



# ΜΕΛΕΤΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ

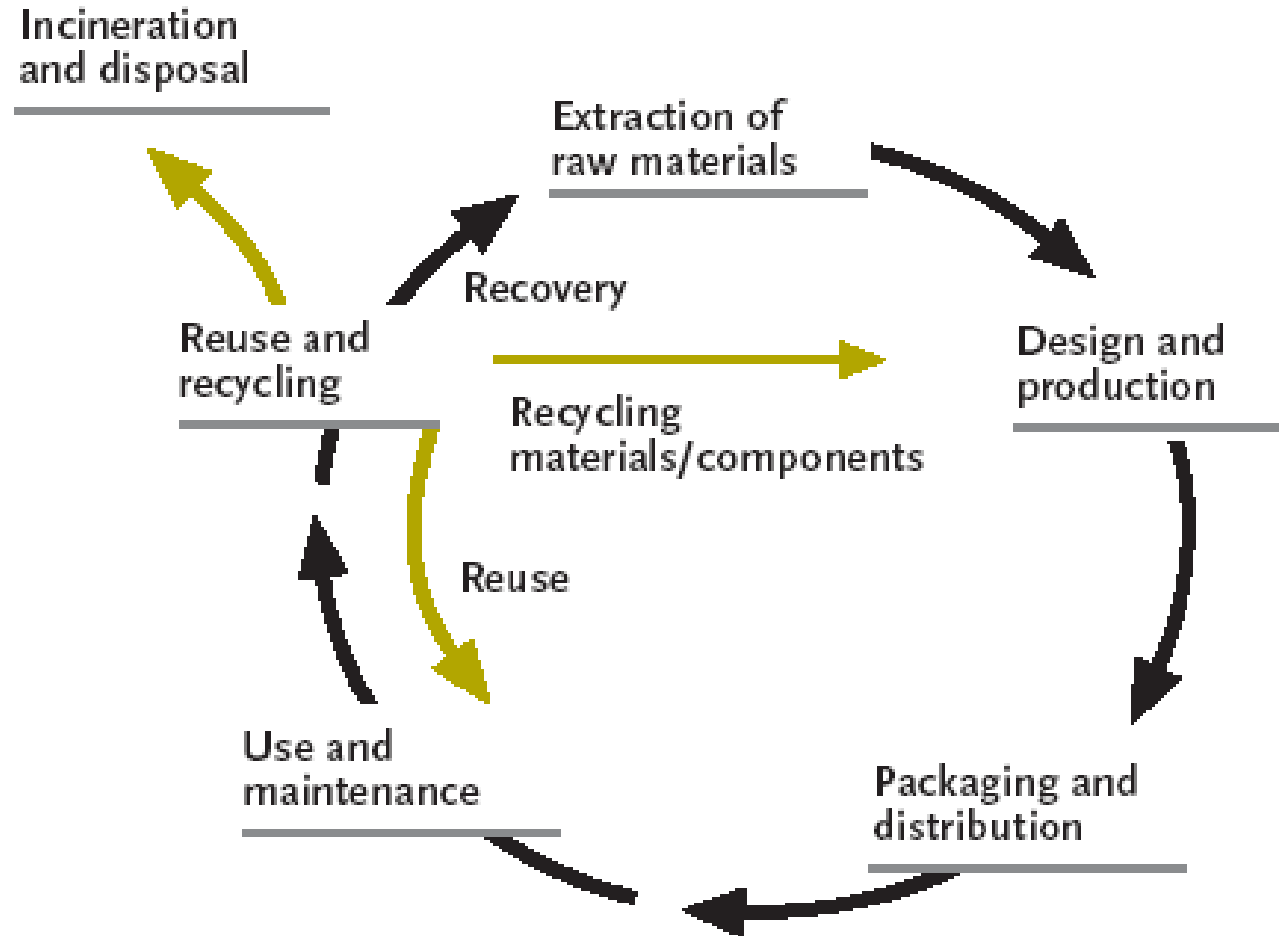
**Γιώργος Α. Τσαλίδης**

Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος  
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

# Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής - Φάσεις 1 και 2

# Ζωή και Κύκλος και Αξιολόγηση

- Ζωή?
- Κύκλος?
- Αξιολόγηση?



# Παιχνίδι 1 - “Αποδομήστε ένα προϊόν”

1. Τι υπάρχει πριν και τι υπάρχει μετά τη χρήση του;
2. Πού φτιάχνεται, πώς μεταφέρεται, τι γίνεται μετά τη χρήση;



# Παιχνίδι 1 - “Αποδομήστε ένα προϊόν”

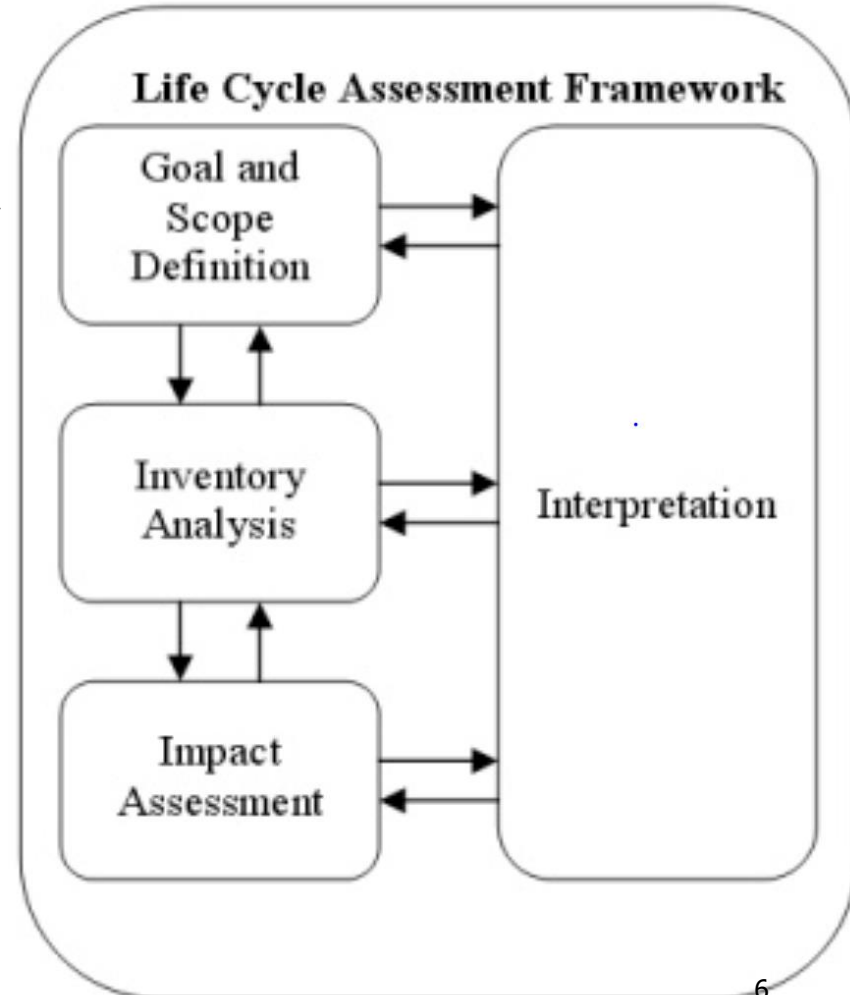
1. Τι υπάρχει πριν και τι υπάρχει μετά τη χρήση του;
2. Πού φτιάχνεται, πώς μεταφέρεται, τι γίνεται μετά τη χρήση;



# 4 Φάσεις ΑΚΖ

Καθορίζεται από τα ISO 14040 και 14044

1. Ορισμός στόχου και πεδίου εφαρμογής
2. Απογραφή/συλλογή Δεδομένων
3. Εκτίμηση Επιπτώσεων
4. Ερμηνεία



# Φάση 1

The graphic features a large white number '4' on a yellow background decorated with various apples. A central white rounded rectangle contains the title and a diagram. To the right of the rectangle are three interlocking gears.

## Μήλα με Μήλα

Η Λειτουργική Μονάδα

The diagram illustrates a balance scale in two states. On the left, two identical red apples are placed on the pans, and the scale is balanced. A dashed arrow points to the right, where the scale is shown again, but now with a green apple on the left pan and a yellow apple on the right pan, indicating a comparison of different types of apples.

© NotebookLM

# 1. Ορισμός στόχου και πεδίου εφαρμογής

- Ορισμός και περιγραφή του προϊόντος, της διαδικασίας ή της υπηρεσίας. Καθορισμός του πλαισίου μέσα στο οποίο θα γίνει η αξιολόγηση
- **Στόχος** : ποιος είναι ο σκοπός;
- **Σύστημα αναφοράς** : ποια είναι η σύγκριση;
- **Λειτουργική μονάδα (functional unit)**: ποια θα είναι;
- **Όρια συστήματος** : τι θα συμπεριληφθεί στην μελέτη;
- Δεδομένα: πηγές και **υποθέσεις** ;
- Ποιες **κατηγορίες επιπτώσεων** είναι σχετικές για την μελέτη;

# Στόχος (1)

- Ποιο είναι το αντικείμενο της Απογραφής;
  - Προϊόν
  - Υπηρεσία
  - Επεξεργάζομαι, διαδικασία
- Τι ψάχνουμε;
  - Αξιολόγηση/σύγκριση
  - Βελτίωση
  - Χωρικές και χρονικές πτυχές
  - Λήψη απόφασης

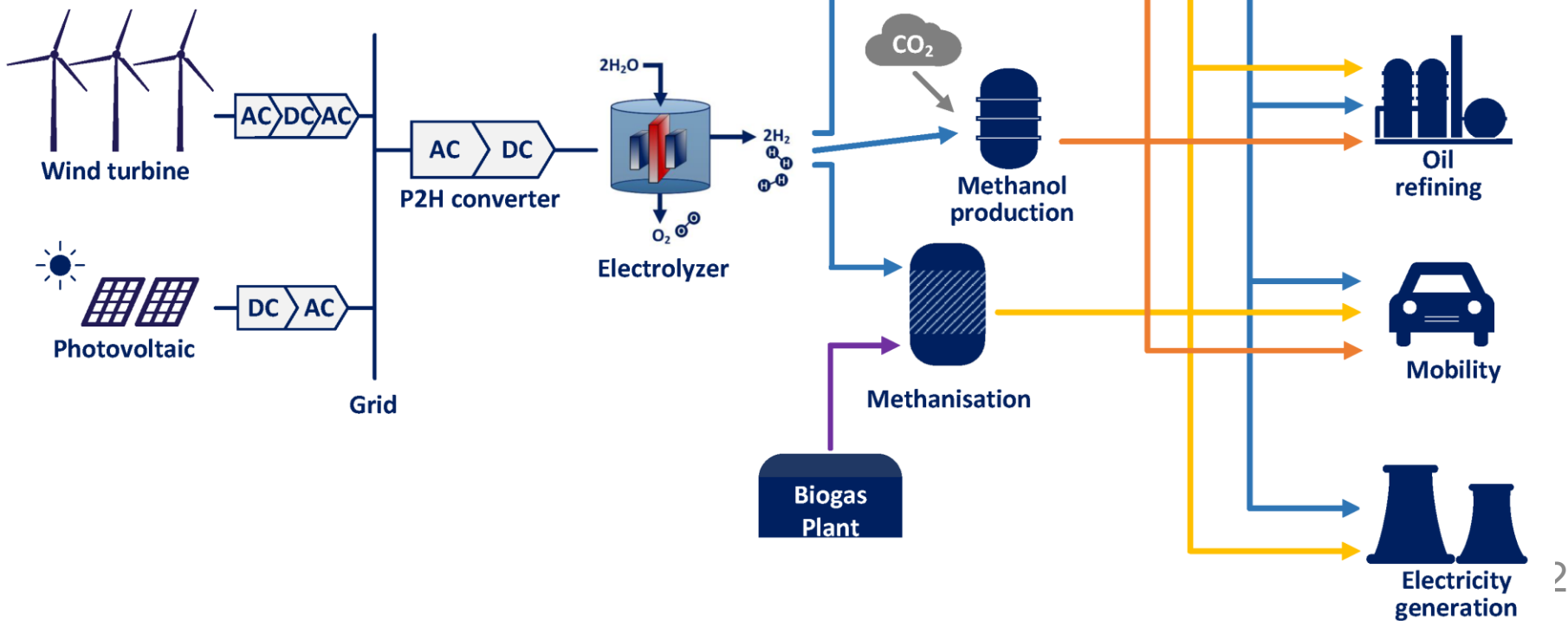
## Στόχος (2)

- Μειώστε τις αρνητικές επιπτώσεις του αντικειμένου Απογραφής
- Προσδιορίστε μέρη για βελτίωση
- Αποφύγετε την άμβλυνση των αρνητικών επιπτώσεων
- Συγκρίνετε τις περιβαλλοντικές επιδόσεις παρόμοιων αντικειμένων Απογραφής
- Ανάπτυξη νέων πολιτικών → Συνεπακόλουθη προσέγγιση

# Μοντέλο συστήματος (1) - Καταλογιστική προσέγγιση

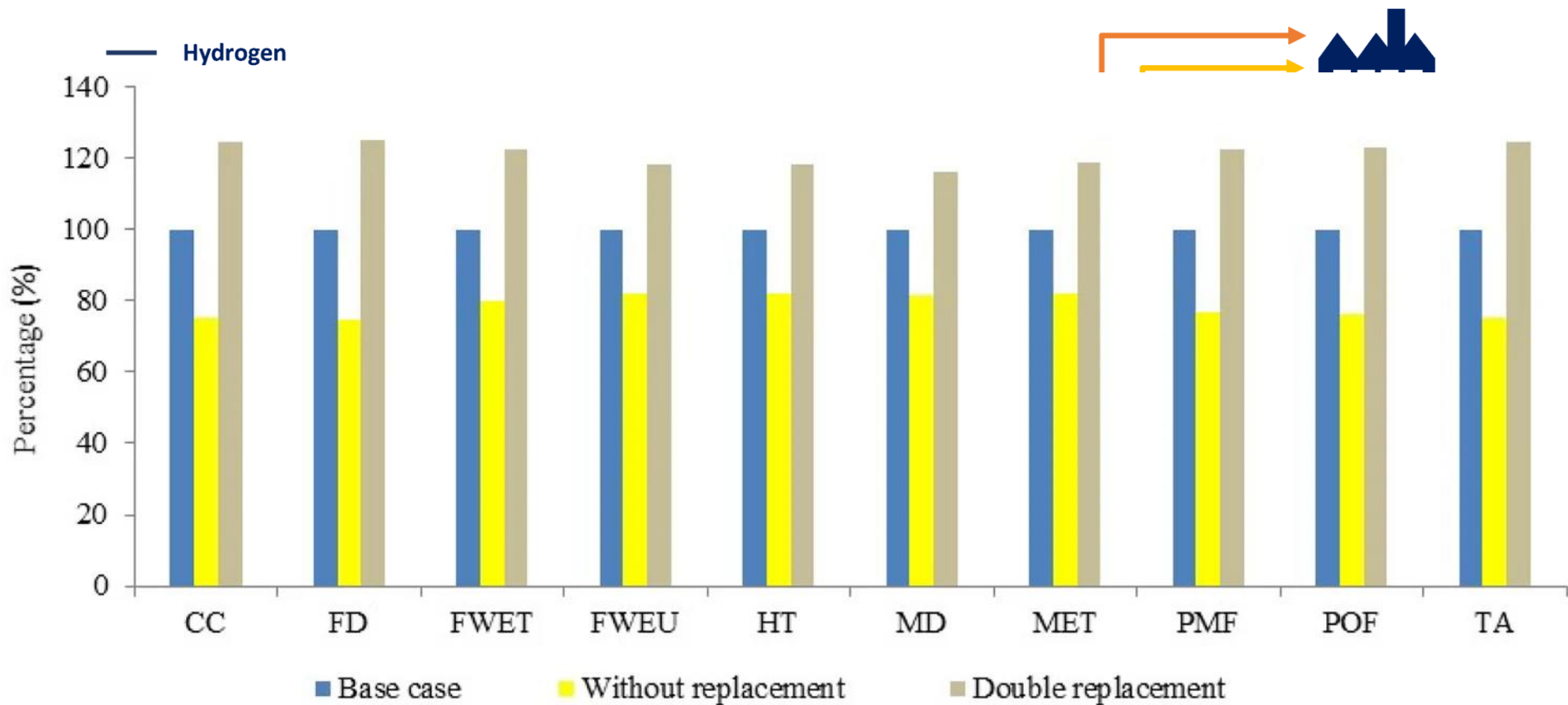
Το μοντέλο του συστήματος προϊόντων είναι συνήθως στατικό μοντέλο προσομοίωσης

- Hydrogen
- Methane
- Methanol
- Biogas



# Μοντέλο συστήματος (1) - Καταλογιστική προσέγγιση

Το μοντέλο του συστήματος προϊόντων είναι συνήθως στατικό μοντέλο προσομοίωσης



# Λειτουργική μονάδα

- Λειτουργικότητα του προϊόντος ή της υπηρεσίας
- Χρησιμοποιείται για σύγκριση μεταξύ προϊόντων ή υπηρεσιών
- Τα αποτελέσματα ΑΚΖ θα παρουσιάζονται ανά λειτουργική μονάδα → Κανονικοποίηση
- Είναι συνήθως η μόνη ροή που εξέρχεται από τα όρια



# Παραδείγματα λειτουργικών μονάδων

- σε ενεργειακά συστήματα → ΛΜ = 1 MJ ή kWh
- στην παραγωγή βιοκαυσίμων → ΛΜ = 1 kg ή λίτρο ή kJ
- στο πλυντήριο → ΛΜ = 1 λίτρο χρησιμοποιημένο νερό ή 1 φορά χρησιμοποιημένο
- Ψυγείο →

# Παραδείγματα λειτουργικών μονάδων

- σε ενεργειακά συστήματα → Λειτουργική μονάδα = 1 MJ ή kWh
- στην παραγωγή βιοκαυσίμων → Λειτουργική μονάδα = 1 kg ή λίτρο ή kJ
- στο πλυντήριο → Λειτουργική μονάδα = 1 λίτρο χρησιμοποιημένο νερό ή 1 φορά χρησιμοποιημένο
- Ψυγείο → Λειτουργική μονάδα = κυβικό μέτρο x χρόνια ψύξης σε 15 °C κάτω από τη θερμοκρασία δωματίου ή κυβικό μέτρο ή κιλά τροφίμων ή κιλά τροφίμων x χρόνια ψύξης σε 15 °C κάτω από τη θερμοκρασία δωματίου

# Λειτουργική μονάδα - Σύγκριση



Vs



- Μπορεί η λειτουργική μονάδα να είναι ένα φλιτζάνι καφέ;

# Μπορεί η λειτουργική μονάδα να είναι ένα φλιτζάνι καφέ;



<sup>i</sup> The Slido app must be installed on every computer you're presenting from

# Λειτουργική μονάδα - Σύγκριση



Vs



- Μπορεί η λειτουργική μονάδα να είναι ένα φλιτζάνι καφέ;
  - Γιατί ναι/όχι;

# Λειτουργική μονάδα - Σύγκριση



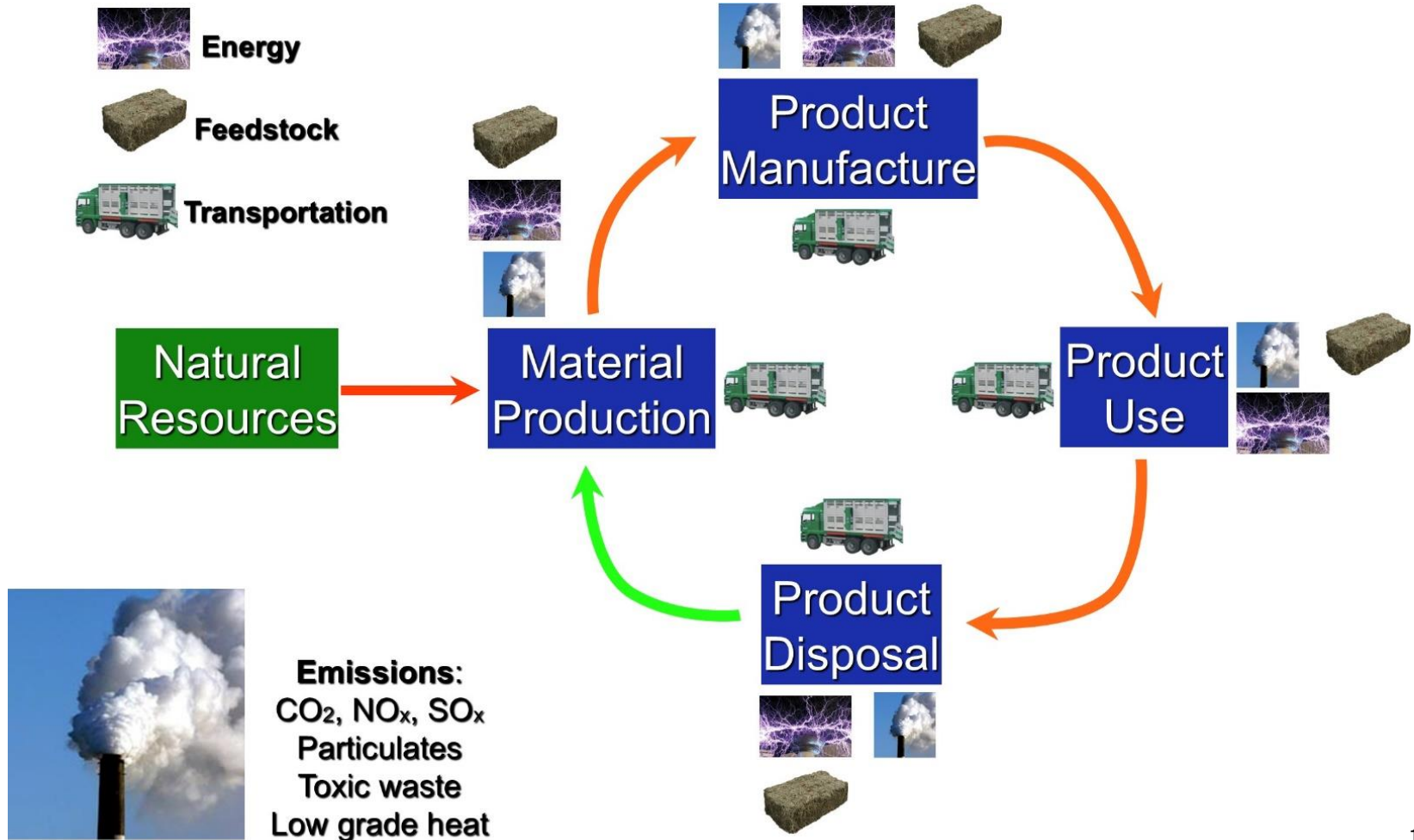
Vs



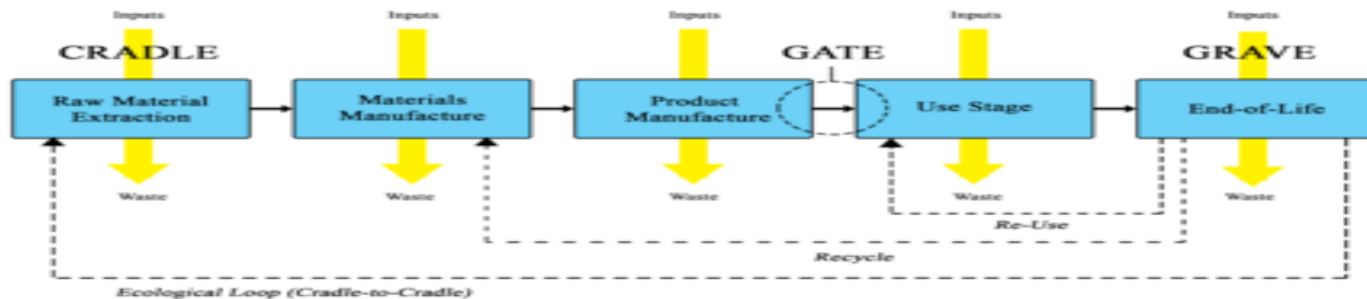
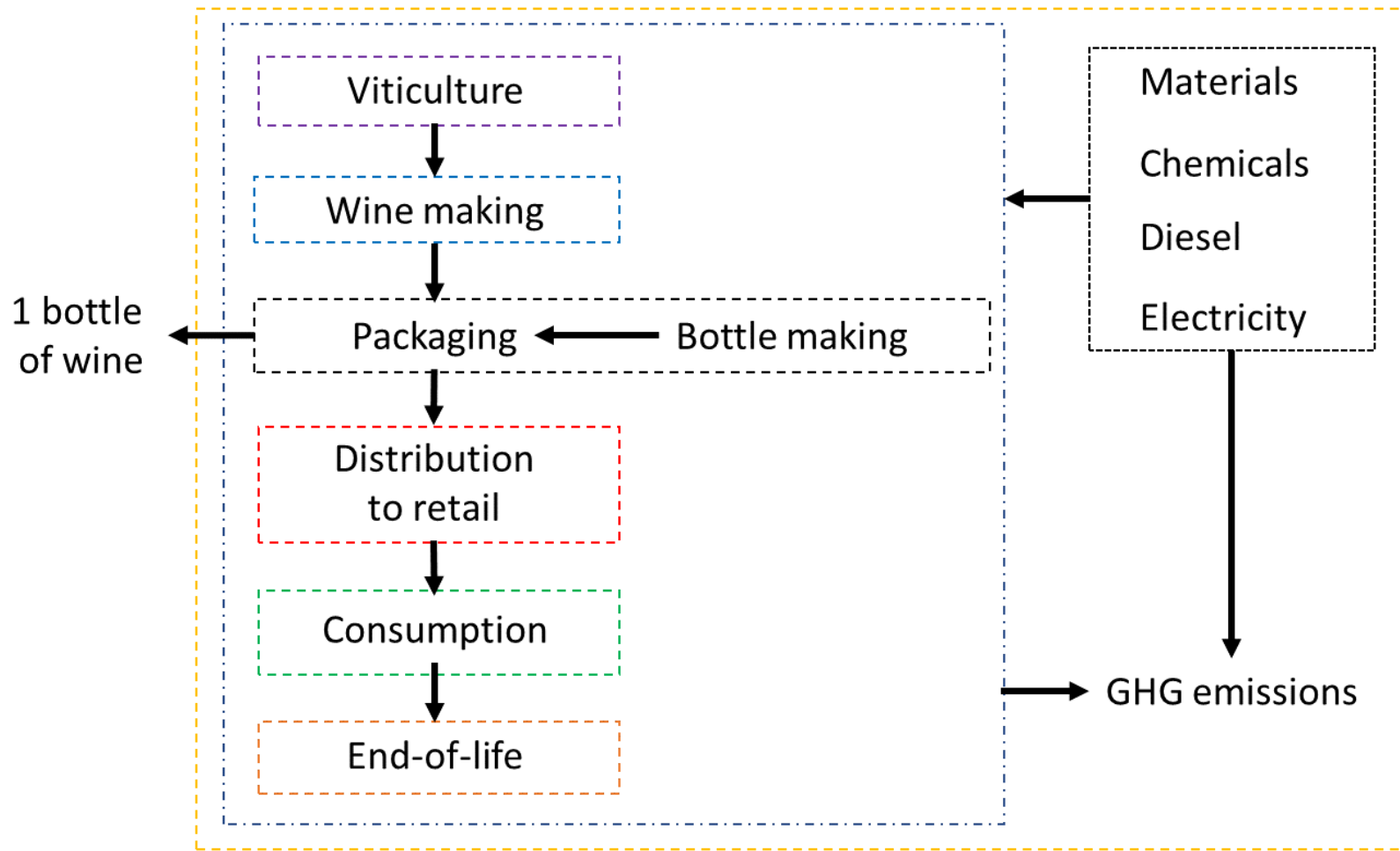
- Μπορεί η λειτουργική μονάδα να είναι ένα φλιτζάνι καφέ;
  - Γιατί ναι/όχι;

FU: 100 φορές φλιτζάνια καφέ ή Ένα έτος κατανάλωσης καφέ

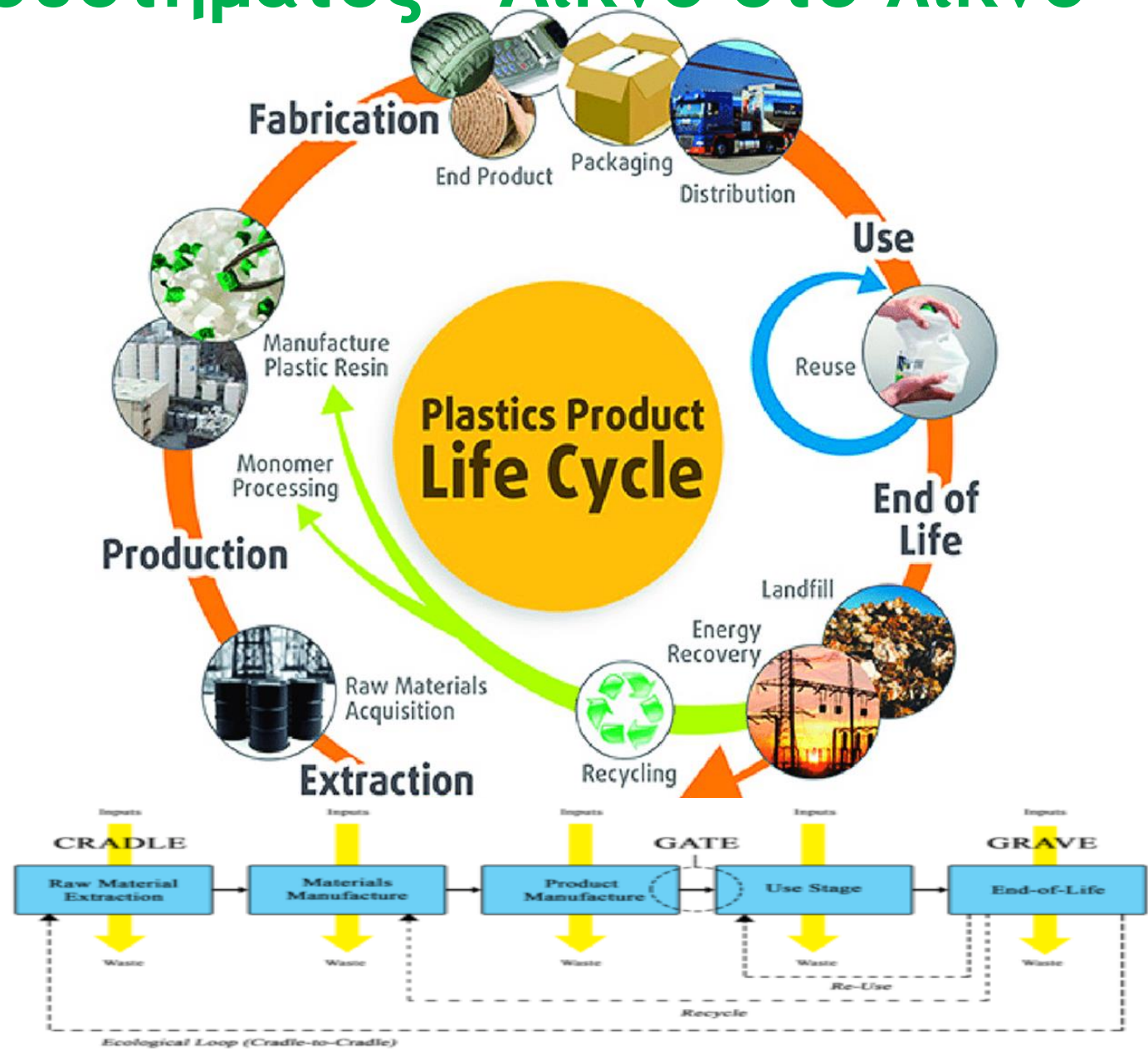
# Όρια συστήματος - Τι να συμπεριληφθεί;



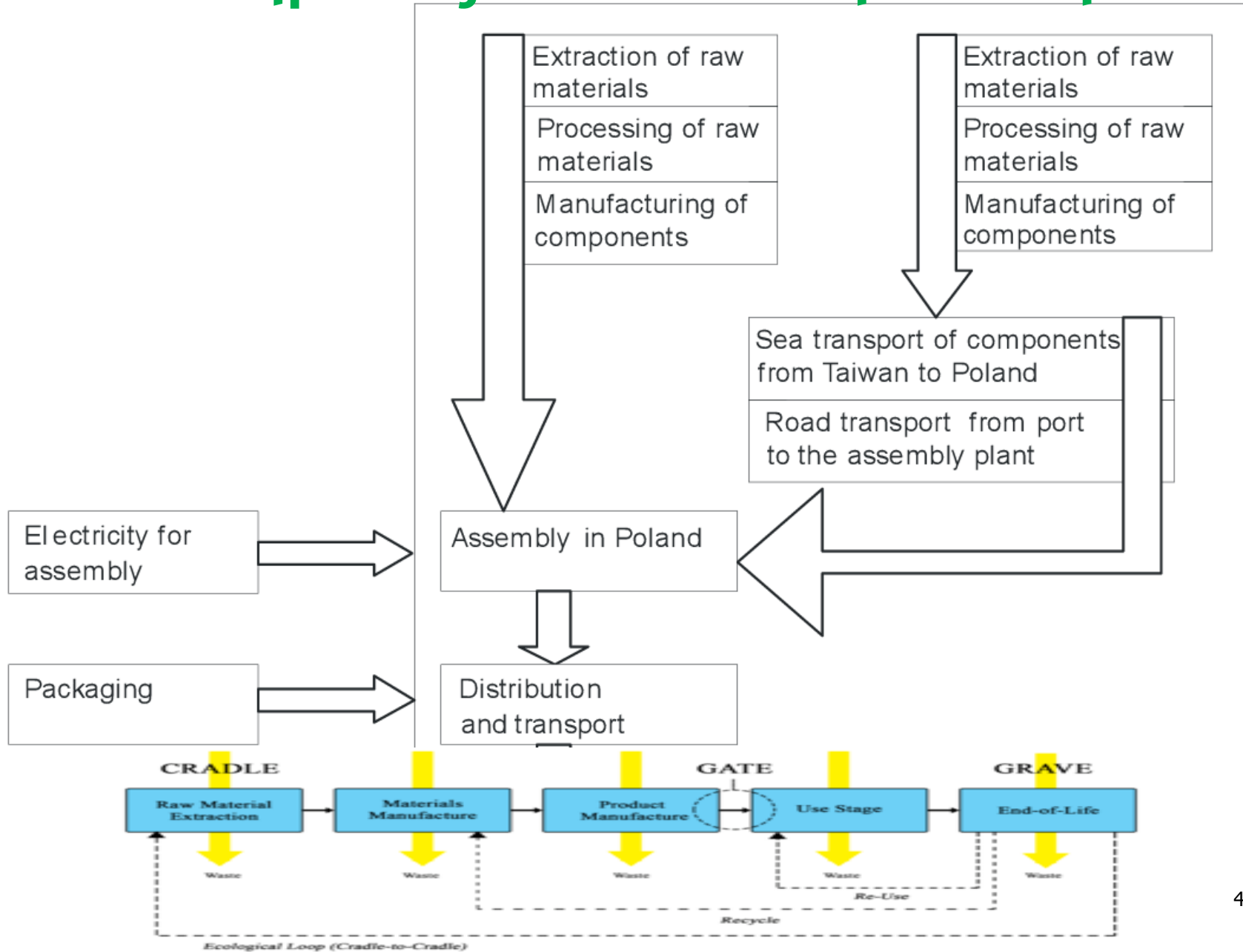
# Όρια συστήματος - Λίκνο στον τάφο



# Όρια συστήματος - Λίκνο στο λίκνο

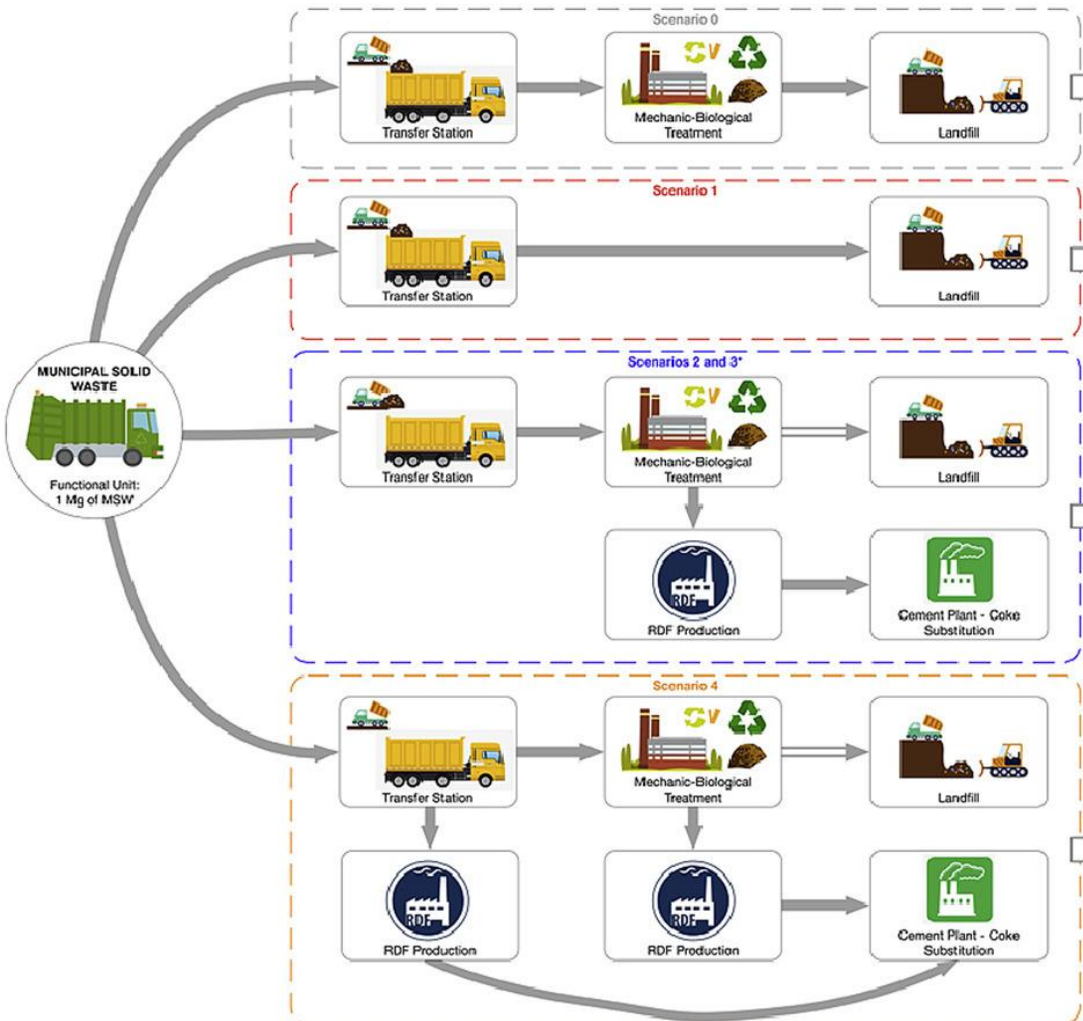


# Όρια συστήματος - Λίκνο στην πύλη





# Επεξεργασία στερεών αποβλήτων - Λίκνο στον τάφο



- Όλα τα συστήματα ξεκινούν από την συλλογή των αποβλήτων
- Γιατί «λίκνο»;

# Παιχνίδι 2 - “Σχεδίαση κύκλου ζωής”

Προϊόν: 1 kg ψωμί

Μπορείτε να σχεδιάσετε τα όρια του συστήματος:

- Λίκνο-πύλη,
- Πύλη-πύλη,
- Λίκνο-τάφο

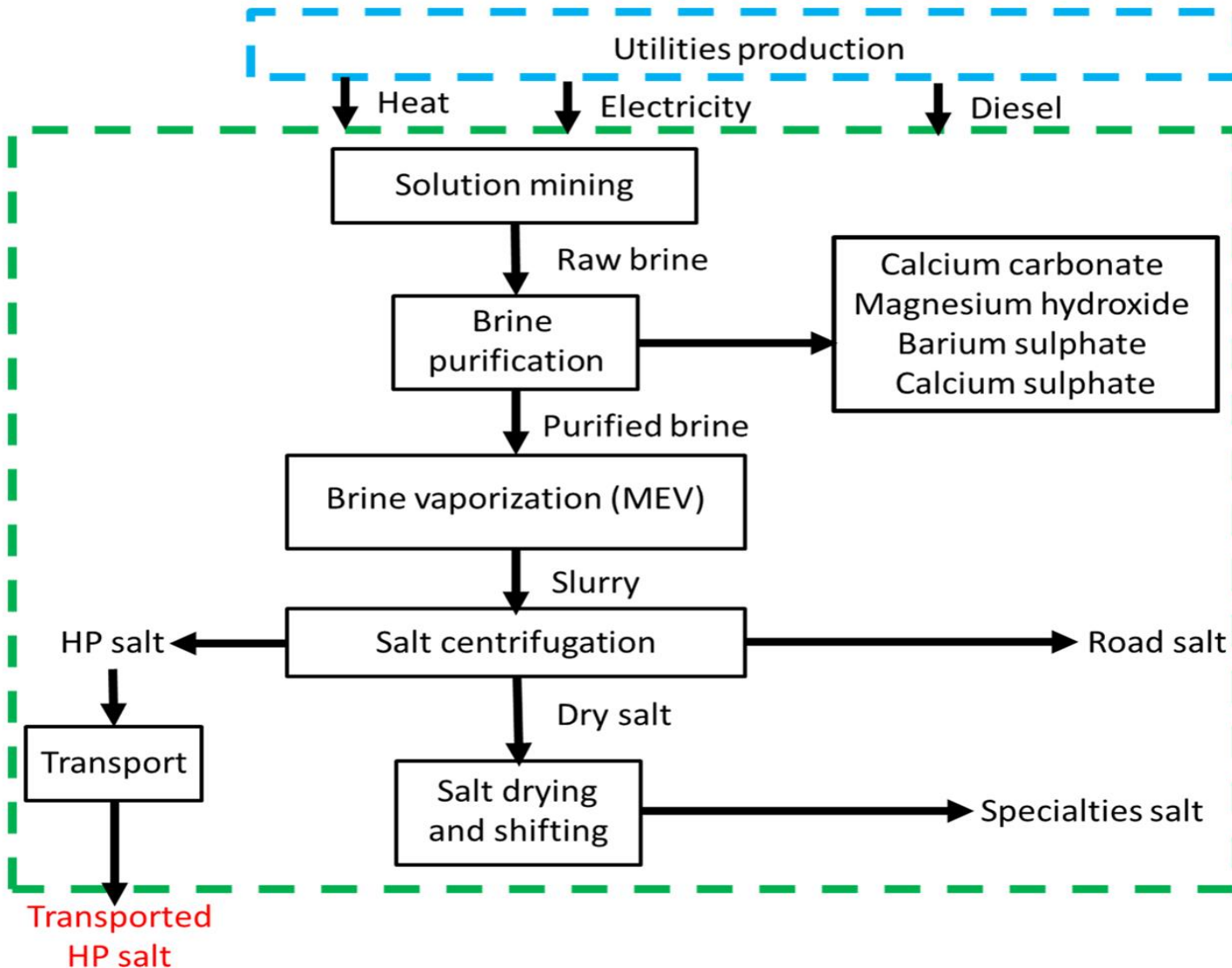
Τι είδους δεδομένα πρέπει να συλλεχθούν σε κάθε περίπτωση;

# Τι είδους δεδομένα πρέπει να συλλεχθούν σε κάθε περίπτωση;



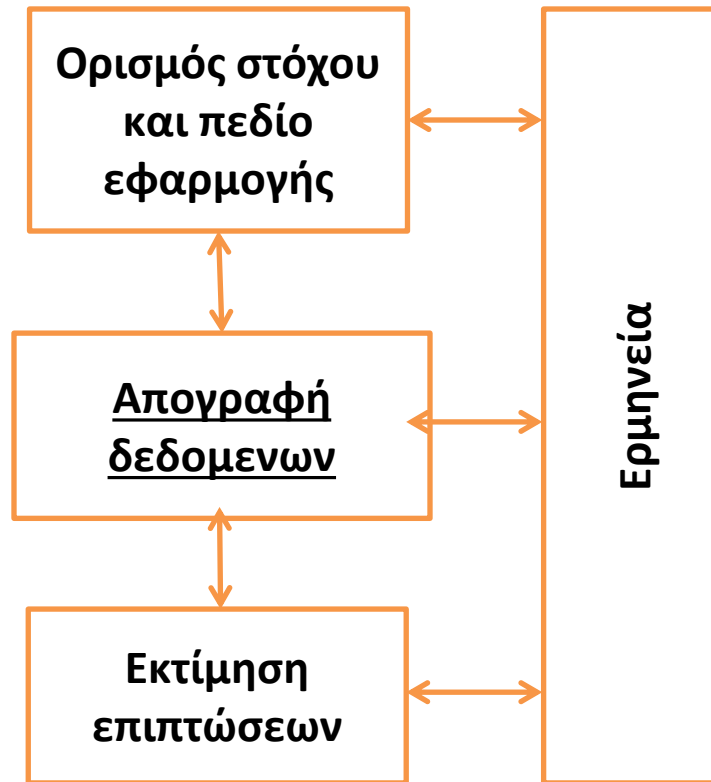
<sup>i</sup> The Slido app must be installed on every computer you're presenting from

# Ροές αναφοράς και λειτουργική μονάδα στα όρια του συστήματος



# Φάση 2

# Πλαίσιο LCA, σειρά ISO 14040



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

# Φάση 2



# NotebookLM

# Απογραφή Δεδομένων

- Ορισμός του συστήματος
- Προσδιορισμός και ποσοτικοποίηση της χρήσης ενέργειας, νερού και υλικών και περιβαλλοντικών εκπομπών
- Όλα τα απαραίτητα δεδομένα συλλέγονται και οργανώνονται σε μορφή διαγράμματος ροής

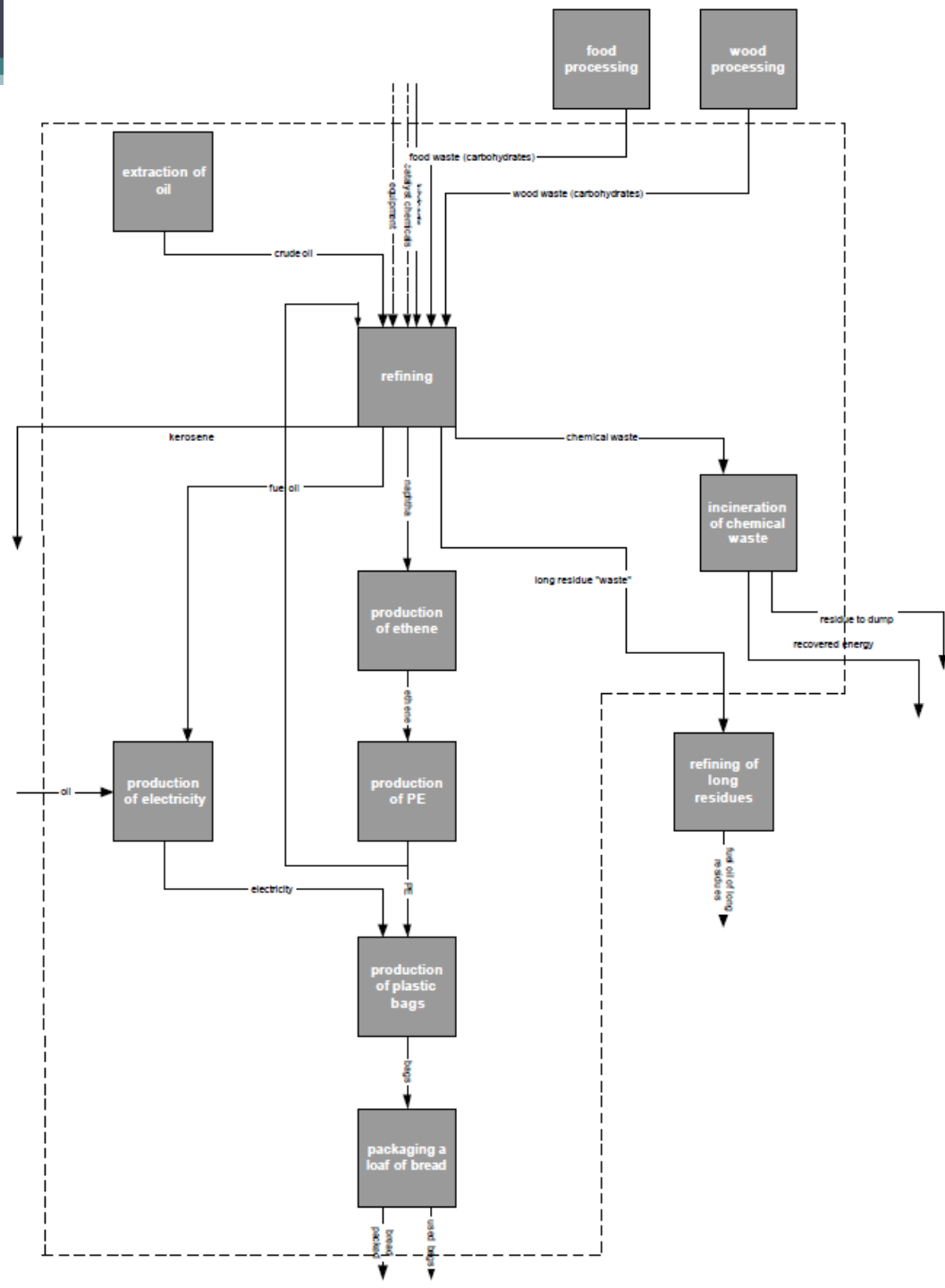


## Τι περιλαμβάνει η φάση «Απογραφή Δεδομένων (LCI)»;

Ορισμός συστήματος, ποσοτικοποίηση χρήσης ενέργειας/νερού/υλικών και εκπομπών, οργάνωση όλων των απαραίτητων δεδομένων σε διάγραμμα ροής.



# Διάγραμμα ροής



# Απογραφή Δεδομένων

- Αυτή η φάση βασίζεται σε:
  - Πρώτες ύλες (υλικά που εξάγουμε από την φύση)
  - Ενέργεια
  - Περιβαλλοντικές εκπομπές
  - Προϊόντα
- Βασίζεται σε 3 φυσικούς νόμους:
  - Διατήρηση της μάζας  $\rightarrow M_{in} = M_{out}$
  - Διατήρηση της ενέργειας  $\rightarrow E_{in} = E_{out}$
  - Αύξηση εντροπίας



Ποιοι φυσικοί νόμοι χρησιμοποιούνται ως έλεγχοι συνοχής στην LCI;

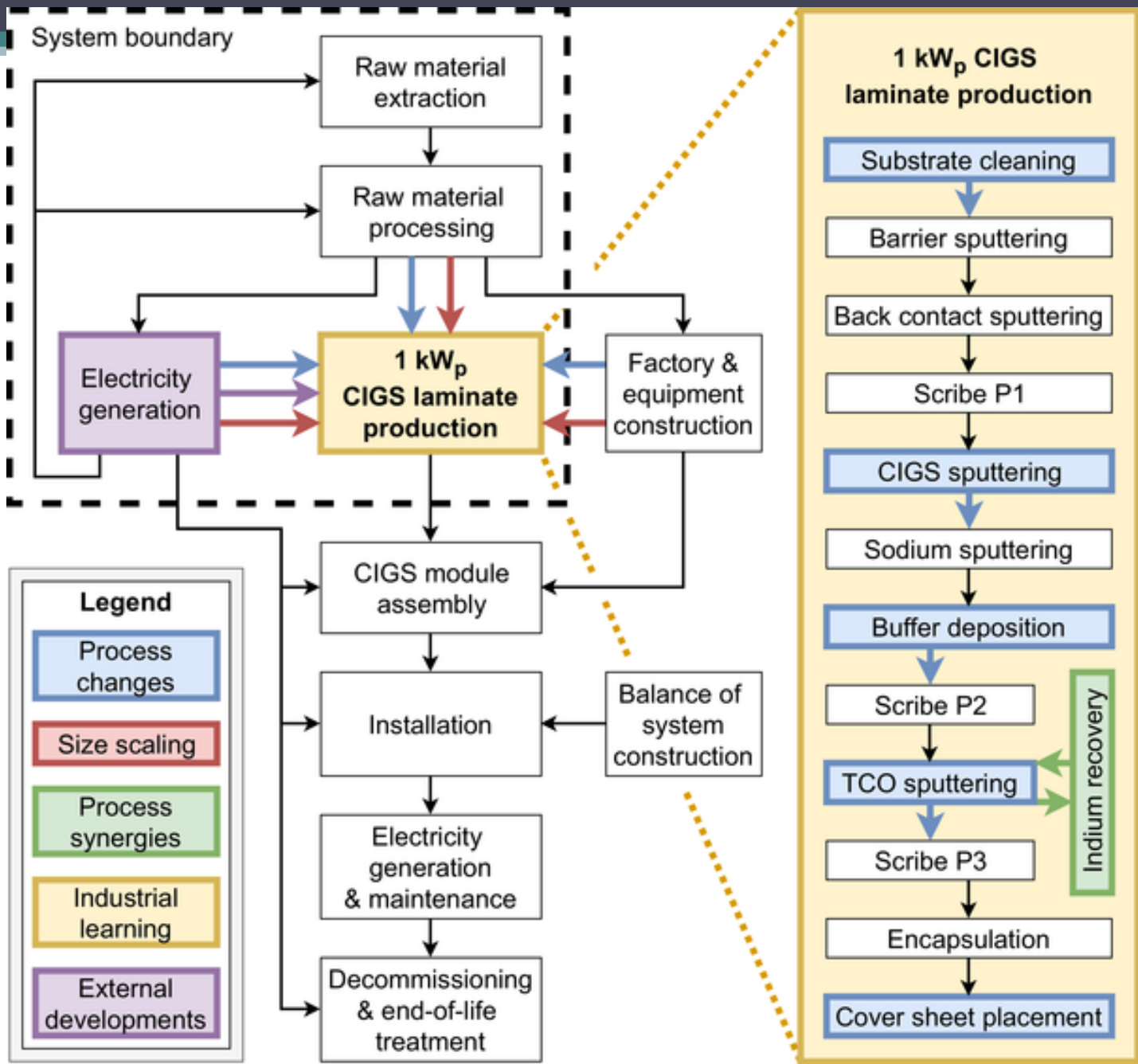
1. Διατήρηση μάζας ( $M_{in} = M_{out}$ ),
2. διατήρηση ενέργειας ( $E_{in} = E_{out}$ ), και
3. αύξηση εντροπίας.





**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).



# Απογραφή Δεδομένων - Αποτελέσματα (1)

- Υπάρχουν αποτελέσματα σε αυτό το επίπεδο! → ρύποι που απελευθερώνονται στο περιβάλλον και υλικά και ενέργεια που καταναλώνεται

Εκπομπές	Υλικά	Ενέργεια
CO <sub>2</sub>	Πετρέλαιο	kWh ηλεκτρισμού
CO	Σιδηρομετάλλευμα	kWh θερμότητας
CH <sub>4</sub>		

- Όταν μια μελέτη σταματά μετά από αυτή τη φάση, είναι μια μελέτη Life Cycle Inventory

# Απογραφή Δεδομένων - Αποτελέσματα (2)

Pb–Acid Battery Manufacturing			Raw data [50]		Normalised data	
			Value	Unit	Value	Unit
Assembly	Energy consumption	Electricity	10.71	MJ/(kg battery)	0.74	MJ/(kWh storage)
Component production	Electrodes	Antimony (Sb)	0.71	g/100 g battery	0.49	g/(kWh storage)
		Arsenic (As)	0.03	g/100 g battery	0.02	g/(kWh storage)
		Copper (Cu)	0.01	g/100 g battery	0.01	g/(kWh storage)
		Lead (Pb)	60.97	g/100 g battery	41.96	g/(kWh storage)
		Oxygen (O <sub>2</sub> )	2.26	g/100 g battery	1.56	g/(kWh storage)
	Electrolyte	Sulfuric Acid (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	10.33	g/100 g battery	7.11	g/(kWh storage)
		Water (H <sub>2</sub> O)	16.93	g/100 g battery	11.65	g/(kWh storage)
Separator	Glass	0.20	g/100 g battery	0.14	g/(kWh storage)	
	Polyethylene (PE)	1.83	g/100 g battery	1.26	g/(kWh storage)	
Case	Polypropylene (PP)	6.73	g/100 g battery	4.63	g/(kWh storage)	

Επίσης πόσα απόβλητα ανά λειτουργική μονάδα!



**Ποια αποτελέσματα προκύπτουν ήδη στο επίπεδο LCI;**

**Πότε μια μελέτη θεωρείται μόνο LCI;**

Ρύποι προς περιβάλλον, κατανάλωση υλικών/ενέργειας, απόβλητα ανά λειτουργική μονάδα

Αν η μελέτη σταματά εδώ, χαρακτηρίζεται ως «Life Cycle Inventory» μελέτη.

# Ποιότητα δεδομένων

- Η ποιότητα των δεδομένων έχει σημαντική επίδραση στα αποτελέσματα ΑΚΖ
- Πρέπει να γίνεται σωστή αξιολόγηση των δεδομένων σε κάθε ΑΚΖ
- **Μετρημένα, υπολογισμένα ή εκτιμώμενα δεδομένα:**
  - Ακριβή
  - Πλήρη
  - Σταθερά
  - Να εκπροσωπούν την διαδικασία/δεργασία
- Να είστε επικριτικοί με τα datasets!



**Τι σημαίνει «ποιοτητα δεδομένων» και ποια βασικά κριτήρια αξιολόγησης τίθενται;**

Ακρίβεια, πληρότητα, σταθερότητα και αντιπροσωπευτικότητα της διαδικασίας.

Απαιτείται κριτική στάση απέναντι στα δεδομένα.

# Επικύρωση και αποκοπή δεδομένων

- Ισοζύγιο μάζας
- Ισοζύγιο ενέργειας
- Αποτελέσματα φάσης Απογραφή δεδομένων
- Απογραφή συνεισφοράς και Απογραφή ευαισθησίας
- Κατ' αρχήν, όλα πρέπει να περιλαμβάνονται ΑΛΛΑ μπορεί κανείς να αποκόψει διαδικασίες που δεν συμβάλλουν στα αποτελέσματα επειδή:
  - Δεν υπάρχουν δεδομένα
  - Δεν υπάρχει χρόνος
  - Δεν υπάρχουν λεφτά



**Ποια είναι τα βήματα «επικύρωσης» και  
πότε/γιατί επιτρέπεται «αποκοπή»  
δεδομένων;**

Έλεγχοι ισοζυγίων μάζας/ενέργειας, Απογραφή συνεισφοράς & ευαισθησίας  
Επιτρέπεται αποκοπή για ροές/διεργασίες μη ουσιώδεις, ή όταν λείπουν δεδομένα/χρόνος/πόροι, πάντα με ρητή τεκμηρίωση.

# Αβεβαιότητα δεδομένων (1)

- Αβεβαιότητες που οφείλονται σε εννοιολογικά λάθη (υποθέτοντας τη σημασία άσχετων πληροφοριών και παράβλεψη σχετικών πληροφοριών) κατά τη συλλογή δεδομένων
- Αβεβαιότητες στις συνθήκες δοκιμής και στις μεθόδους μέτρησης για τον προσδιορισμό των ρών αναφοράς
- Αβεβαιότητες στον προσδιορισμό της ακριβούς φύσης της αλληλεπίδρασης με άλλα συστήματα προϊόντων (συνεπακόλουθη προσέγγιση AKZ)

## Αβεβαιότητα δεδομένων (2)

Πρέπει να «μάθουμε» –  
καταλάβουμε το σύστημα  
προϊόντος (product system)  
που αναλύουμε!

Πώς «μαθαίνουμε» το σύστημα προϊόντος  
(product system);



# Σύστημα προϊόντος



# Σύστημα προϊόντος



# Σύστημα προϊόντος



# Συλλογή δεδομένων

- Διαθέσιμες βάσεις δεδομένων:
  - Βάση δεδομένων EcoInvent
  - Βάση δεδομένων I-O Exiobase
  - Βάση δεδομένων U.S. Life Cycle Inventory Database
  - Βάση δεδομένων CPM LCA (Πανεπιστήμιο Chalmers)
- Διεθνής λογοτεχνία
- Εμπειρικά δεδομένα από πειράματα
- Έρευνες-ερωτηματολόγια



**Από πού συλλέγονται δεδομένα LCI;**  
**Δώστε βασικές πηγές.**

1. Βάσεις δεδομένων (π.χ. Ecoinvent, etc.),
2. διεθνής βιβλιογραφία,
3. πειράματα,
4. έρευνες/ερωτηματολόγια.

# Βάσεις δεδομένων

- Στις βάσεις δεδομένων τα δεδομένα οργανώνονται σε διεργασίες (process units) με έμφαση στο προϊόν

## OUTPUT - Product

Electricity, high voltage {EURO}  electricity production mix	1.000	kWh
--	-------	-----

## INPUT – Electricity/heat

Electricity, high voltage {EURO}  electricity production, hard coal	0.148	kWh
---	-------	-----

Electricity, high voltage {EURO}  electricity production, lignite	0.119	kWh
---	-------	-----

Electricity, high voltage {EURO}  electricity production, oil	0.016	kWh
---	-------	-----

Electricity, high voltage {EURO}  electricity production, natural gas	0.159	kWh
---	-------	-----

Electricity, high voltage {EURO}  electricity production, nuclear	0.270	kWh
---	-------	-----

Electricity, high voltage {EURO}  electricity production, biomass	0.024	kWh
---	-------	-----

Electricity, high voltage {EURO}  electricity production, hydropower	0.182	kWh
--	-------	-----

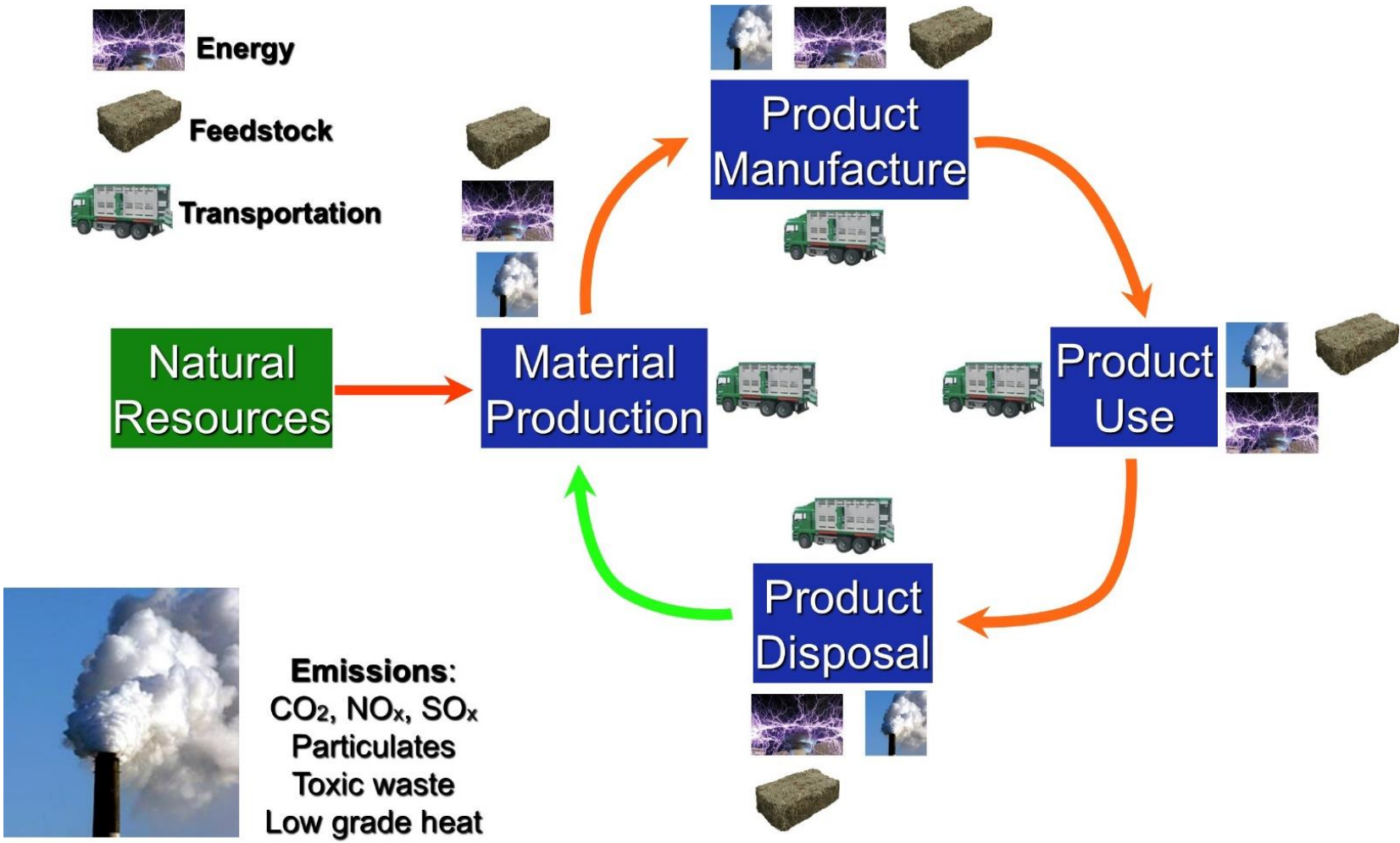
Electricity, high voltage {EURO}  electricity production, wind	0.046	kWh
--	-------	-----

Electricity, high voltage {EURO}  electricity production, other	0.036	kWh
---	-------	-----

# Βάσεις δεδομένων (2)

- Στις βάσεις δεδομένων τα δεδομένα οργανώνονται σε διεργασίες μονάδων
- Κάθε διεργασία βασίζεται στην εισροή ή εκροή ενδιαφέροντος
  - Για καλλιέργεια σιταριού: 1 κιλό σιτάρι ή 1 € σιτάρι
- Η κατανομή είναι ενσωματωμένη σε σύνολα δεδομένων
  - Ποιόν τύπο κατανομής?

# Δεδομένα προσκηνίου και παρασκηνίου



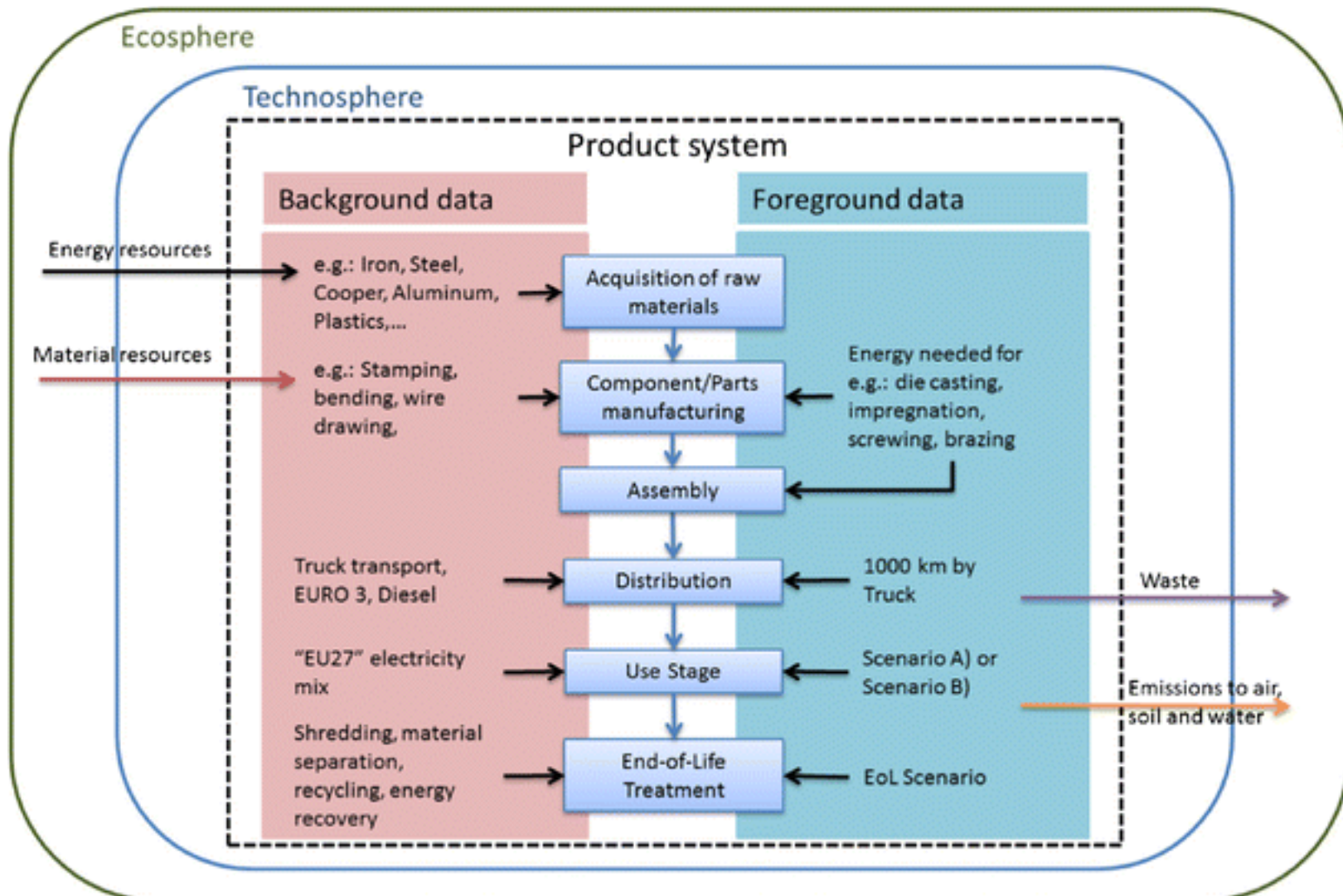


**Τι διακρίνει «δεδομένα προσκηνίου» από «δεδομένα παρασκηνίου»; Παραδείγματα;**

Προσκηνίου: εισροές/εκροές εντός ορίων συστήματος (π.χ. μονάδα διεργασίας).

Παρασκηνίου: ηλεκτρισμός, εμπορεύματα, μεταφορές από γενικές βάσεις.

# Δεδομένα προσκηνίου και παρασκηνίου



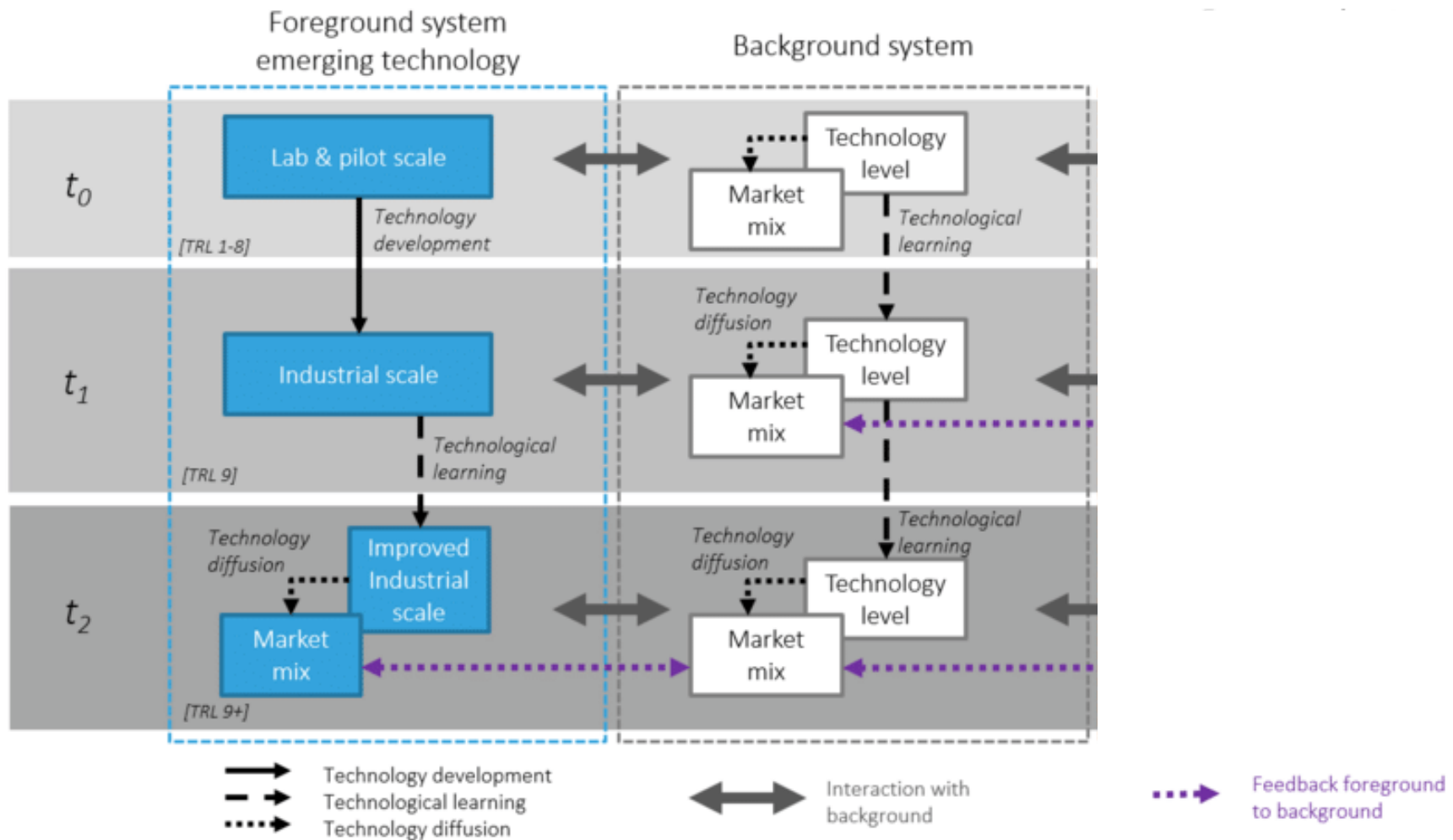
# Δεδομένα προσκηνίου

- Τυπικά δεδομένα πρώτου πλάνου:
  - εισόδους και εξόδους διεργασιών μονάδας στα όρια του συστήματος
- Πηγές:
  - *Βιβλιογραφία*
  - Προσωπικά πειράματα
  - Προσωπική μοντελοποίηση (π.χ. με Aspen Plus)
  - Εξαγορά από εταιρείες

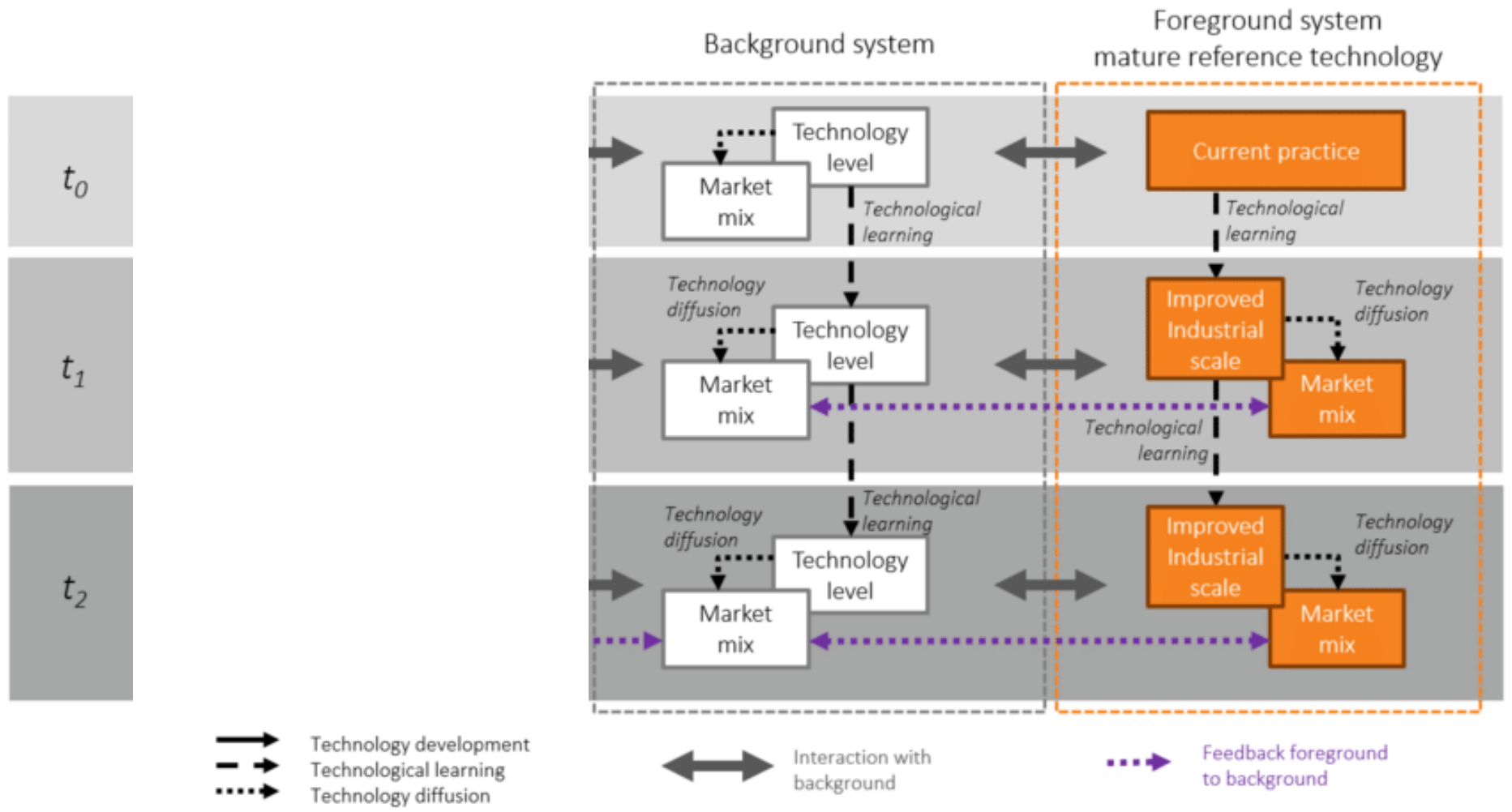
# Δεδομένα παρασκηνίου

- Τυπικά δεδομένα φόντου:
  - Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
  - Παραγωγή εμπορευμάτων/αναλώσιμων
  - Όχημα και παραγωγή καυσίμου για μεταφορά
- Πηγές:
  - Βιβλιογραφία
  - Βάσεις δεδομένων

# Παράδειγμα 1: πολλά δεδομένα προσκηνίου

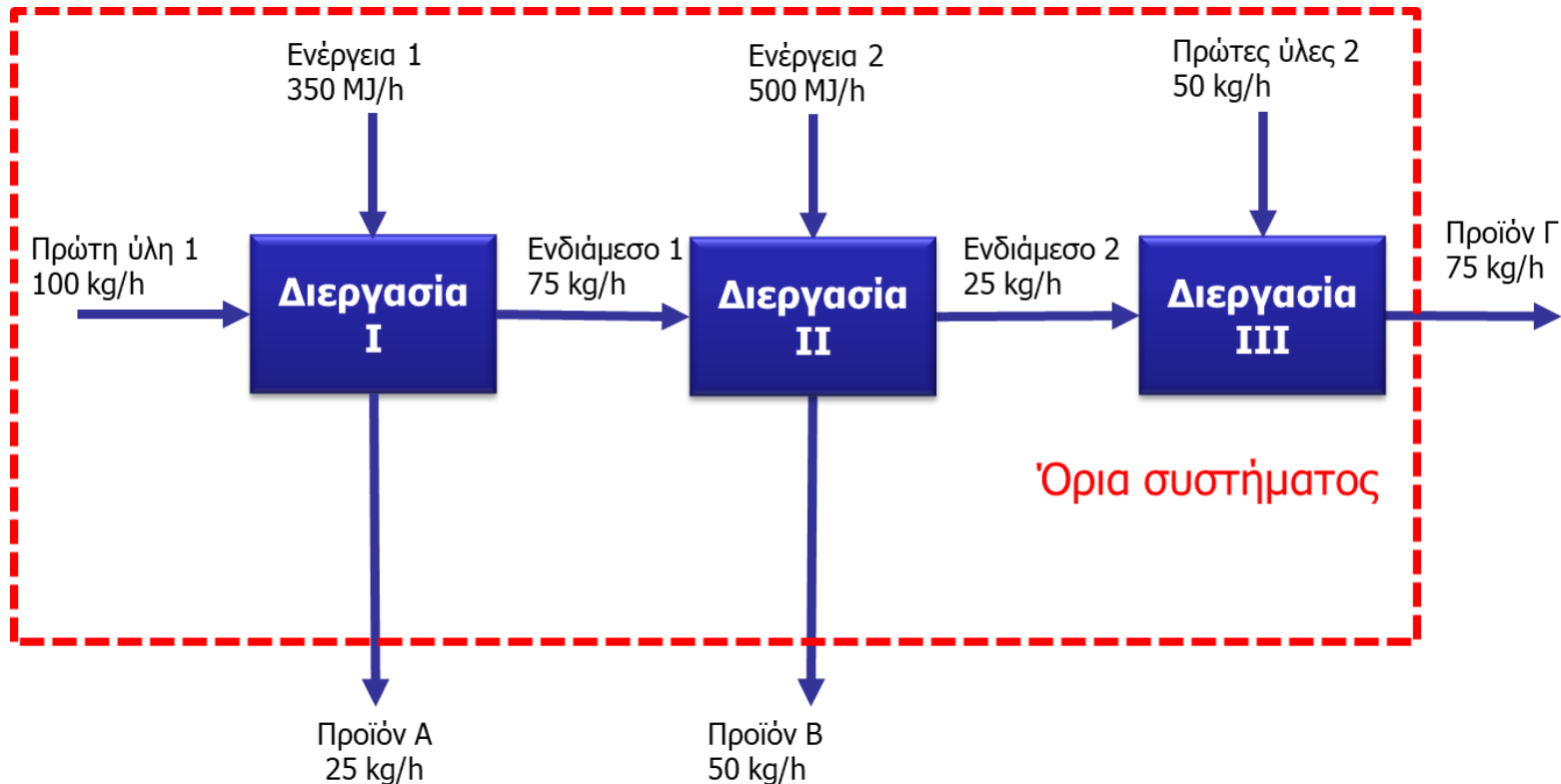


# Παράδειγμα 2: πολλά δεδομένα παρασκευηίου



# Δεδομένα προσκηνίου ή παρασκηνίου;

- Παραγωγή ενέργειας 1
- Πρώτη ύλη 1
- Ενδιάμεσο προϊόν 2
- Παραγωγή ενέργειας 1
- Ενδιάμεσο προϊόν 2
- Προϊόν A
- Αν είχαμε Εκπομπές;



# Απλοποίηση της φάσης Απογραφής δεδομένων (1)

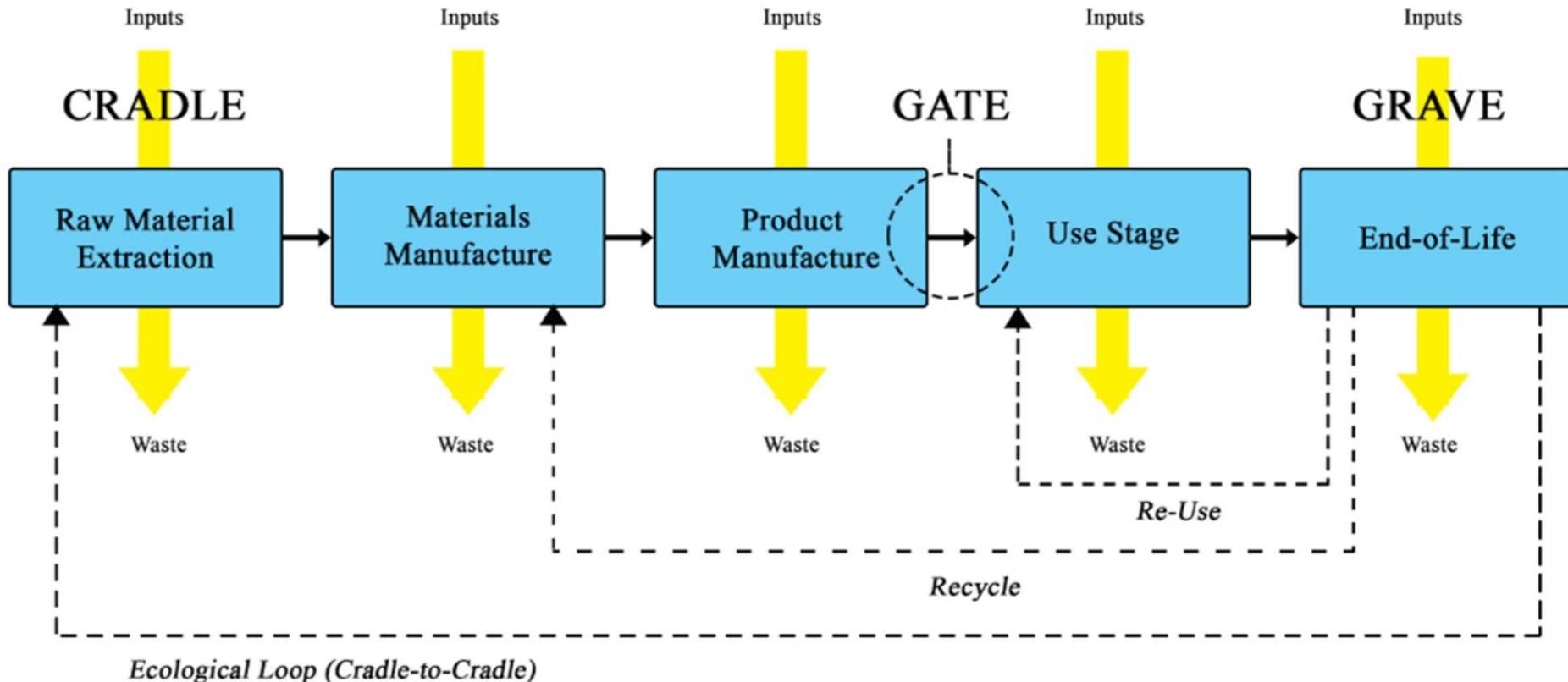
Μια κάθετη τομή με την οποία συλλέγονται δεδομένα για όλα τα σχετικά στάδια, αλλά σε μικρότερη λεπτομέρεια, είναι γενικά προτιμότερη από την εξάλειψη των διαδικασιών σε κάθε δεδομένο στάδιο.

Αυτό συνεπάγεται ότι ένας έλεγχος, ή μια προ-εκτίμηση, απαιτείται πριν από την έναρξη της ΑΚΖ για ένα απλοποιημένο γκρουπ δεδομένων.

Analysis of LCA simplification methods (Hunt et al., 1998)

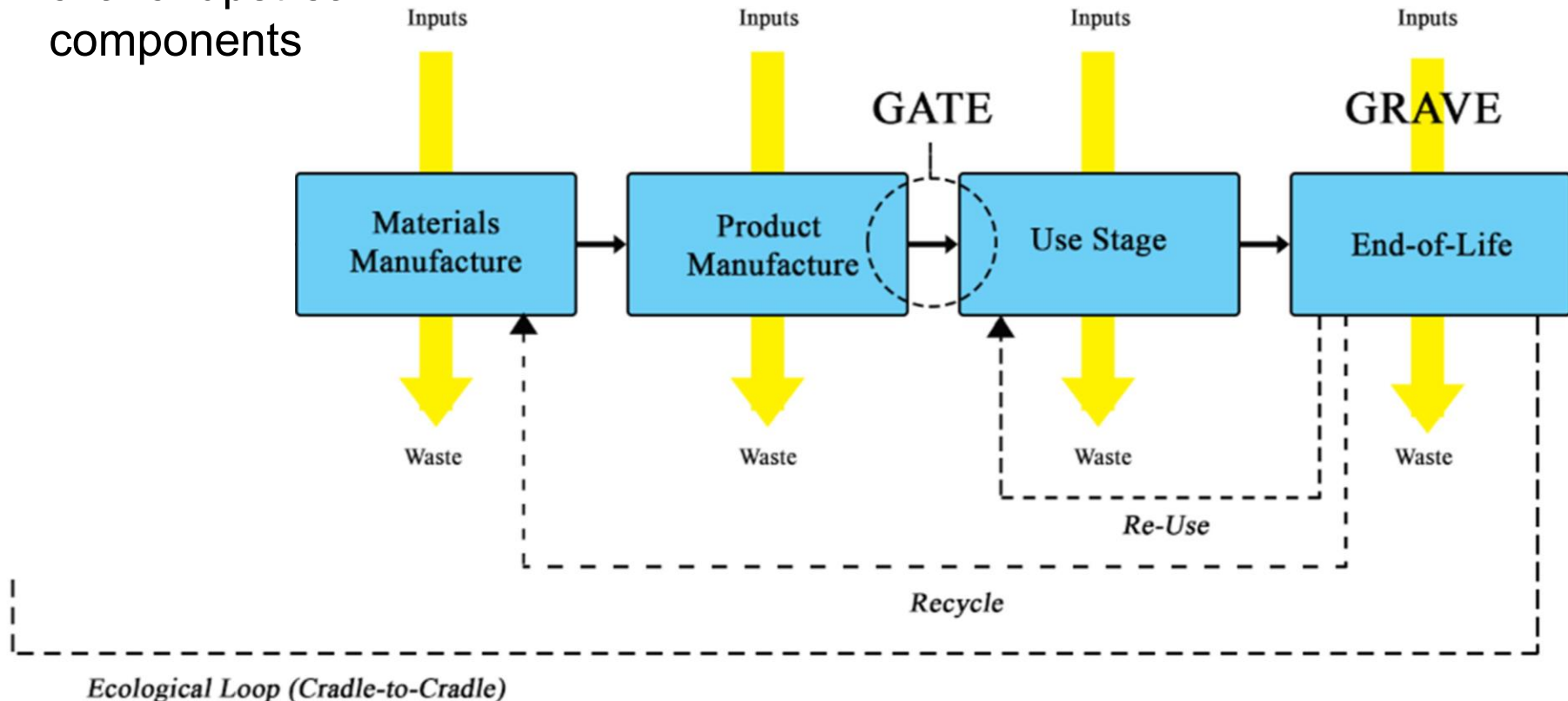
Cut-off method	Description (applied to packaging, industrial chemicals, household cleaners, etc.)	Success rate (same ranking as detailed LCA)
Removal of upstream components	all processes prior to primary material production (e.g., polymerisation) are excluded	58%
Removal of partial upstream components	as above, but the one preceding step is included (e.g., monomer production)	70%
Removal of downstream components	all processes after primary material production are excluded (manufacturing, use, end of life)	67%
Removal of up- and downstream components	only primary materials production is included (e.g., only polymerisation)	35%

# Απλοποίηση της φάσης Απογραφής δεδομένων (3)

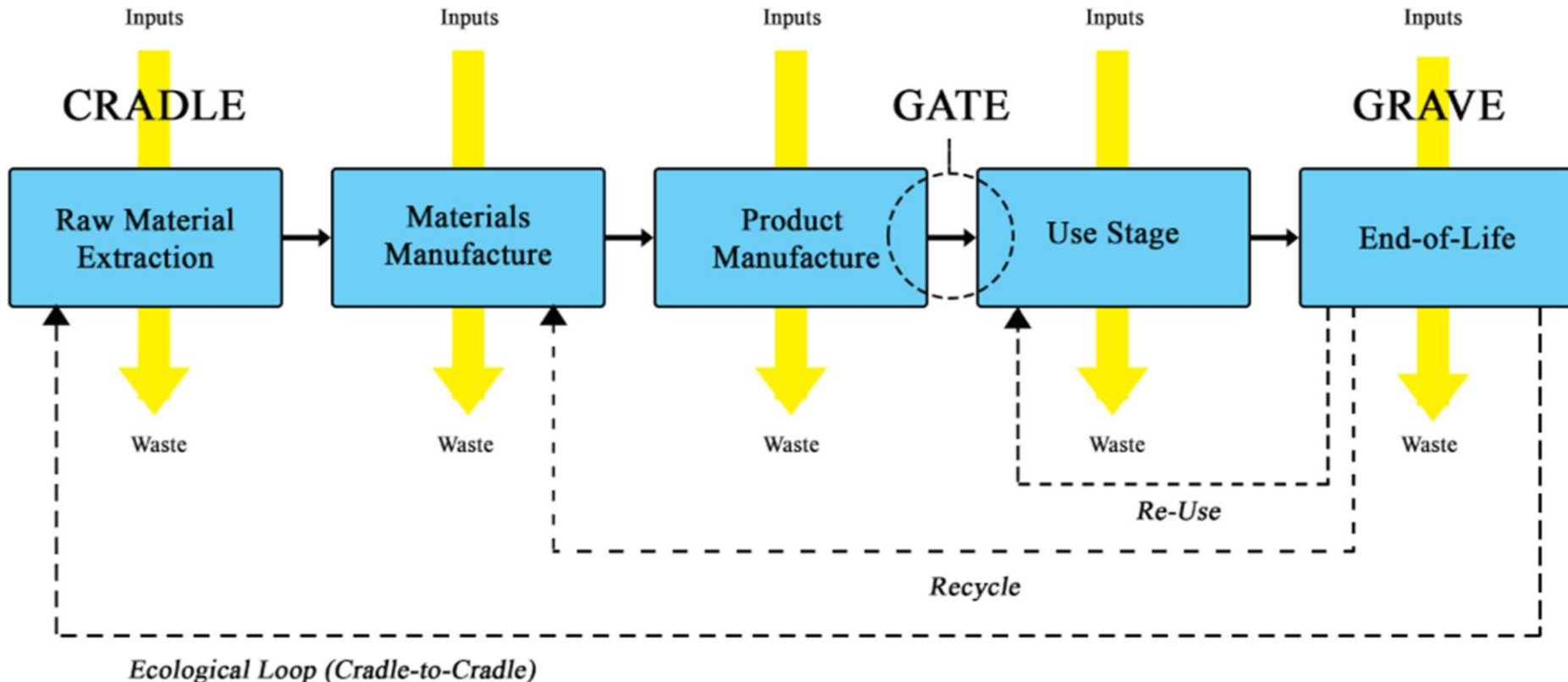


# Απλοποίηση της φάσης Απογραφής δεδομένων (3)

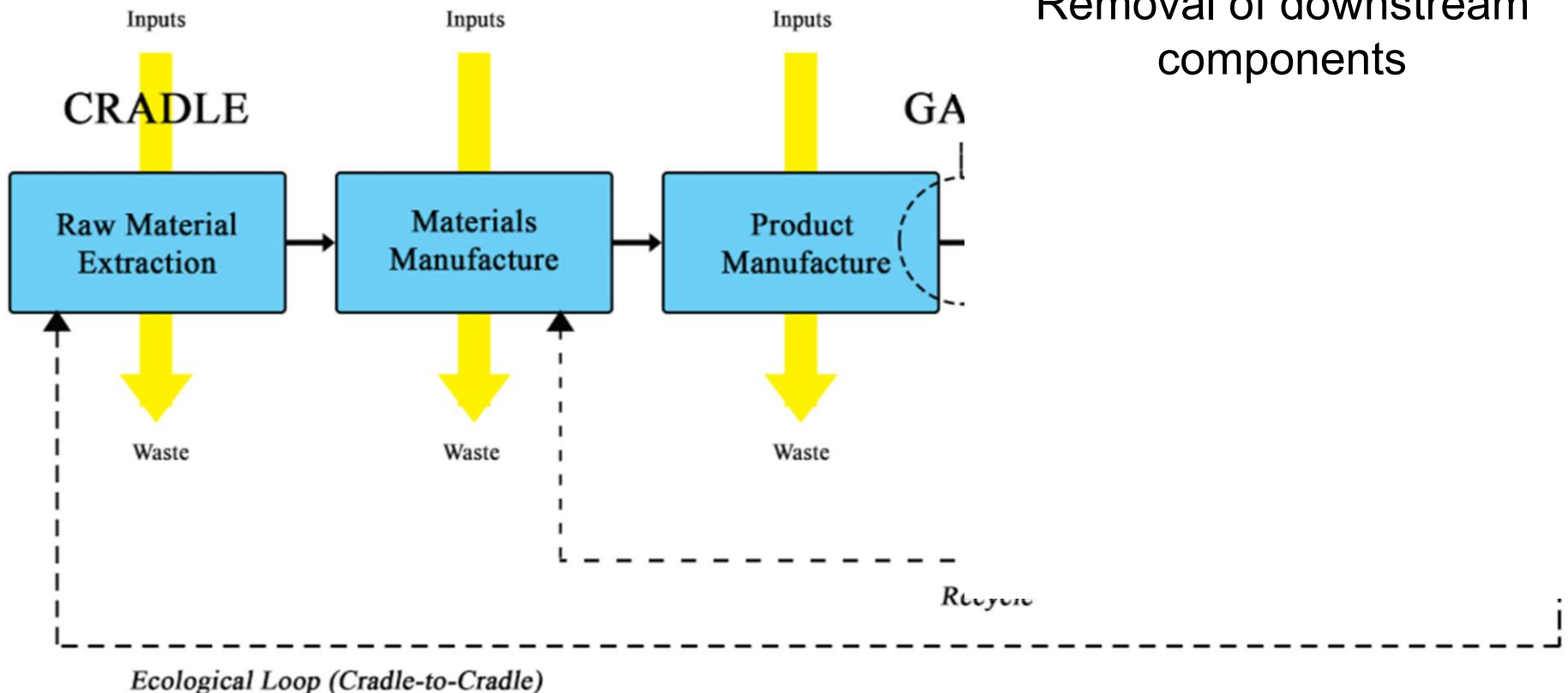
Removal of upstream  
components



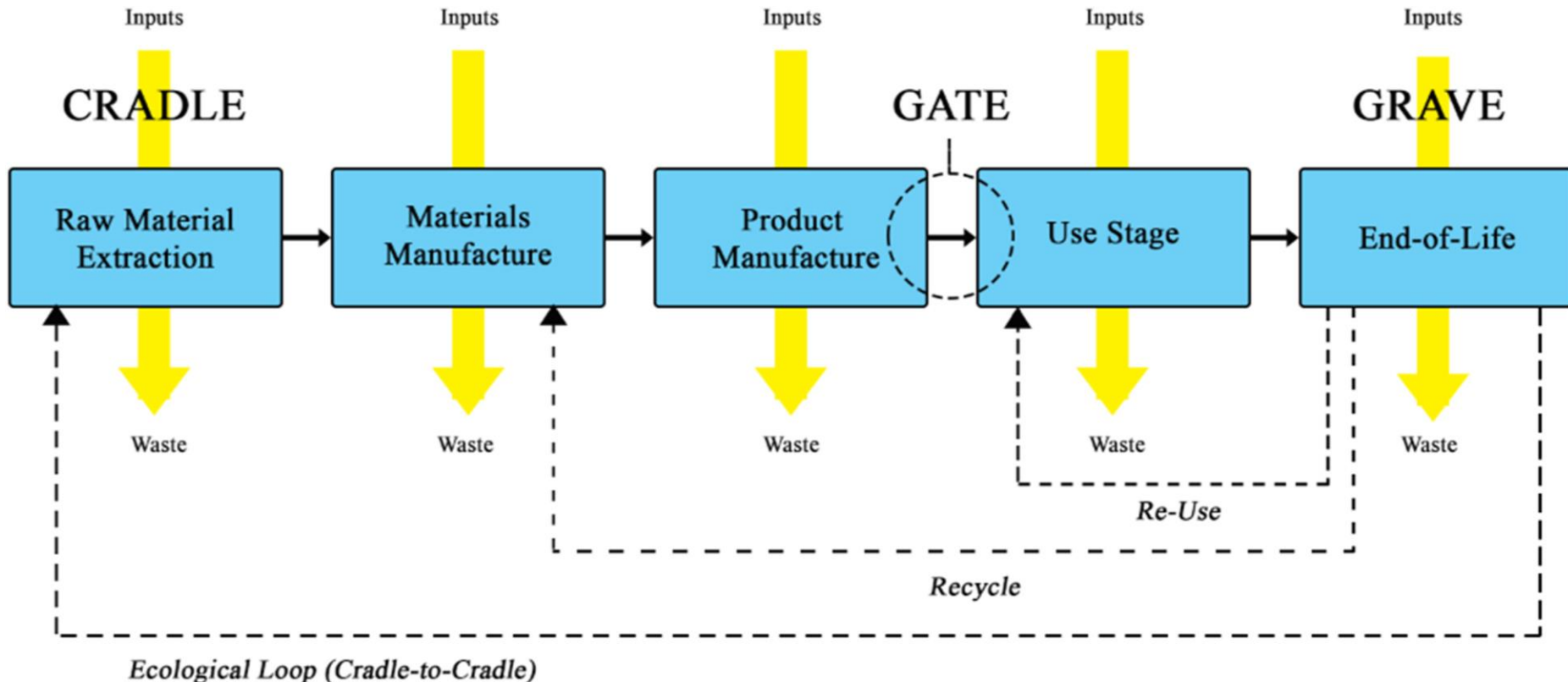
# Απλοποίηση της φάσης Απογραφής δεδομένων (4)



# Απλοποίηση της φάσης Απογραφής δεδομένων (4)



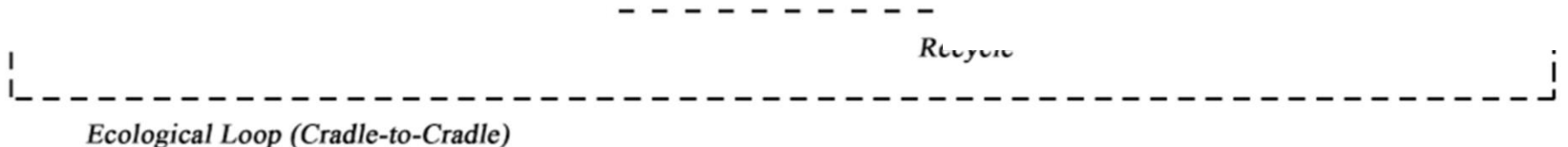
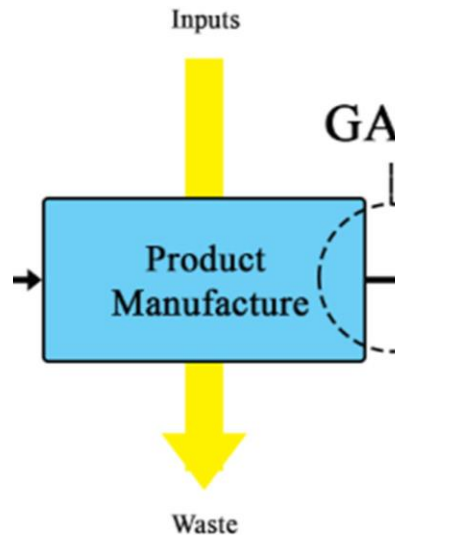
# Απλοποίηση της φάσης Απογραφής δεδομένων (5)



# Απλοποίηση της φάσης Απογραφής δεδομένων (6)

Removal of upstream  
components

Removal of downstream  
components



*Ecological Loop (Cradle-to-Cradle)*



## Ποια προσέγγιση απλοποίησης της LCI προτείνεται και γιατί;

«Κάθετη τομή», συλλογή βασικών δεδομένων για όλα τα στάδια με μικρότερη λεπτομέρεια, αντί για εξάλειψη διαδικασιών  
Προϋποθέτει προ-εκτίμηση πριν την έναρξη.

# Ανασκόπηση - Kahoot

