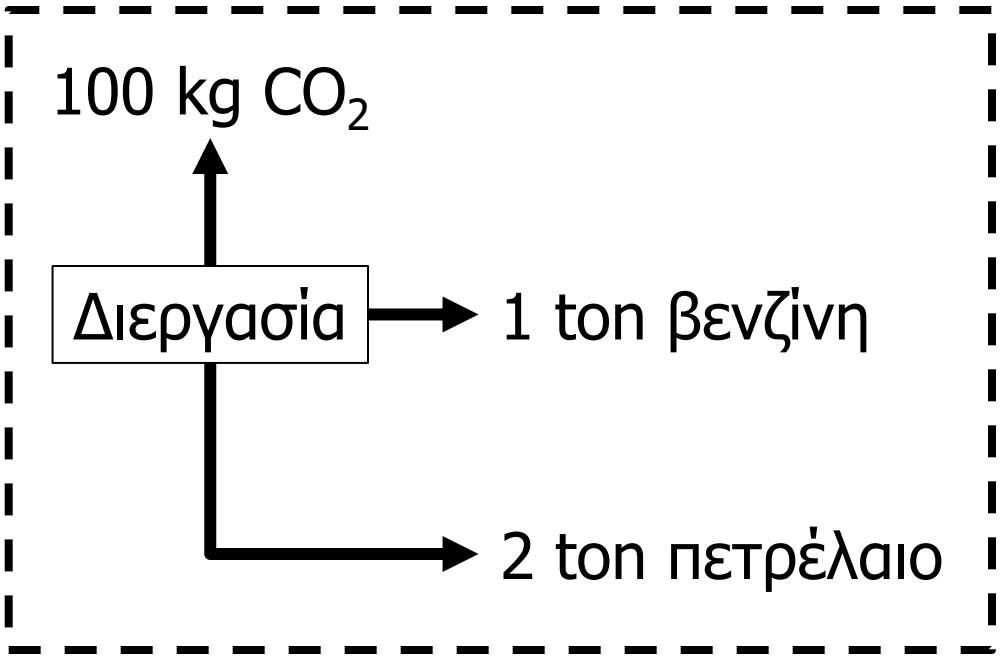
Πώς θα λύνατε την πολυλειτουργικότητα;



Βενζίνη = 44 MJ/kg
Πετρέλαιο = 42 MJ/kg

Υπολογίστε τις εκπομπές που αναλογούν σε κάθε προϊόν αν εφαρμόσετε κατανομή με βάση την ενέργεια

Πώς θα λύνατε την πολυλειτουργικότητα;



Βενζίνη = 1 €/kg
Πετρέλαιο = 0.5 €/kg

Υπολογίστε τις εκπομπές που αναλογούν σε κάθε προϊόν αν εφαρμόσετε κατανομή με βάση την οικονομία

Συμπεράσματα

- Η διαφάνεια είναι ζωτικής σημασίας για την επίλυση του πολυλειτουργικού προβλήματος
  - Τι είναι προϊόν και τι απόβλητο;
  - Τι είναι το πολυ-λειτουργικότητα;
  - Με ποιον τρόπο να την λύσετε; Ελέγξτε για πόσο επηρεάζει τα αποτελέσματα

- Η διαφάνεια είναι επίσης κρίσιμη για τη δημιουργία υποθέσεων
  - Πόσο επηρεάζουν οι υποθέσεις τα αποτελέσματα;
  - Ανάλυση ευαισθησίας



Ευχαριστώ πολύ!

Let's play!

