

Ανάλυση Κύκλου Ζωής (AKZ) Life Cycle Analysis (LCA)

Φραγκίσκος Κουτελιέρης

mail: fcoutelieris@upatras.gr

eclass: <https://eclass.upatras.gr/courses/ENV298/>

Εφαρμογή Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

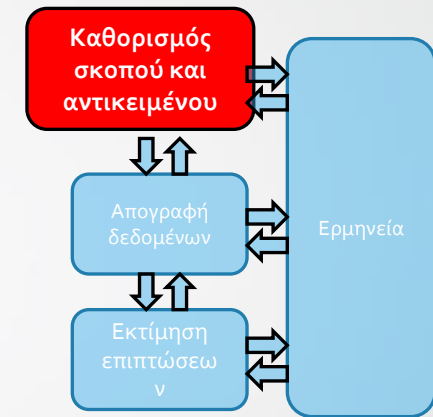
A) Σκοπός και Καθορισμός του Αντικειμένου

Σκοπός

- Ορισμός του αντικειμένου της μελέτης. (Γιατί γίνεται η μελέτη)
 - πχ. Η σύγκριση δύο προϊόντων
- Κοινό που απευθύνεται. (Για ποιόν γίνεται η μελέτη)
 - πχ. Καταναλωτές, μετόχους μίας εταιρείας

Καθορισμός

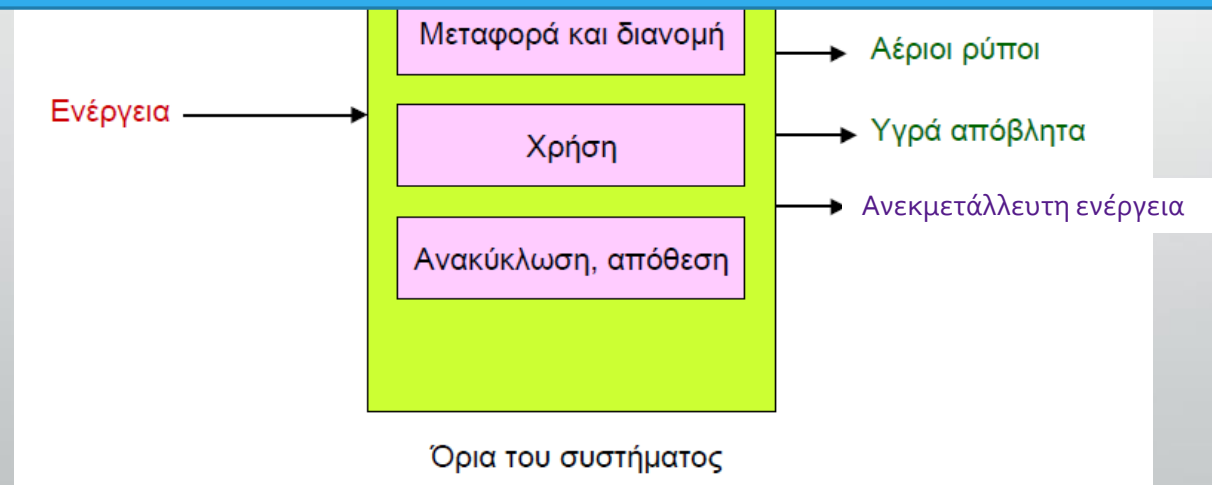
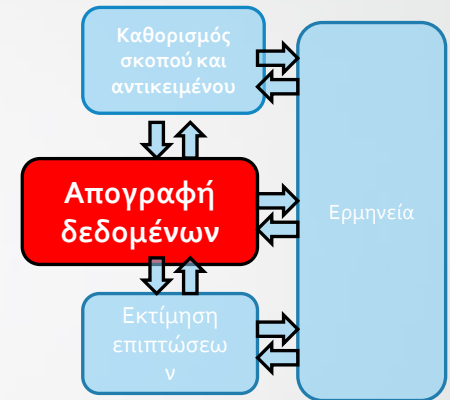
- Του συστήματος που θα μελετηθεί και των ορίων αυτού του συστήματος
 - Καθορίζουν ποιές μονάδες (unit operations) θα συμπεριληφθούν στην ΑΚΖ
- Της λειτουργικής μονάδας (functional unit) – Η λειτουργική μονάδα καθορίζει μία μονάδα αναφοράς βάση της οποίας κανονικοποιούνται όλα τα δεδομένα που εισάγονται και εξάγονται στο σύστημα. Είναι απαραίτητη για να εξασφαλίσουμε συγκρισιμότητα μεταξύ των αποτελεσμάτων της ΑΚΖ
- Υπολογισμός της ροής αναφοράς (προκύπτει από τη λειτουργική μονάδα)
- Περιγραφή των δεδομένων που χρειάζονται (μάζας, ενέργειας, αποβλήτων)



Εφαρμογή Αποτίμηση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ-LCA)

B) Απογραφή Δεδομένων (Inventory Analysis)

- Δεδομένα από τον σχεδιασμό της διεργασίας (εισροών/εκροών μάζας, ενέργειας)
- Υπολογισμός των περιβαλλοντικών δεδομένων

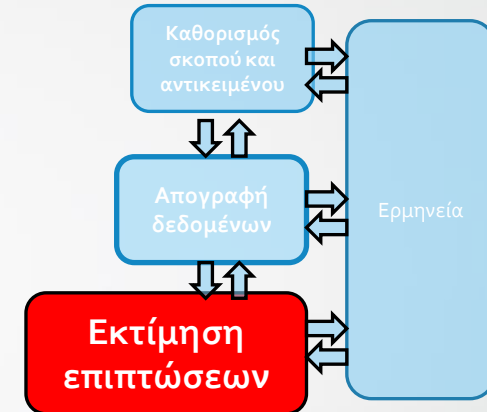


Εφαρμογή Αποτίμηση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ-LCA)

Εκτίμηση επιπτώσεων (Impact Assessment)

Εκτίμηση επιπτώσεων

- Επιλογή των κατηγοριών επιπτώσεων
- Επιλογή των ρευμάτων που θα αθροιστούν ανά κατηγορία επίπτωσης
- Καθορισμός της συνεισφοράς των ρευμάτων ανά κατηγορία επιπτώσεων
- Υπολογισμός των επιπτώσεων
- Αναγνώριση των σημαντικότερων ρευμάτων ανά κατηγορία επίπτωσης

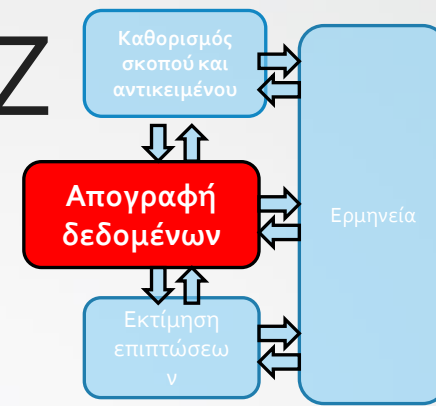


Λογισμικά για την Εφαρμογή Αποτίμησης Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ-LCA)

- Αρκετά λογισμικά περιέχουν λεπτομερής βιβλιοθήκες
 - Πολλά δεδομένα ανανεώνονται συχνά
 - Συνήθως πραγματοποιούν και τους υπολογισμούς για μέτρηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων
- Τα πιο διαδεδομένα είναι το Gabi και το SimaPro
- Μερικά από τα λογισμικά διατίθενται δωρεάν αλλά έχουν ελλιπή δεδομένα

Πως εφαρμόζουμε μία ΑΚΖ

Απογραφή Δεδομένων



Υπολογισμός Περιβαλλοντικών Φορτίων

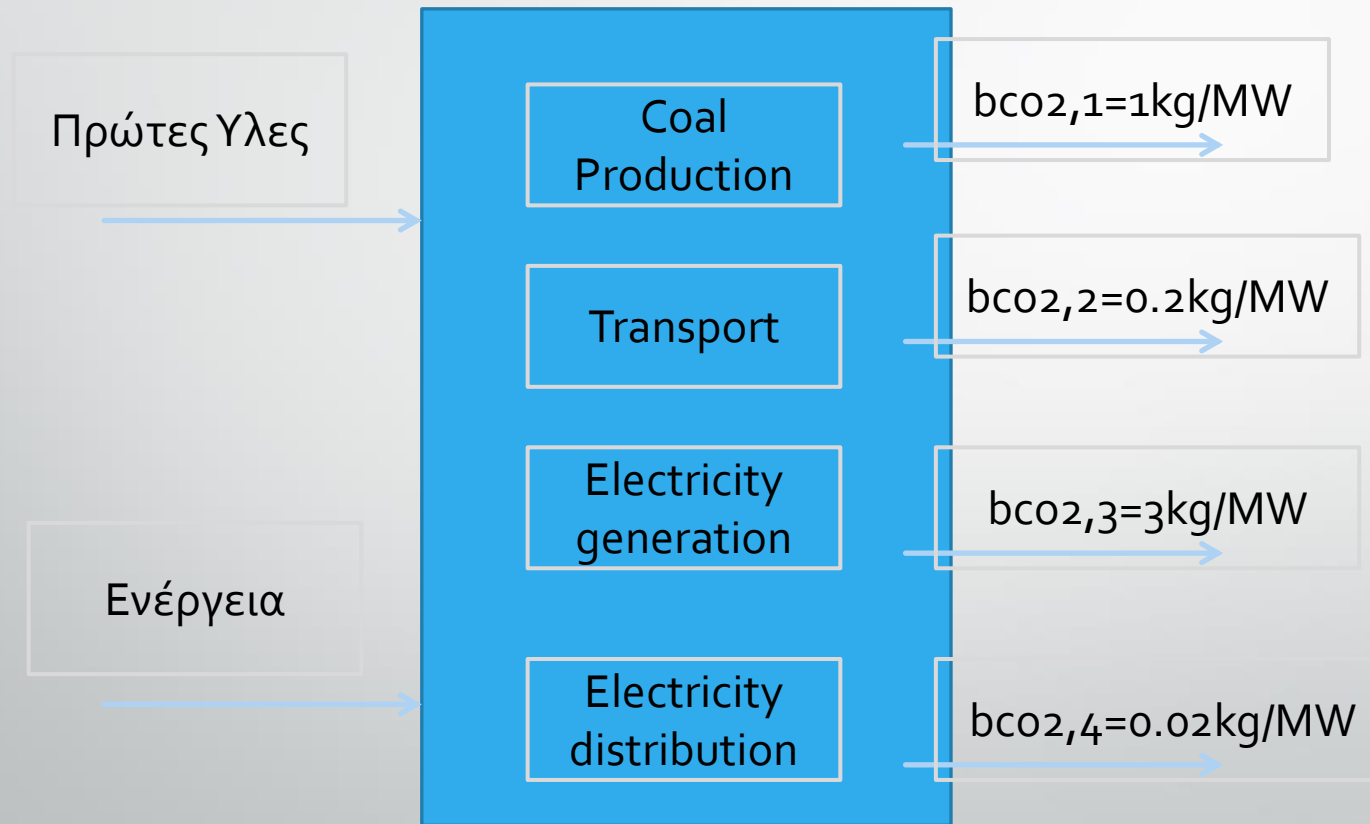
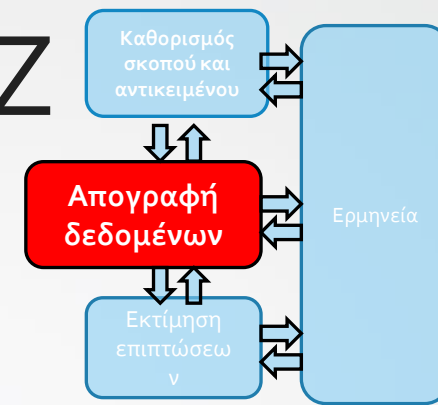
$$B_j = \sum b_{j,i} \cdot x_i$$

B_j	Ολικό φορτίο j ανά λειτουργική μονάδα (π.χ. kg-CO ₂ /λ.μ.)
$b_{j,i}$	Φορτίο j από την δραστηριότητα i (π.χ. kg-CO ₂ /μονάδα μέτρησης)
x_i	Ροή μάζας/ενέργειας στην δραστηριότητα i σύμφωνα με την λ.μ.

Πως εφαρμόζουμε μία ΑΚΖ

Απογραφή Δεδομένων

Πόσο είναι το Όλικό φορτίου του CO₂;



Functional Unit = 10 MW

$$B_j = \sum b_{j,i} \cdot x_i$$

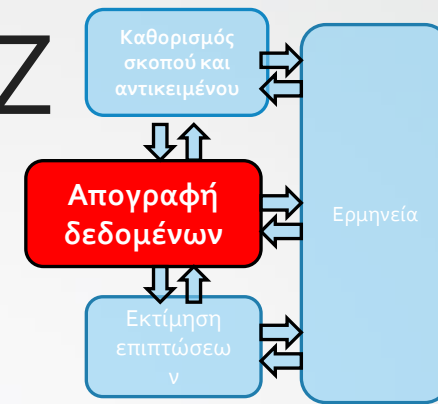
j είναι το CO₂
 i είναι οι τέσσερις δραστηριότητες

$$B_{CO_2} = 1 \cdot 10 + 0.2 \cdot 10 + 3 \cdot 10 + 0.02 \cdot 10 = 42,2 \text{ kg} / \lambda.\mu.$$

Πως εφαρμόζουμε μία ΑΚΖ

Απογραφή Δεδομένων

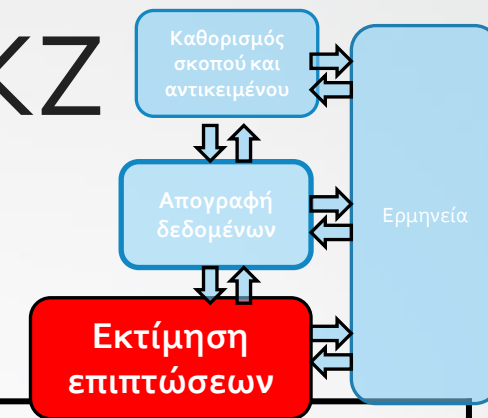
Είσοδος/ έξοδος μάζας και ενέργειας για παραγωγή 1 κιλού αιθυλενίου



Χρειάζονται μεγάλες ποσότητες δεδομένων ακόμα και για απλές διεργασίες

Πως εφαρμόζουμε μία ΑΚΖ

Εκτίμηση επιπτώσεων

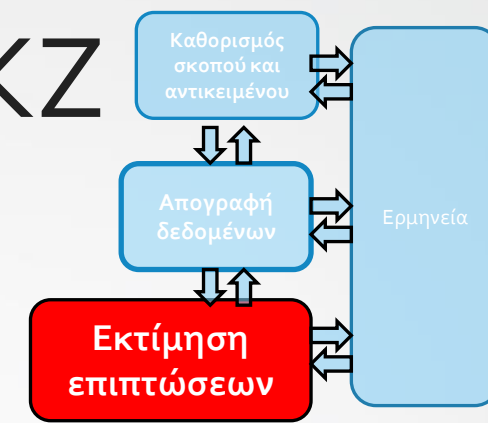


Κατηγορία Επίπτωσης	Μονάδες
Πιθανότητα Ευτροφισμού (Eutrophication Potential)	kg PO ₄ equivalents
Πιθανότητα οξίνισης (Acidification potential)	kg SO ₂ equivalents
Πιθανότητα οικο-τοξικότητας και τοξικότητας στον άνθρωπο (Ecotoxicity and human toxicity potential)	kg 1,4-DB (1,4-dichlorobenzene) equivalents
Πιθανότητα Κλιματικής Αλλαγής (Global warming potential)	kg of CO ₂ equivalents
Πιθανότητα δημιουργίας φωτοχημικού όζοντος (Photochemical ozone creation potential – smog)	kg C ₂ H ₂ equivalents
Πιθανότητα ελάττωσης του όζοντος (Ozone Depletion potential)	kg CFC-11 equivalents
Ελάττωση αβιοτικών πόρων (Depletion of Abiotic Resources)	kg Sb eq.

Πως εφαρμόζουμε μία ΑΚΖ

Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων

Υπολογισμός Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων



$$E_k = \sum e_{k,j} \cdot B_j$$

E_k Ολική Περιβαλλοντική επίπτωση (k)

$e_{k,j}$ Συντελεστής περιβαλλοντικής επίπτωσης φορτίου (j)

Περιβαλλοντική Total global warming potential (kg CO₂)

B_j Περιβαλλοντικό φορτίο που συμβάλλει στην επίπτωση (k)

$e_{k,j}$ global warming potential of greenhouse gas j (kg CO₂ eq./kg GHG)

e_{CO_2} 1kg CO₂ eq./kg CO₂

e_{CH_4} 25kg CO₂ eq./kg CH₄

e_{CFC-13} 11000kg CO₂ eq./kg CFC-13

B_j Emission of greenhouse gas j (kg)

GWP of the most common GHGs

GHG	Chemical formula	GWP ₁₀₀ (kg-CO ₂ equivalent)
Carbon dioxide	CO ₂	1
Methane	CH ₄	25
Nitrous oxide	N ₂ O	298
CFC-11	CCl ₂ F	4750
CFC-12	CCl ₂ F ₂	10900
CFC-13	CClF ₃	14400
Carbon tetrachloride	CCl ₄	1400
Methyl bromide	CH ₃ Br	5
Methyl chloroform	CH ₃ CCl ₃	146
HFC-23	CHF ₃	14800
HFC-32	CH ₂ F ₂	675
Sulfur hexafluoride	SF ₆	22800
Nitrogen trifluoride	NF ₃	17200
PFC-14	CF ₄	7390
PFC-116	C ₂ F ₆	12200
Dimethylether	CH ₃ OCH ₃	1
Methylene chloride	CH ₂ Cl ₂	8.7
Methyl chloride	CH ₃ Cl	13

The carbon footprint, also called carbon profile, is calculated by using environmental indicators, such as the GWP. The latter, according to the IPCC, relates the contribution of a greenhouse gas to the climate change regarding a fixed time period (i.e. GWP₁₀₀ refers to the 100 years)

Περιβαλλοντικοί δείκτες

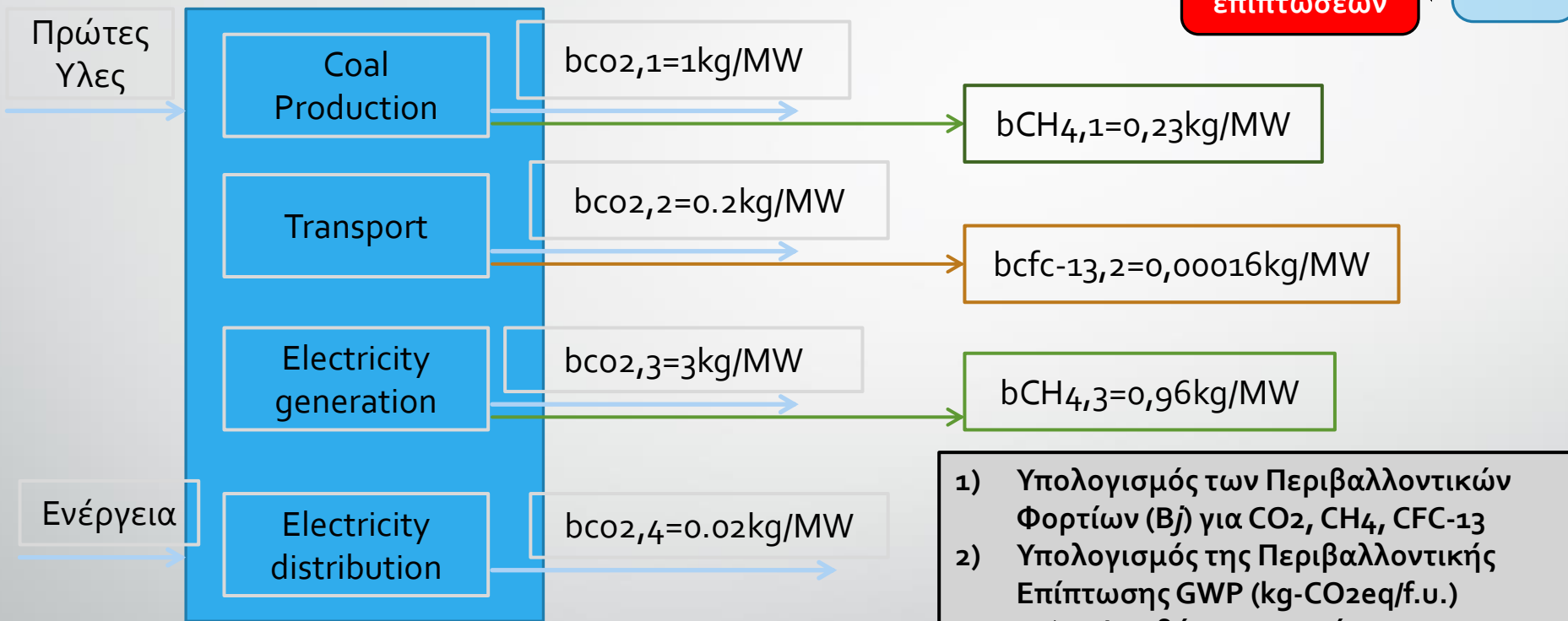
CML 2001		
Acidification	AC	kg SO ₂ eq
Eutrophication	EU	kg PO ₄ eq
Global warming 20a	GW-20	kg CO ₂ eq
Upper limit of net global warming	ULGW	kg CO ₂ eq
Lower limit of net global warming	LLGW	kg CO ₂ eq
Ozone layer depletion 10a	OLD-10	kg CFC-11 eq
Ozone layer depletion 20a	OLD-20	kg CFC-11 eq
Ozone layer depletion steady state	OLD-SS	kg CFC-11 eq
Human toxicity 20a	HT-20	kg 1,4-DB eq
Human toxicity infinite	HT-IN	kg 1,4-DB eq
Freshwater aquatic ecotoxicity 20a	FAE-20	kg 1,4-DB eq
Marine aquatic ecotoxicity 20a	MAE-20	kg 1,4-DB eq
Marine aquatic ecotoxicity infinite	MAE-Inf	kg 1,4-DB eq
Terrestrial ecotoxicity 20a	TE-20	kg 1,4-DB eq
Terrestrial ecotoxicity infinite	TE-Inf	kg 1,4-DB eq
Marine sediment ecotoxicity 20a	MSE-20	kg 1,4-DB eq
Marine sediment ecotoxicity infinite	MSE-Inf	kg 1,4-DB eq
Freshwater sediment ecotoxicity 20a	FSE-20	kg 1,4-DB eq
Freshwater sediment ecotoxicity infinite	FSE-Inf	kg 1,4-DB eq
Average European (kg NO _x eq)	AE-NO _x	kg NO _x eq
Average European (kg SO ₂ -Eq)	AE-SO _x	kg SO ₂ eq
Land competition	LC	m ² area
Ionising radiation	IR	DALY
Photochemical oxidation	PhO	kg C ₂ H ₄ eq
Photochemical oxidation (low NO _x)	PhO_INO _x	kg C ₂ H ₄ eq
Malodours air	MA	m ³ air
Equal benefit incremental reactivity	EBIR	kg formed O ₃
Maximum incremental reactivity	MaxIR	kg formed O ₃
Maximum ozone incremental reactivity	MaxOIR	kg formed O ₃

ReCiPe midpoint		
Climate change	CC	kg CO ₂ eq
Ozone depletion	OD	kg CFC-11 eq
Terrestrial acidification	TA	kg SO ₂ eq
Freshwater eutrophication	FE	kg P eq
Marine eutrophication	Meu	kg N eq
Human toxicity	HT	kg 1,4-DB eq
Photochemical oxidant formation	POF	kg NMVOC
Particulate matter formation	PMF	kg PM ₁₀ eq
Terrestrial ecotoxicity	TE	kg 1,4-DB eq
Freshwater ecotoxicity	FE-Tox	kg 1,4-DB eq
Marine ecotoxicity	MEC	kg 1,4-DB eq
Ionising radiation	IR	kg U ²³⁵ eq
Agricultural land occupation	ALO	m ² area
Urban land occupation	ULO	m ² area
Natural land transformation	NLT	m ²
Water depletion	WD	m ³
Metal depletion	MD	kg Fe eq
Fossil depletion	FD	kg oil eq

Πως εφαρμόζουμε μία ΑΚΖ

Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

Υπολογισμός Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων



- 1) Υπολογισμός των Περιβαλλοντικών Φορτίων (B_j) για CO_2 , CH_4 , $CFC-13$
- 2) Υπολογισμός της Περιβαλλοντικής Επίπτωσης GWP ($kg-CO_2eq/f.u.$)
 - 1) Λαμβάνοντας υπόψη τους συντελεστές $e_{k,j}$

$$E_k = \sum e_{k,j} \cdot B_j$$

E_k Ολική Περιβαλλοντική επίπτωση (k)
 $e_{k,j}$ Συντελεστής περιβαλλοντικής επίπτωσης φορτίου (j)
 B_j Περιβαλλοντικό φορτίο που συμβάλλει στην επίπτωση (k)

e_{CO_2}	1 kg CO_2 eq./kg CO_2
e_{CH_4}	25 kg CO_2 eq./kg CH_4
e_{CFC-13}	11000 kg CO_2 eq./kg $CFC-13$

Πόσο είναι το συνολικό GWP?

Πως εφαρμόζουμε μία ΑΚΖ

Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

Υπολογισμός Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων

