

Fémipari életciklus- elemzések

Dr.Tóthné Prof. Dr. Szita Klára
regszita@uni-miskolc.hu

HITA - Környezetvédelmi tréning a fémipari szektor szereplőinek
2012.03.08.Eger
2012.03.13.Bp.

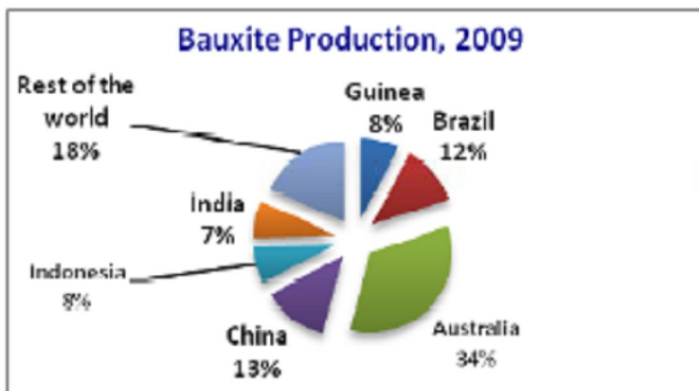


Tartalom

- Fémek jelentősége
 - Árak, felhasználásuk
 - Környezeti hatások és azok mérése
- LCA – Életciklus hatásértékelés
 - Az LCA lépései
 - Értékelési módszerek
 - Az egyes fémek hatásvizsgálata
 - Szenárió elemzések
- Felhasznált irodalom

A fémek jelentősége

Figure 3-a: Production of Bauxite, 2009



Source: World Bureau of Metal Statistics.

Figure 3-c: Production of Iron Ore

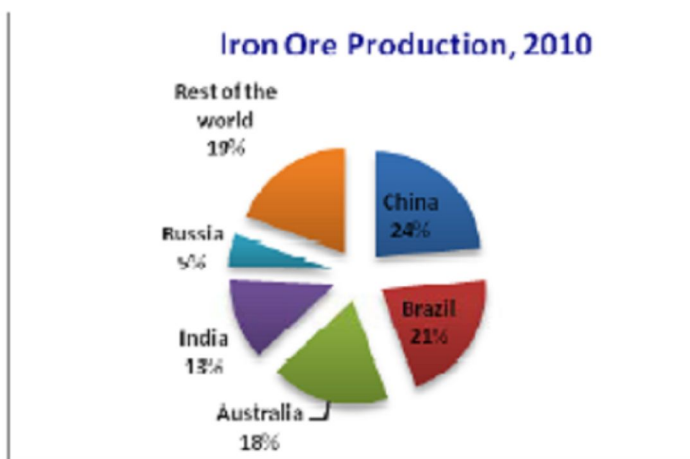
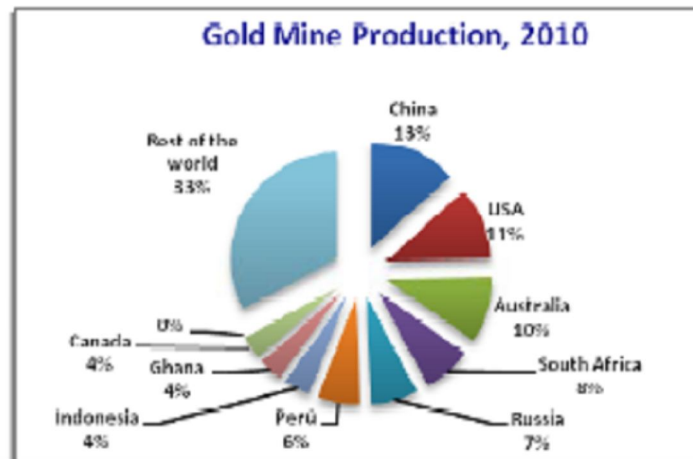


Figure 3-b: Copper Mine Production, 2010



Source: Chilean Copper Commission.

Figure 3-d: Production of Mine Gold



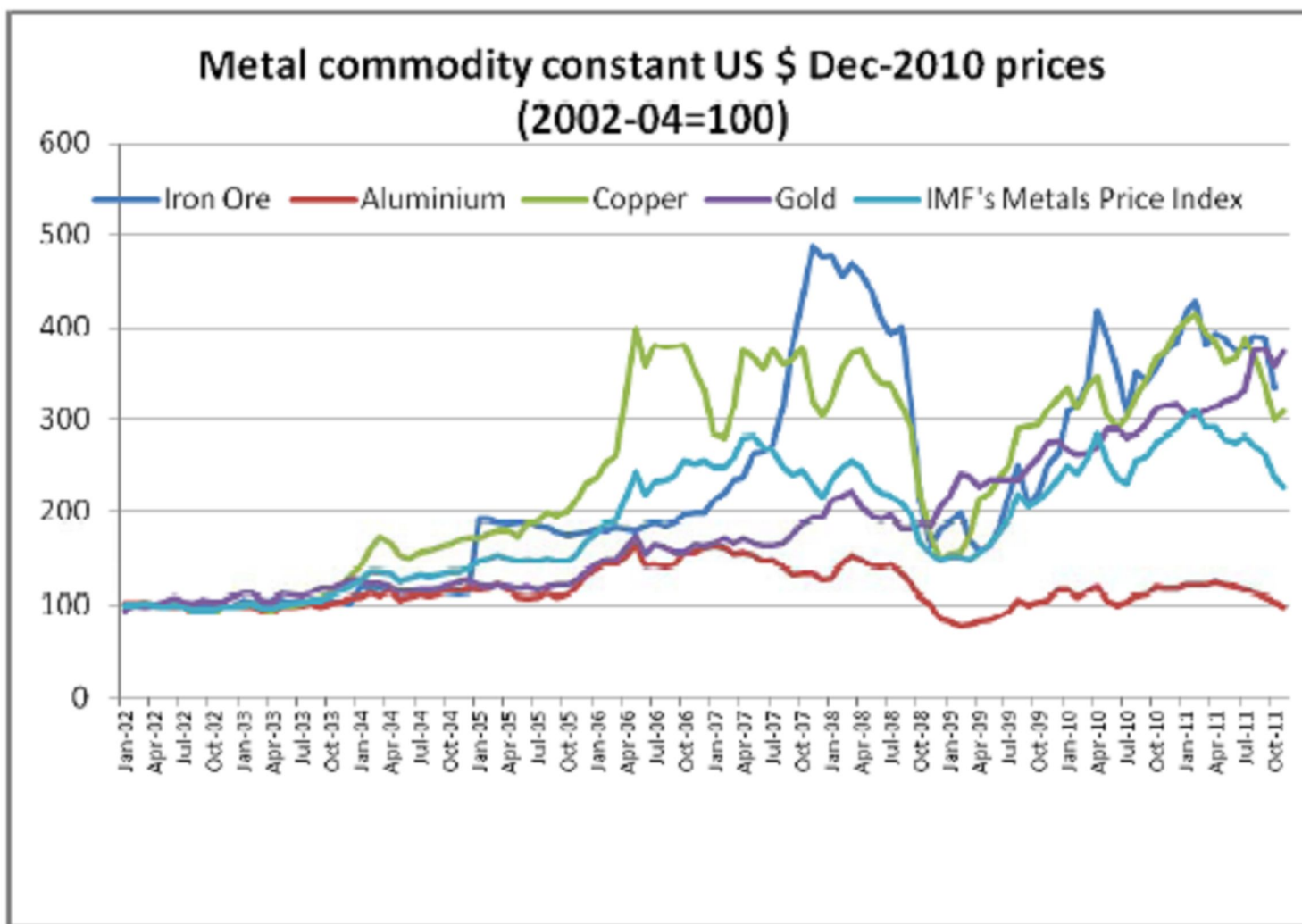
- A 4 fém a bányászott ércek gazdasági értékének 80 %-át adja

- Az elmúlt 25 évben volumenük nőtt

- A vas, aluminium réz ára magasabb az aranyánál

- Jelentőségük indikátora az ipari felhasználás aránya

Fémek árindex változása - 2010. dec. áron



Forrás: OECD, 2012

Mit mutat az anyagáram?

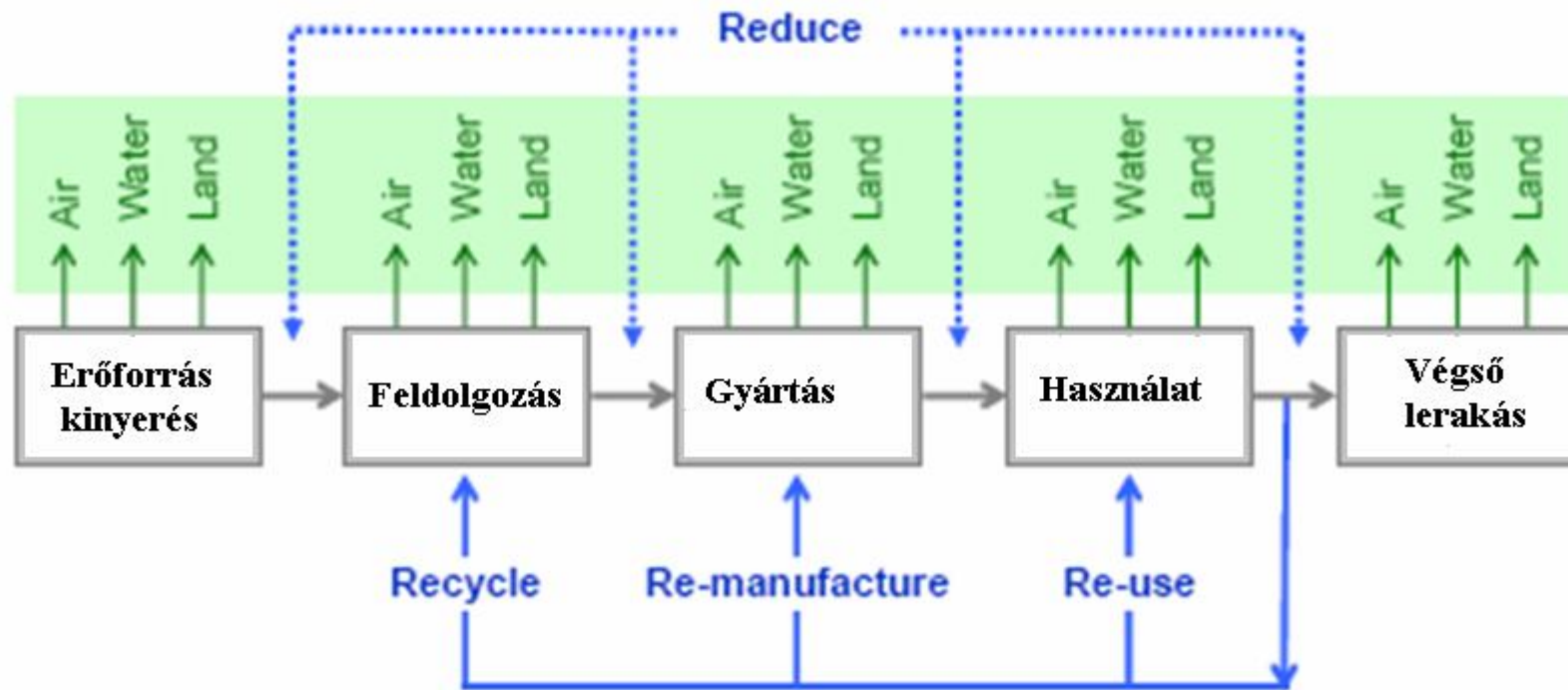
	WORLD			OECD			BRIICS*			ROW*		
	2002	Rate of change		2002	Rate of change		2002	Rate of change		2002	Rate of change	
		1980	2002		1980	2002		1980	2002		1980	2002
		-2002	-2020		-2002	-2020		-2002	-2020		-2002	-2020
Amounts extracted (billion tonnes)												
Total	55.0	36%	48%	22.9	19%	19%	17.7	67%	74%	14.4	35%	63%
Metal ores	5.8	-56%	92%	1.8	41%	70%	2.2	110%	100%	1.9	30%	104%
Fossil energy carriers ^a	10.6	30%	39%	4.1	12%	6%	3.7	58%	59%	2.9	31%	60%
Biomass ^b	15.6	28%	31%	4.5	11%	6%	5.9	49%	33%	5.2	25%	50%
Other minerals ^c	22.9	40%	54%	12.6	21%	21%	5.9	81%	115%	4.4	58%	63%
Per capita (tonne/capita)												
Total	8.8	-4%	22%	20.0	0%	8%	6.0	19%	51%	6.7	-16%	20%
Metal ores	0.9	11%	58%	1.5	19%	54%	0.7	51%	73%	0.9	-19%	51%
Fossil energy carriers ^a	1.7	-8%	14%	3.6	-6%	-4%	1.3	13%	38%	1.3	-18%	18%
Biomass ^b	2.5	-9%	8%	3.9	-6%	-4%	2.0	7%	15%	2.4	-22%	11%
Other minerals ^c	3.7	-1%	27%	11.0	2%	10%	2.0	30%	86%	2.0	-2%	21%
Per unit of GDP (tonne/1000 USD^d)												
Total	1.6	-26%	-14%	0.8	-33%	-24%	4.6	-35%	-32%	4.5	-21%	-26%
Metal ores	0.2	-15%	11%	0.1	-20%	9%	0.6	-18%	-23%	0.6	-24%	-8%
Fossil energy carriers ^a	0.3	-29%	-19%	0.1	-37%	-32%	1.0	-38%	-38%	0.9	-24%	-28%
Biomass ^b	0.4	-30%	-24%	0.2	-37%	-32%	1.5	-42%	-48%	1.6	-27%	-32%
Other minerals ^c	0.6	-24%	-11%	0.4	-32%	-22%	1.5	-29%	-17%	1.4	-8%	-26%

Notes: (a) Crude oil, coal, natural gas, peat; (b) Harvests from agriculture and forestry, marine catches, grazing; (c) Industrial minerals, construction minerals; (d) Constant 1995 USD. * BRIICS = Brazil, Russia, India, Indonesia, China and South Africa; RoW = Rest of the world.

Source: OECD, based on SERI (2006), MOSUS MFA database, Sustainable Europe Research Institute, Vienna, <http://www.materialflows.net>; Giljum, et al. (2007).

Source: OECD, 2008. Measuring material flows and resource productivity

Anyagáramok a teljes életciklusban



Source: OECD, 2008. Measuring material flows and resource productivity



Életciklus

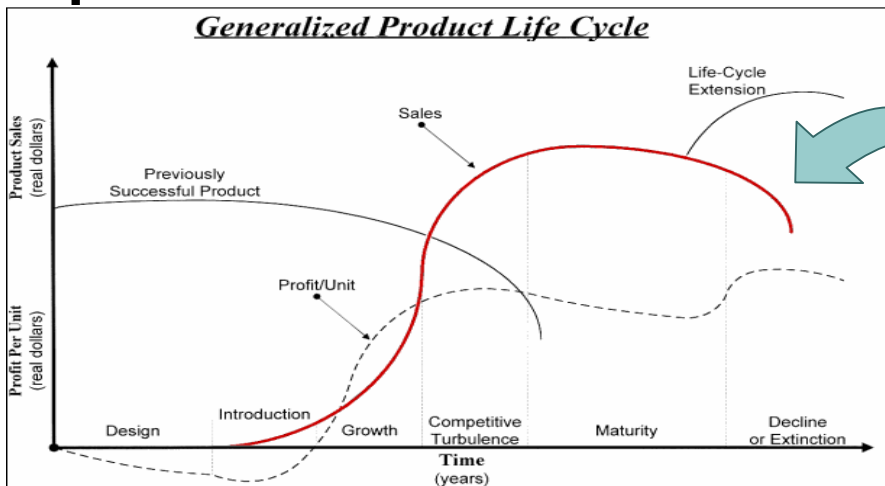
„bölcsőtől a sírig” vagy „bölcsőtől a bölcsőig” egy termék hatásrendszerének egymás utáni szakaszai, a nyersanyag beszerzéstől / az erőforrás keletkezésétől az ártalmatlanításig / újrahasznosításig



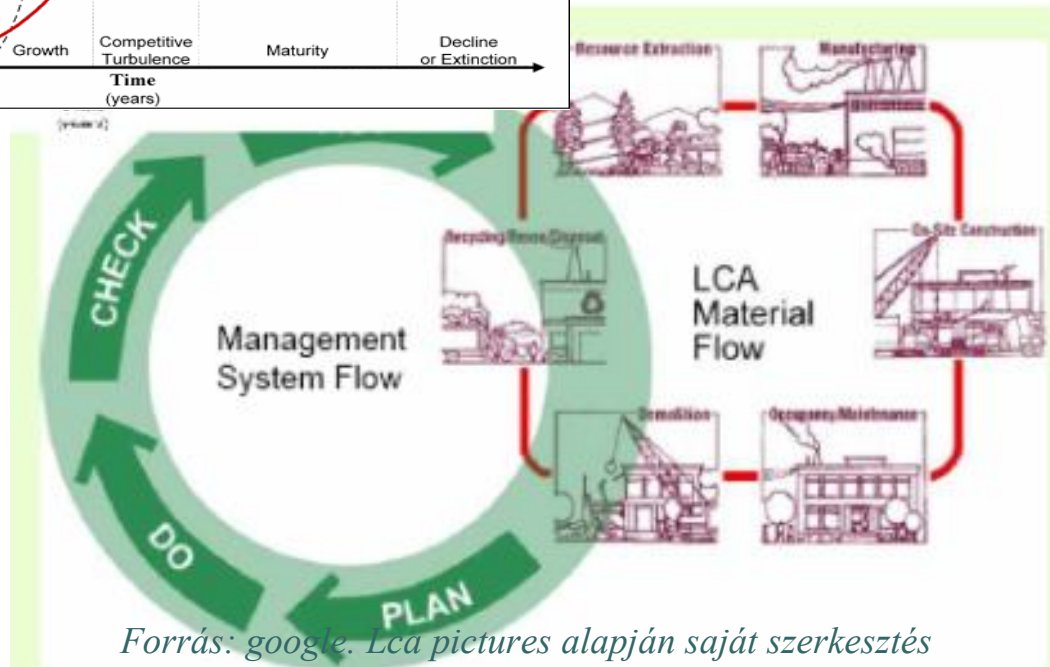
Az életciklus-elemzések fajtái

- Gazdasági életciklus elemzések
 - Termék életciklus
 - Szervezeti életciklus
 - Életciklus költség elemzés (LCC)
- Környezeti életciklus elemzések (LCA, LCIA)
- Társadalmi LCA (Fenntarthatósági elemzések)

Gazdasági életrciklus vizsgálatok



Forrás: Arsham, 1994



Forrás: google. Lca pictures alapján saját szerkesztés

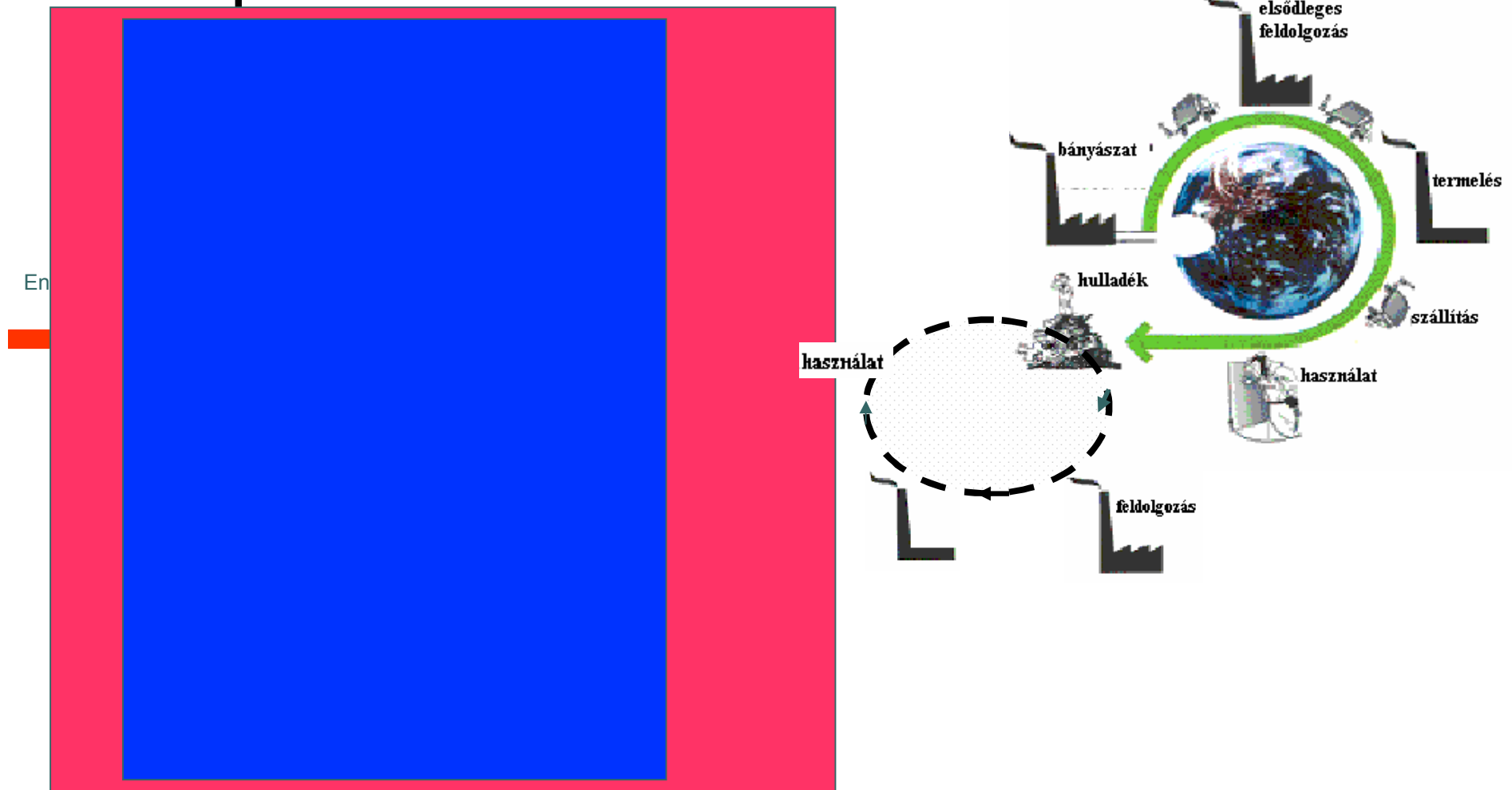


Környezeti LCA

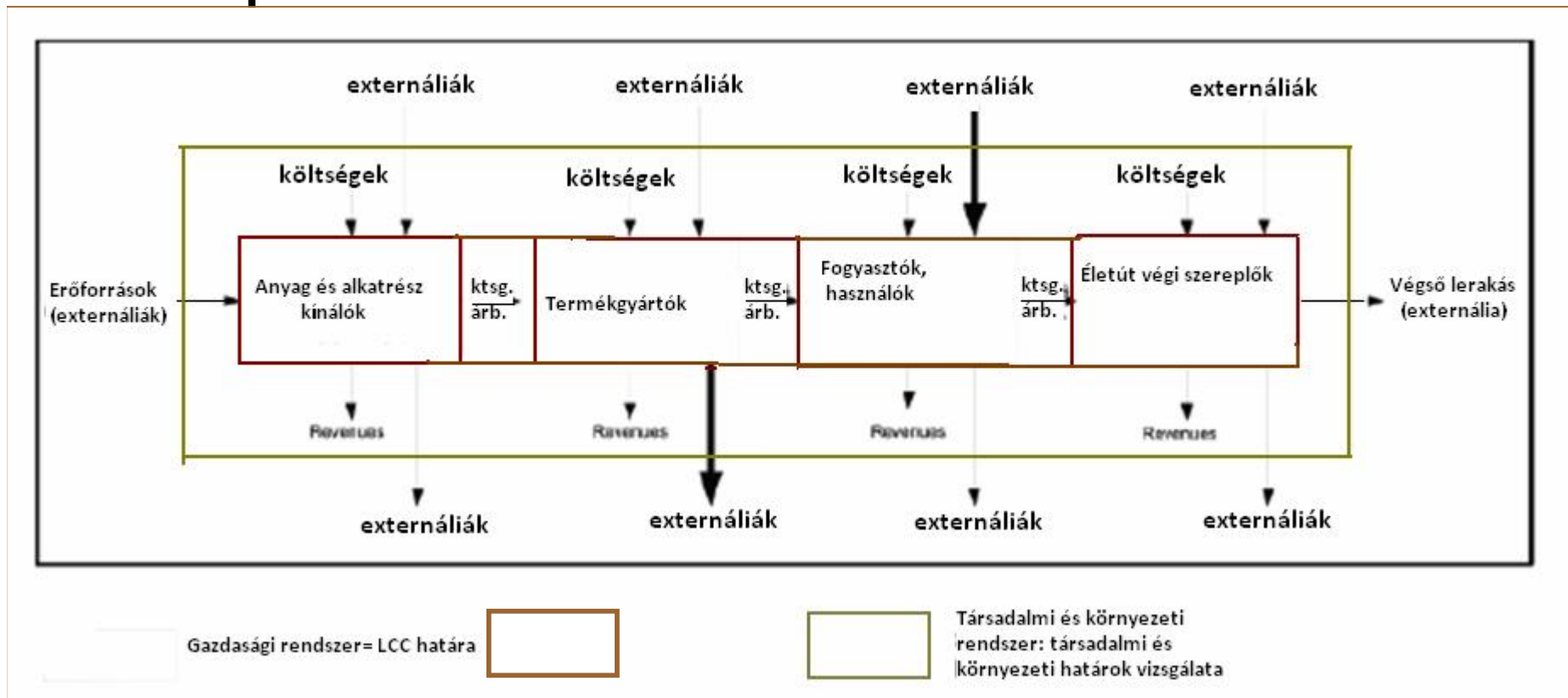
- Szisztematikus eljárás az élelciklushoz tartozó környezeti hatások felmérésére, értékelésére, a globális környezeti hatásokhoz való hozzájárulás alapján
- Különböző megfogalmazások írják le
 - Élelciklus-elemzés
 - Élelciklus hatásértékelés (LCA), élelciklus leltár (LCI), élelciklus leltárértékelés (LCIA),
 - bölcsőtől a sírig vagy bölcsőtől a bölcsőig tartó elemzés,
 - ökomérleg,
 - anyagáramelemzés
- ISO14040:2006; ISO 14044:2006

Source: <http://www.gdrc.org/uem/waste/life-cycle.html> World Resource Foundation *Hari Srinivas*

A termék életciklus környezeti értelmezése

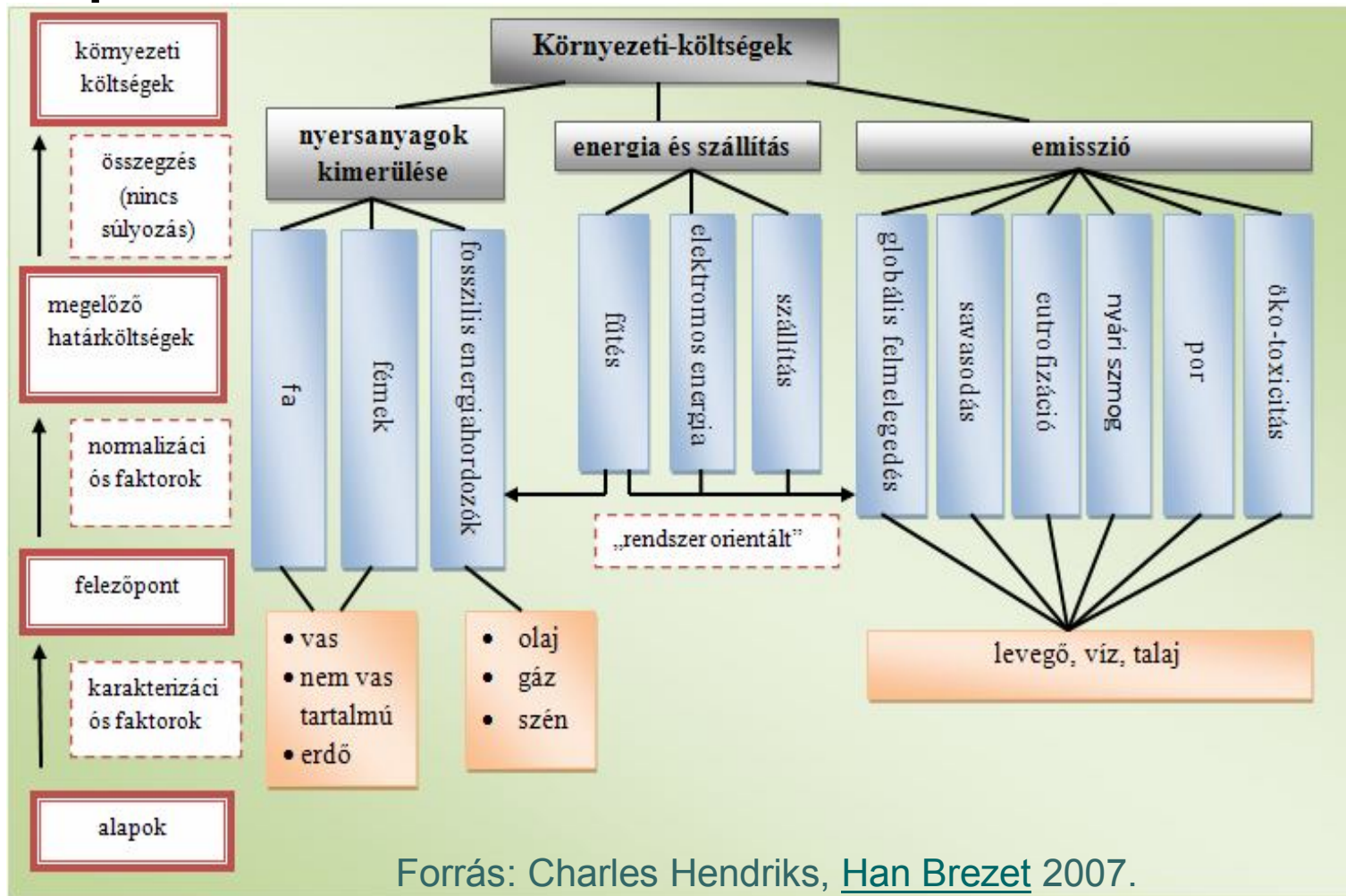


Életciklus költség elemzés (LCC)



A környezeti életciklus-elemzés kiegészítve az LCC-vel már a tervezési folyamatban optimalizálni tudja a környezeti szempontú terméktervezést a profit és környezeti nyereségek mérlegelésével.

LCC számításának modellje





Mi a különbség az LCA és LCC között?

LCA

- Alternatív termékrendszer(ek) környezeti teljesítményének összehasonlítására használható ugyanazon funkció, rendszerhatár, társadalmi perspektívák mellett
- Az összes folyamatot vizsgálja, amely a termék fizikai életciklusa során környezeti hatást eredményez (kínálati lánc, használat, életút vége...)
- Szennyezők, erőforrások, köztes anyag és energiaáramok

LCC

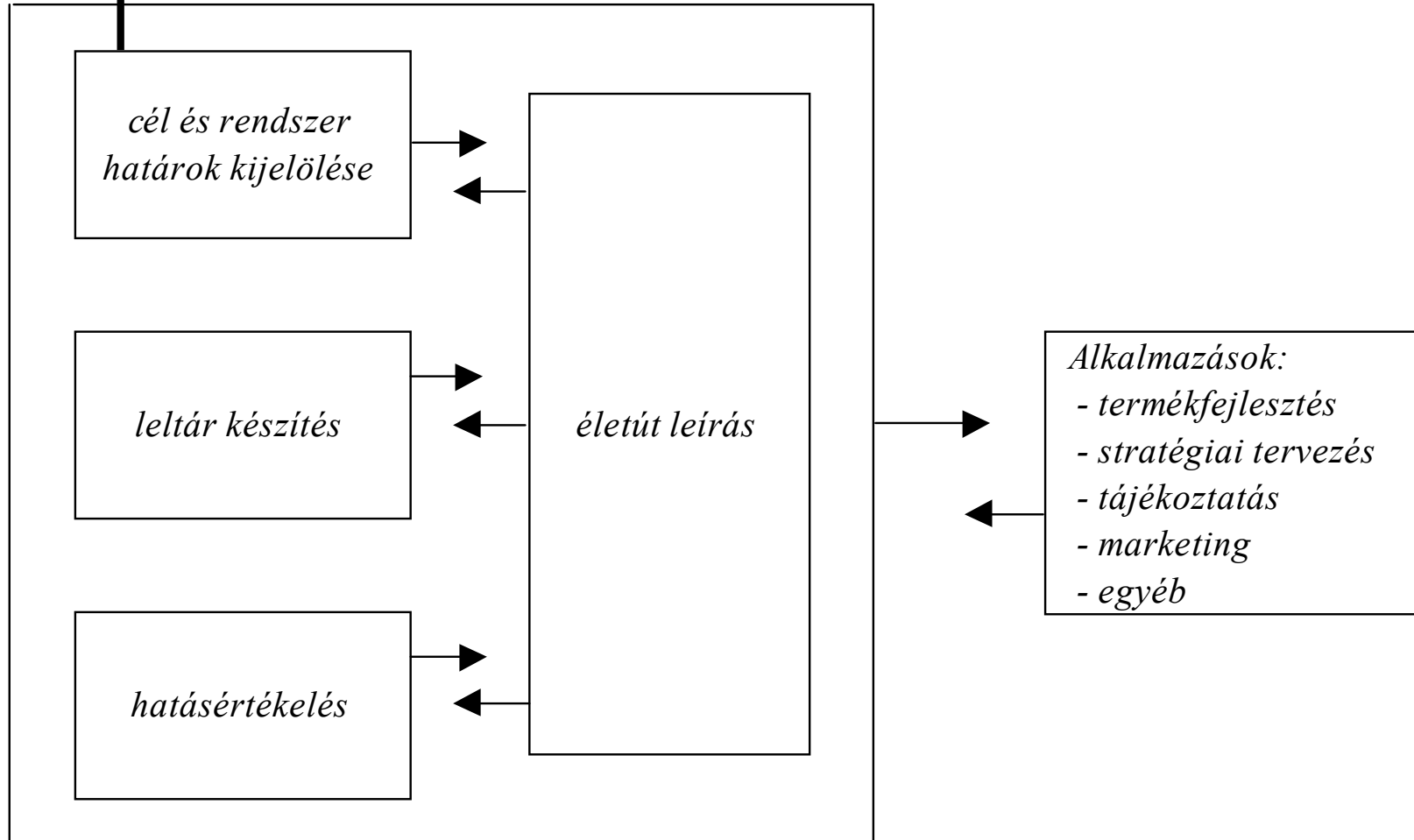
- A beruházási alternatívák, üzleti döntések gazdasági megítélésében segít (gyártás, fogyasztói szemlélet)
- Azokra a tevékenységekre figyel, amelyek közvetlen költségeket vagy nyereséget eredményeznek a beruházás alatt, vagyis a beruházás eredményét határozzák meg
- A döntési folyamatot közvetlenül befolyásoló monetáris áramok



Társadalmi LCA

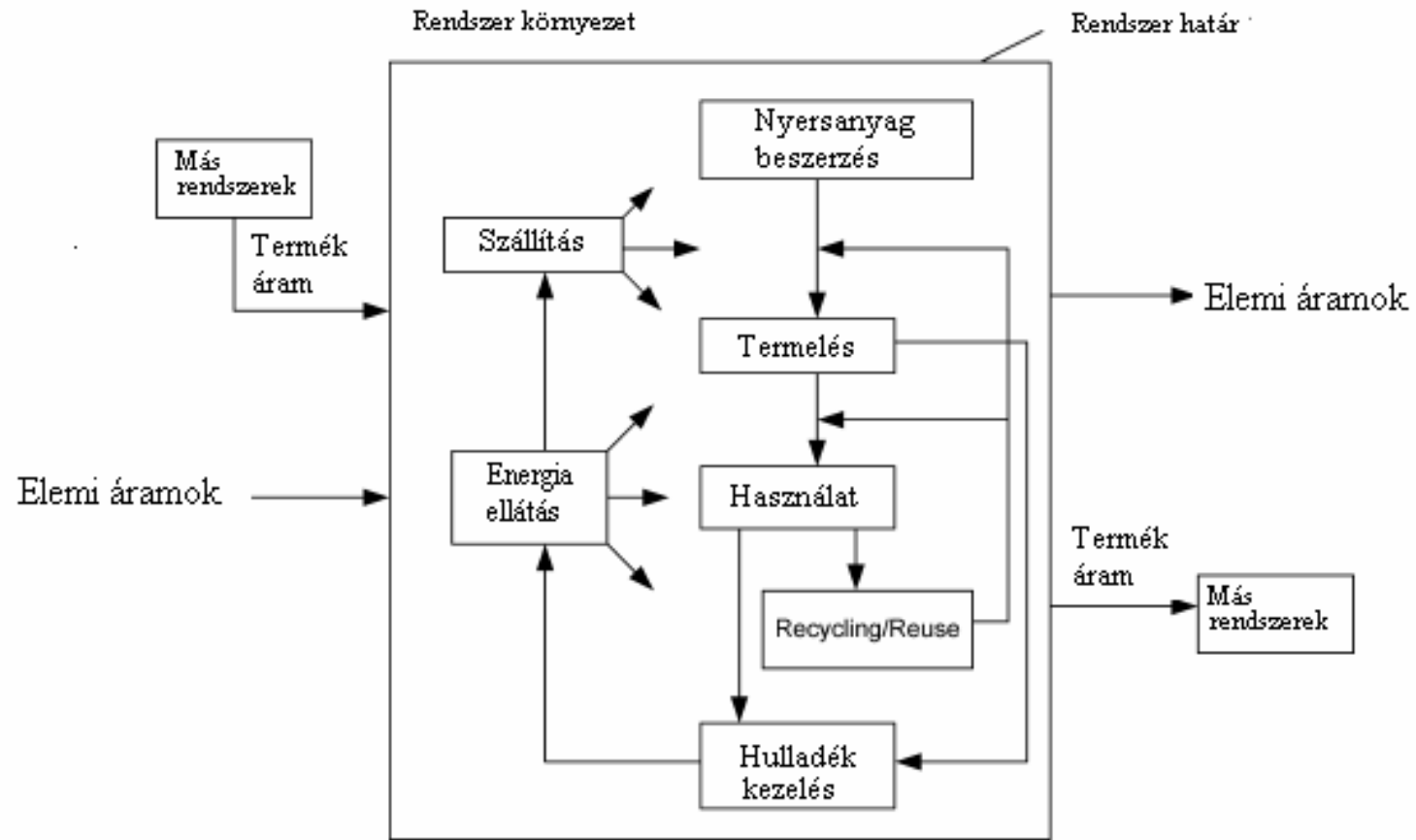
- **Kulcsindikátorok:**
- **Gyerekmunka**
- **Kereset**
- **Korrupció**
- **Gyülekezési szabadság**
- **Munkaóra**
- **Munkakörülmény**
- **Esélyegyenlőség/diszkrimináció**
- **Egészség, biztonság**
- **Társadalmi hasznok/ szociális biztonság**
- **A kulcs indikátorok kapcsolódása más érintettekhez**

Az életciklus elemzés szakaszai



Forrás:ISO 14040: 2006

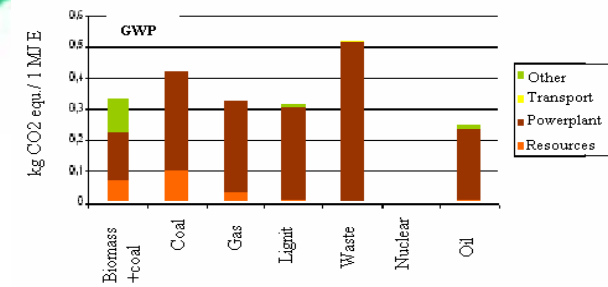
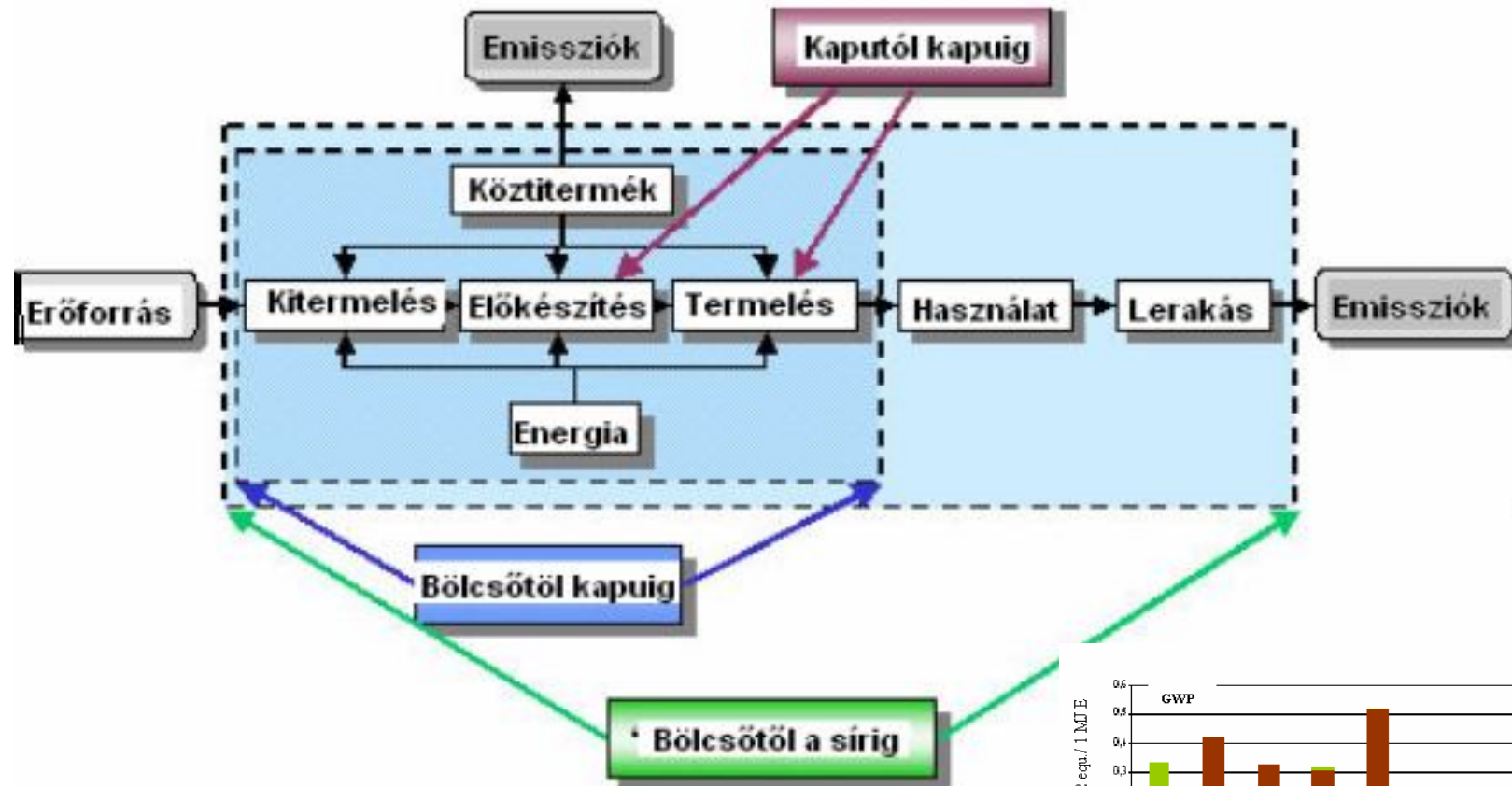
A termékrendszer életciklusának lehatárolása



Egy példa a termékrendszerre az LCA-hoz

Forrás: ISO 14040:2006

Termék életciklus szakaszolása



Forrás: Saját szerkesztés

Funkcionális egység



- Üdítő kiszerezések

Funkcionális egység	Funkcionális egység		
Kiszerezés	2,0 l PET	0,33 l	0,5 l üveg
térfogat	1000 l	1000 l	1000 l
darabszám	500 db	3000 db	2000 db

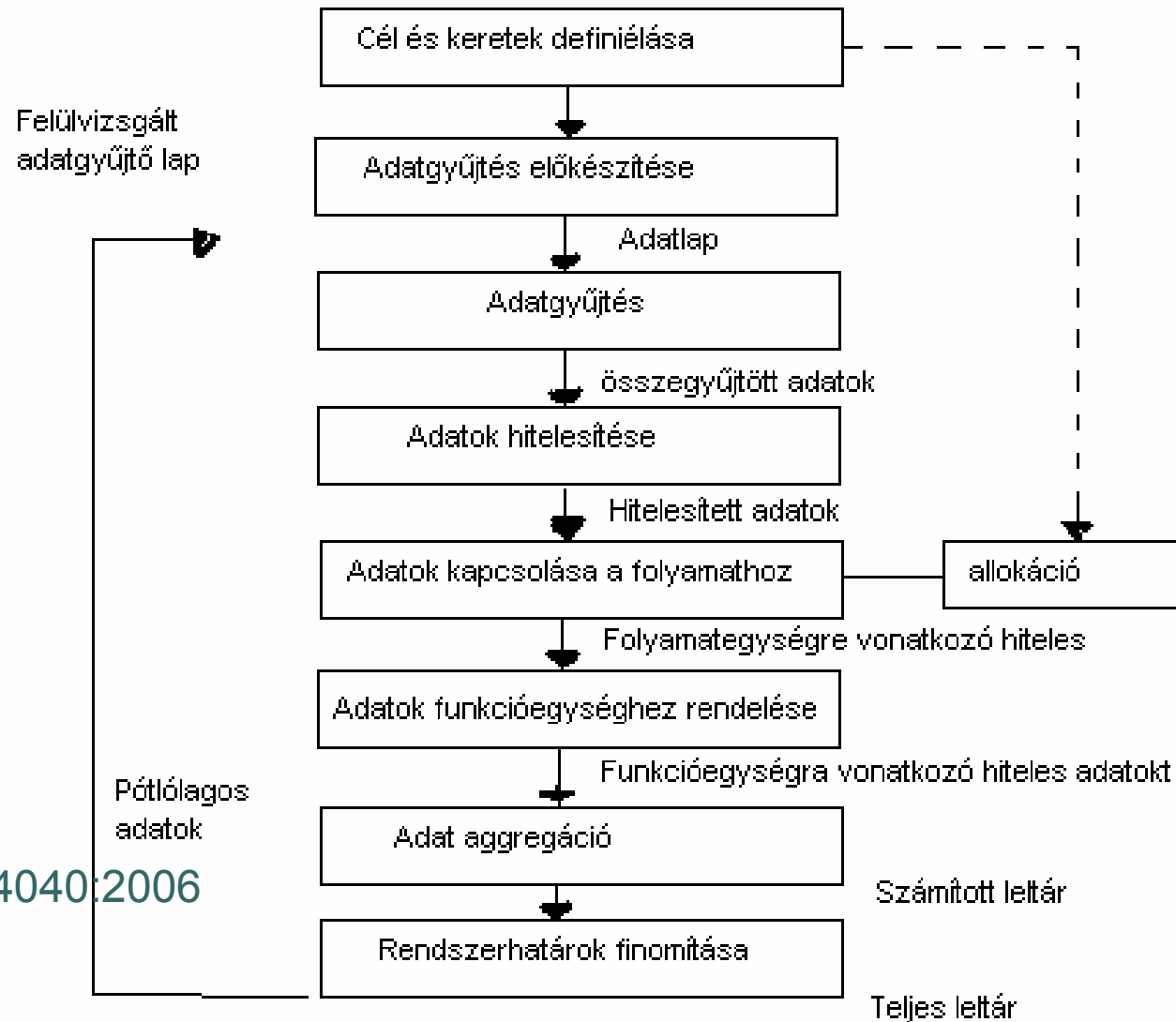


Életciklus leltár elemzés

Alapelvek és a leltár elemzés kötelező lépései (ISO 14044 :2006 szabvány):

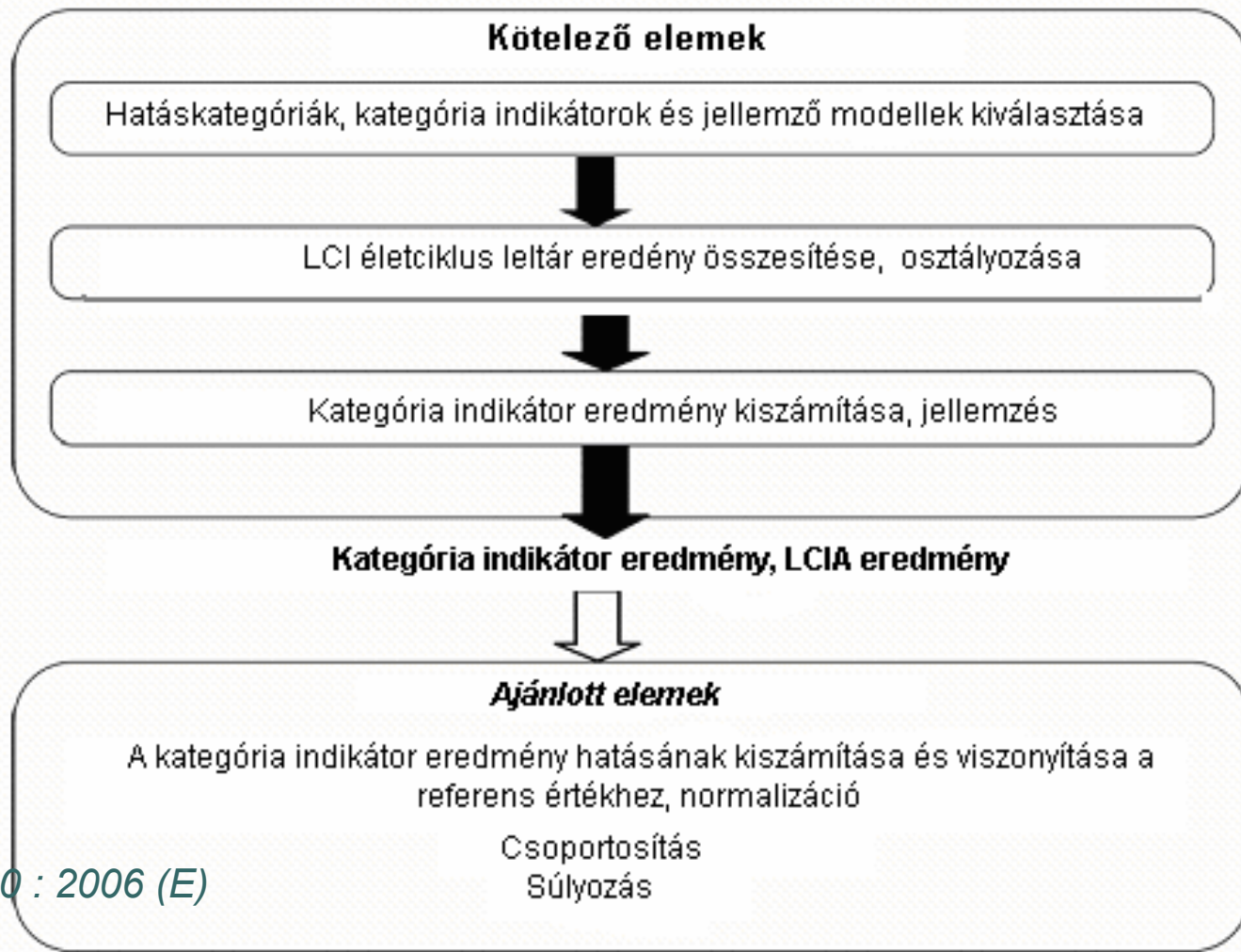
- A **hatáskategóriák kiválasztása** elemzési módszer függvénye:
 - probléma orientált elemzés kár vagy veszély orientált (endpoint) módszer, (*EPS* és *Eco-Indicator99*), és a
 - céltól való távolság módszere, mint a BUWAL kritikus térfogat megközelítése
- Az **osztályozás** a leltáradatok hatáskategóriához rendelése, az adatok strukturálása
- **Jellemzés** a leltáradatok arányának meghatározása hatáskategóriánként - Minden problémakörre definiálhatók **karakterisztikus faktorok**, melyek segítségével az adott hatáskategóriához tartozó indikátorok – az egymáshoz viszonyított relatív súlyarány alapján közös egységbe számíthatók át.

Az életciklus-elemzés folyamata



Forrás: ISO 14040:2006

Az életciklus hatás értékelés fázisainak elemei

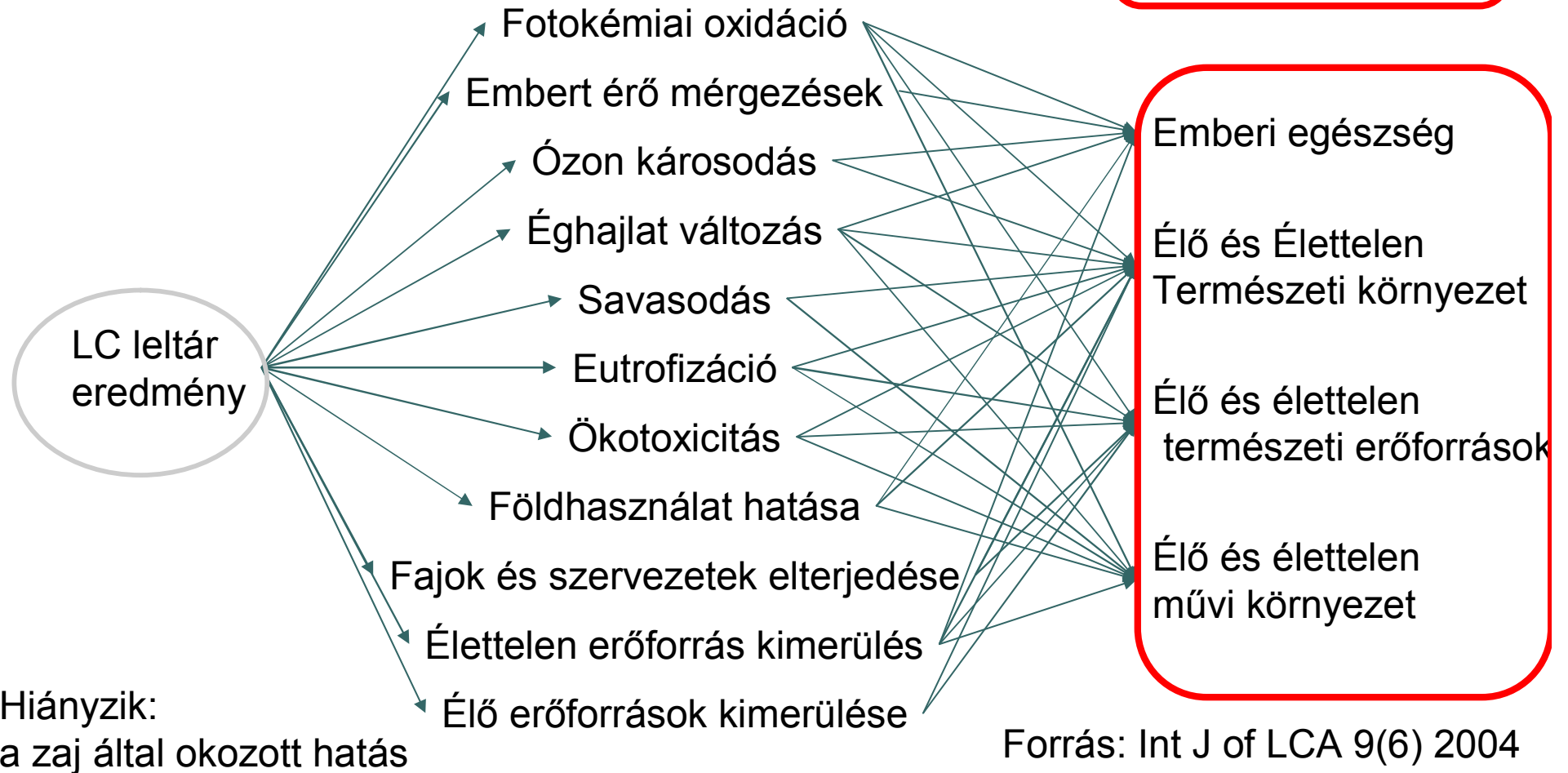


Forrás: ISO 14040 : 2006 (E)

Hatás értékelés

Köztes kategóriák (környezeti problémák)

Végpont kategóriák (környezeti károk)



Az UNEP/SETAC LCA program által javasolt hatáskategóriák (2003)



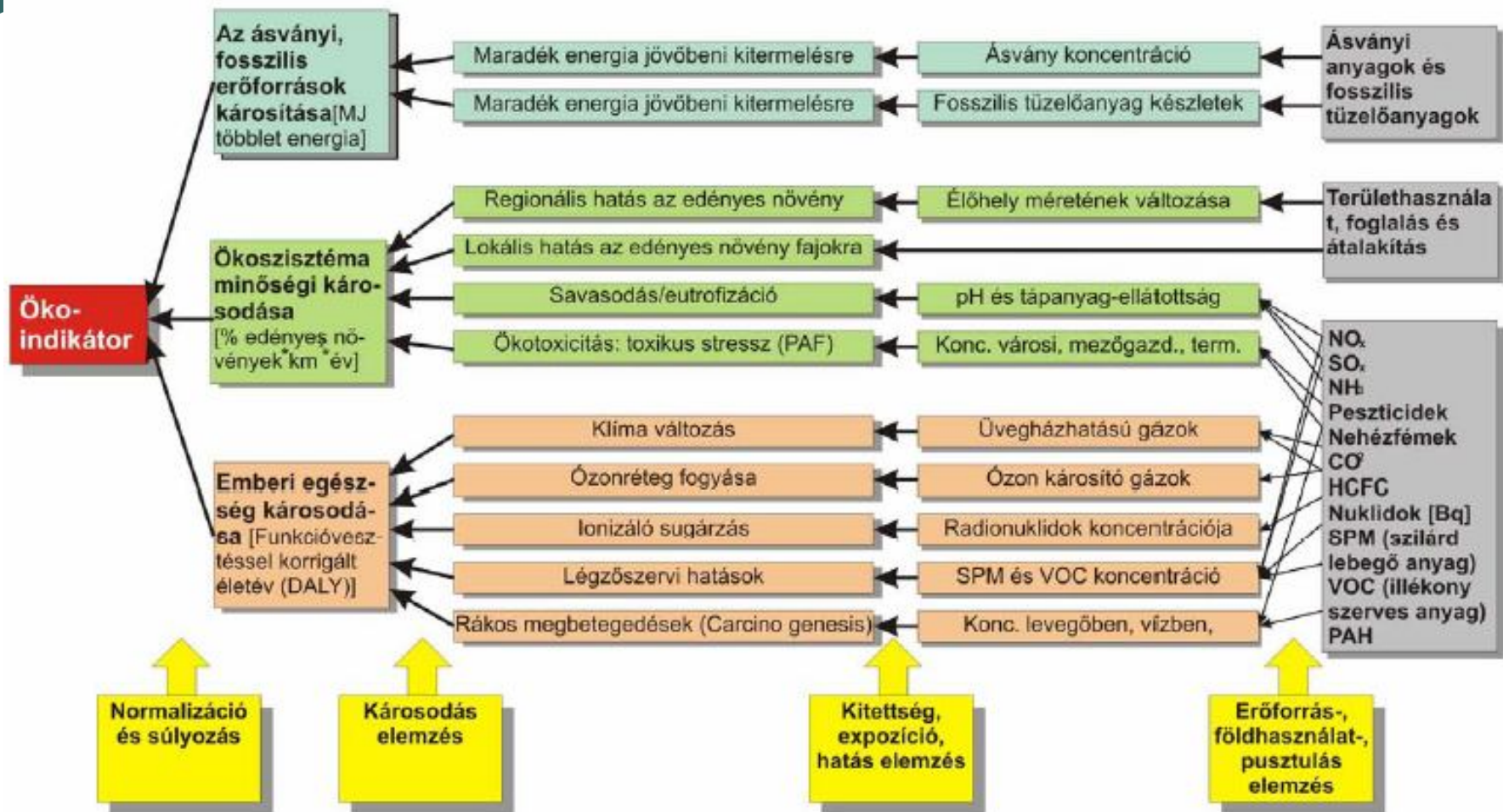
Környezeti hatáskategóriák az EI 95 módszer szerint

- savas eső	AP=acidification potential
- nitrátosodás	NP=nutrification potential
- oxigénfogyasztás	KOI (COD=chemical oxygen demand) kémiai oxigén igény
- üvegházhatás	GWP=global warming potential
- ózonréteg elvékonyodás	ODP=ozone depletion potential
-szilárd szennyező anyagok területfoglalása	nincs még rövid kifejezés
- szilárd szennyező anyagok, talajvíz légszennyező bomlás termékei	nincs még rövid kifejezés

A kategória indikátor megmutatja az adott környezeti hatás potenciális nagyságát, amelyet elhelyezhetünk a leltáreredmény és a végpont között.

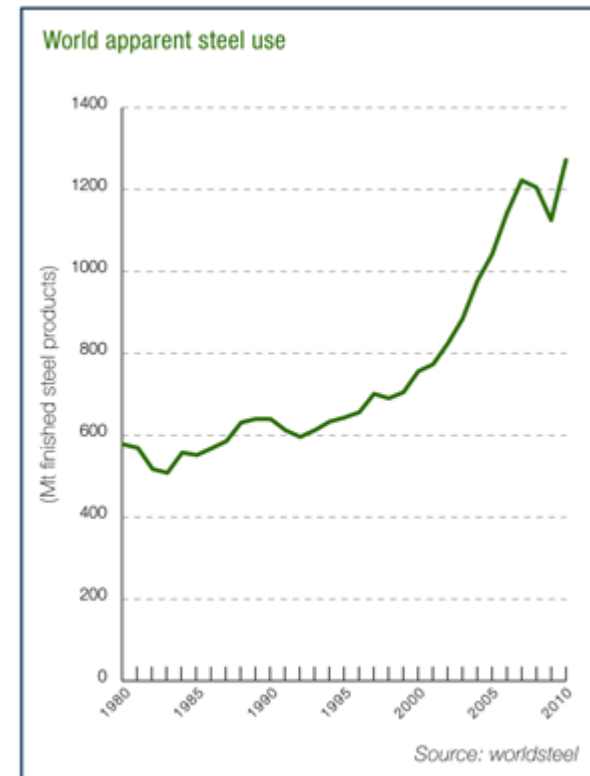
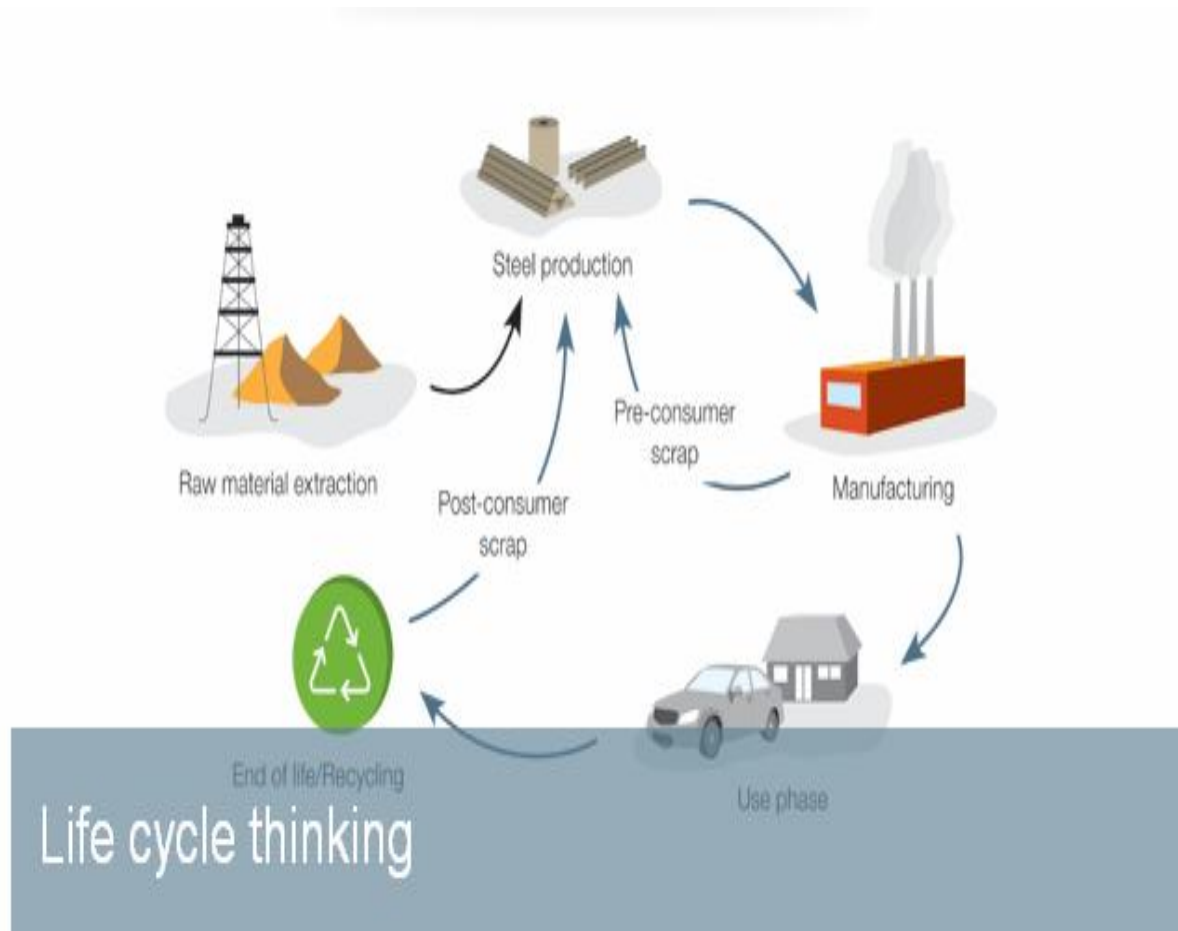
Forrás: SimaPro

Az ökoindikátor 99 módszer



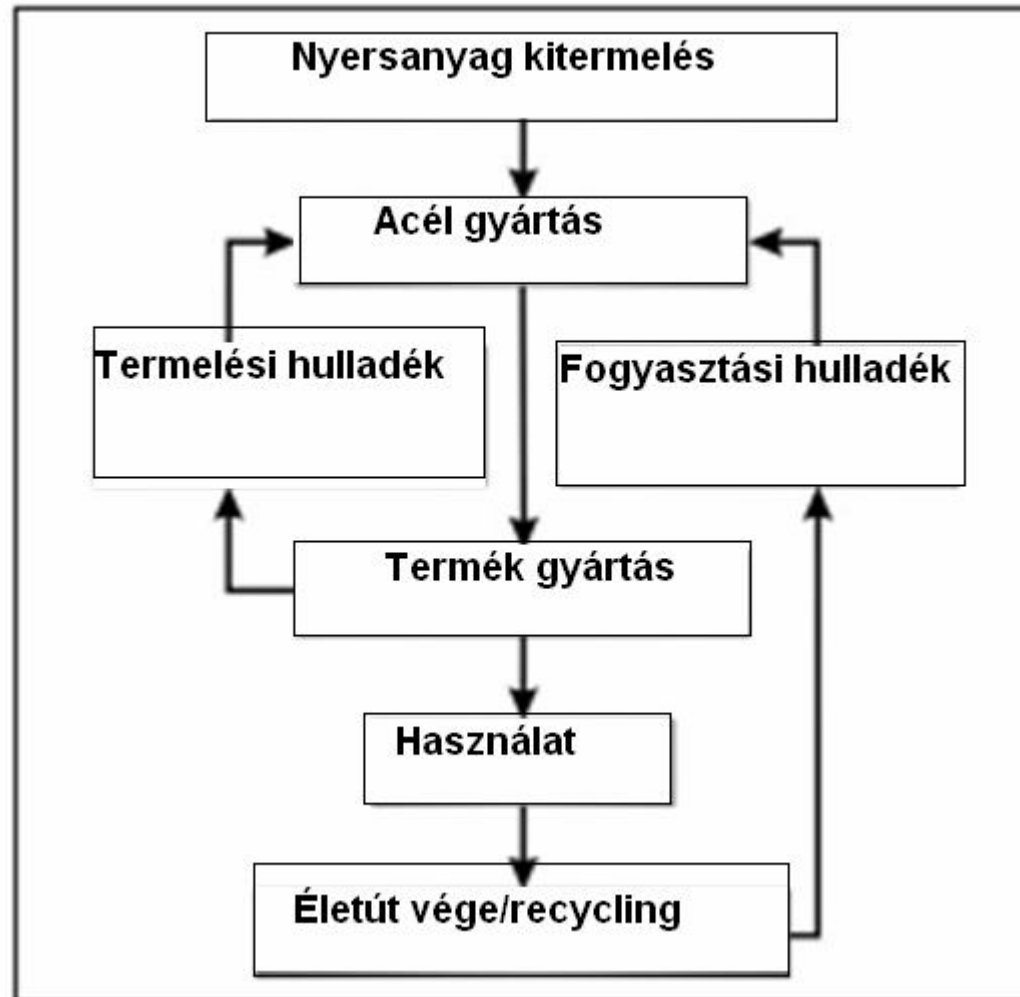
Forrás: Goedkoop, Spriensma, 2001 10. oldal

Életciklus szemlélet - acélgyártás



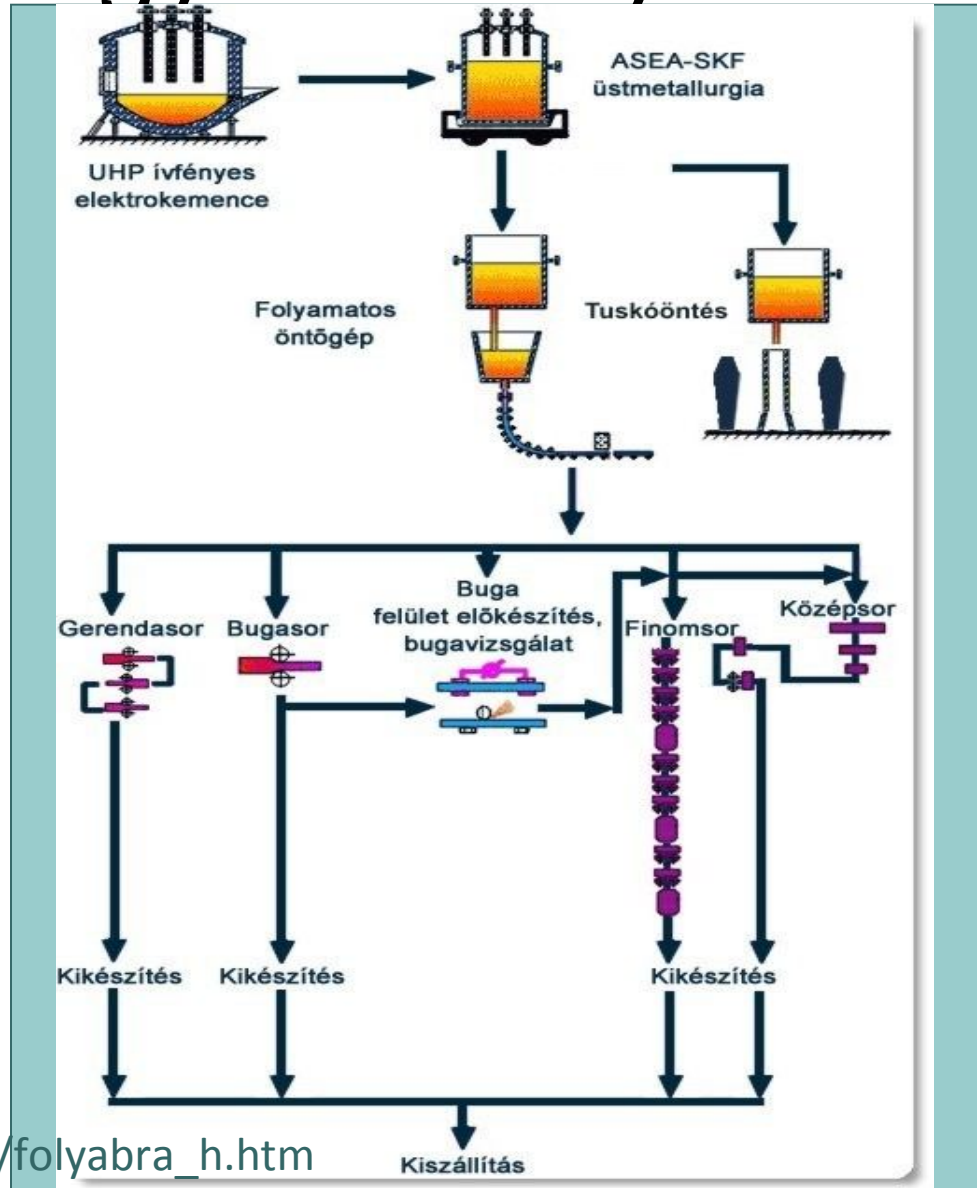
<http://www.worldsteel.org/?action=storypages&id=112>

Az acél gyártás LCA modellje



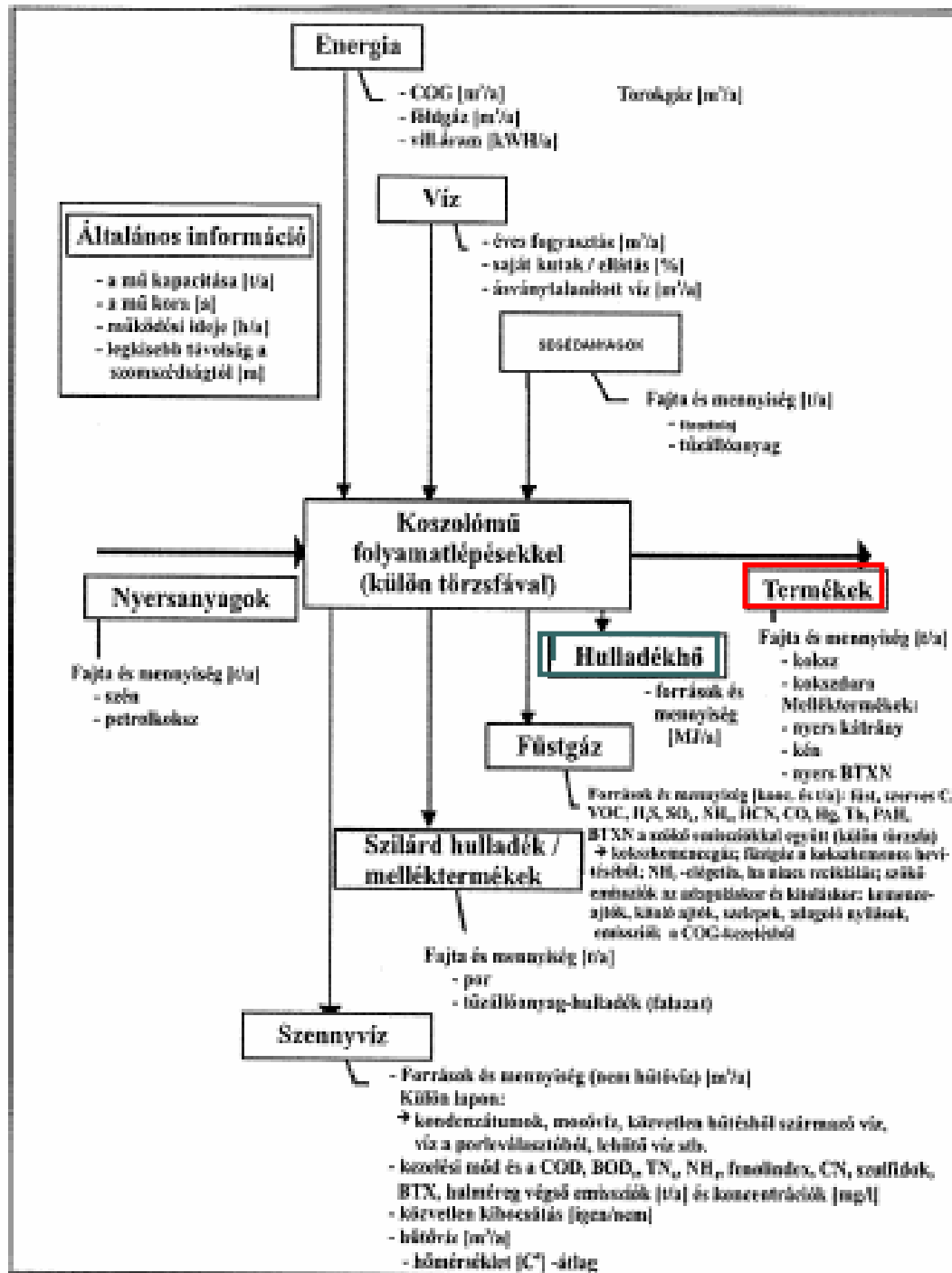
Az acélgyártás folyamata

Kiegészítő
anyagok,
Energia(villamos
és hőenergia,
szállítás



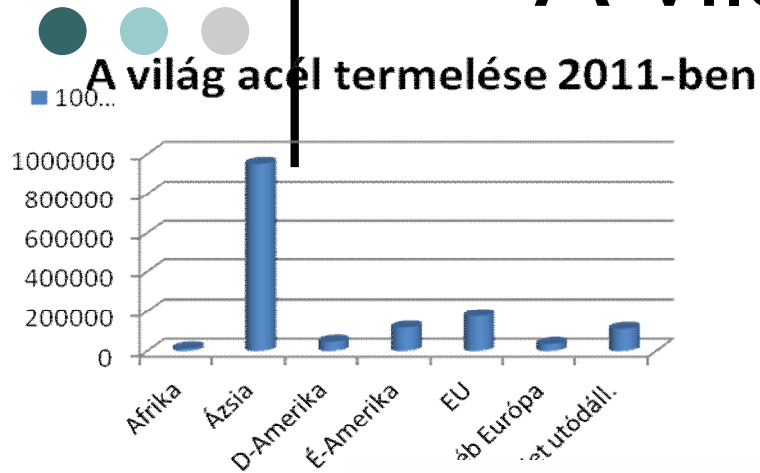
E

Kokszolómű

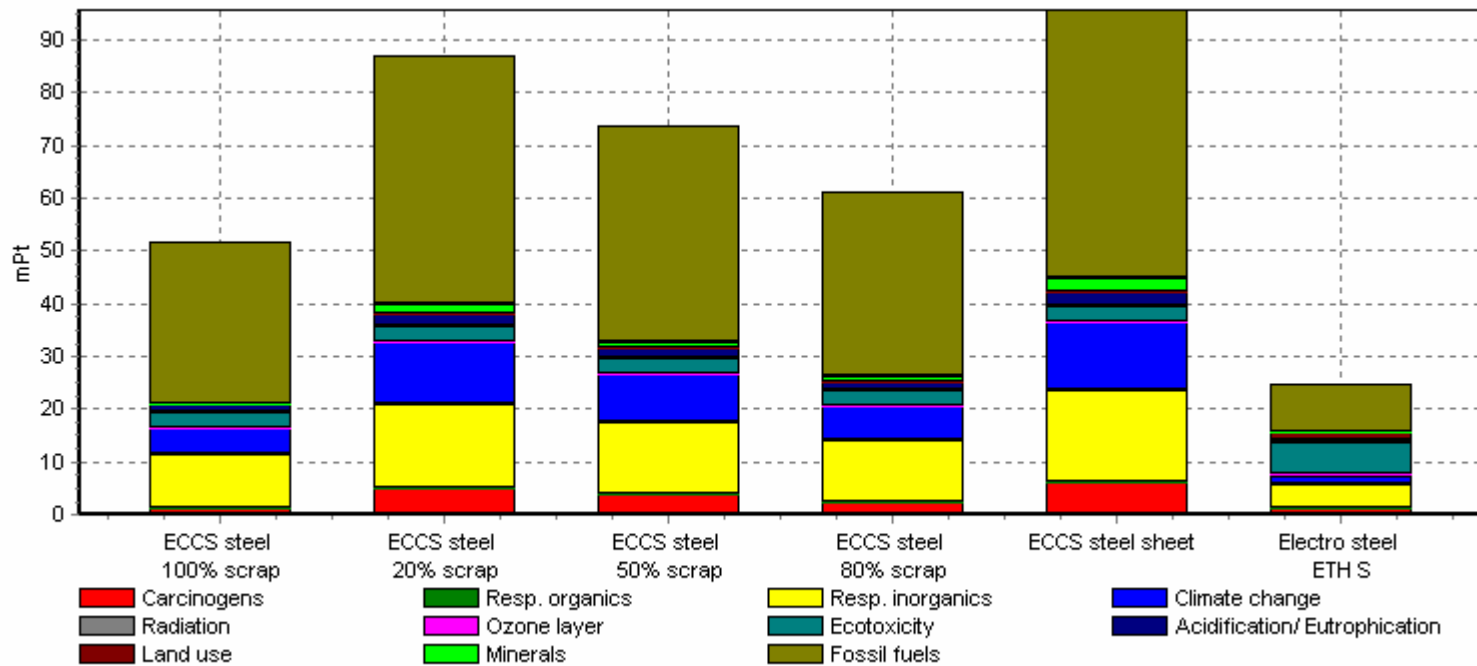


<http://www.ippc.hu/pdf/kokszolokemencek.pdf>

A világ acél termelése és környezeti hatásai



<http://www.worldsteel.org/statistics/crude-steel-production.html>

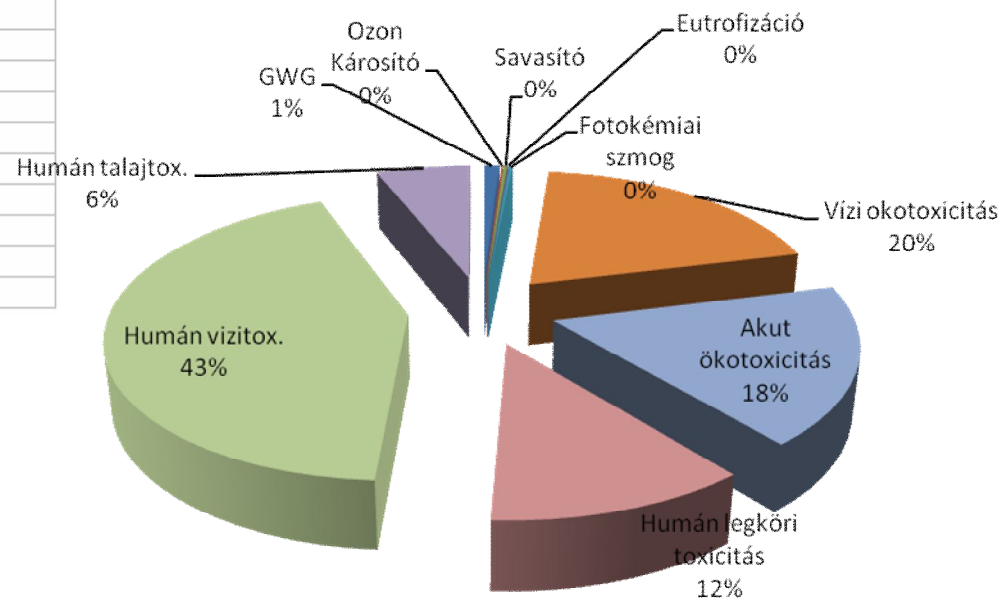


Comparing processes; Method: Eco-indicator 99 (H) V2.1 / Europe EI 99 HH / single score

1 kg acél környeztkárosításának

Impact category	Unit	Total	Converter steel ETH S
Total	Pt	0,0164	0,0164
Global warming (GWP 100)	Pt	0,000313	0,000313
Ozone depletion	Pt	3,12E-5	3,12E-5
Acidification	Pt	7,01E-5	7,01E-5
Eutrophication	Pt	2,12E-5	2,12E-5
Photochemical smog	Pt	7,4E-5	7,4E-5
Ecotoxicity water chronic	Pt	0,00619	0,00619
Ecotoxicity water acute	Pt	0,00571	0,00571
Ecotoxicity soil chronic	Pt	0,000303	0,000303
Human toxicity air	Pt	0,000377	0,000377
Human toxicity water	Pt	0,00137	0,00137
Human toxicity soil	Pt	0,00192	0,00192
Bulk waste	Pt	x	x
Hazardous waste	Pt	x	x
Radioactive waste	Pt	x	x
Slags/ashes	Pt	x	x
Resources (all)	Pt	0	0

Az acélgártás környeztkárosítása



Forrás: SimaPro 6,0 – EDIP/UMP 2006 módszer

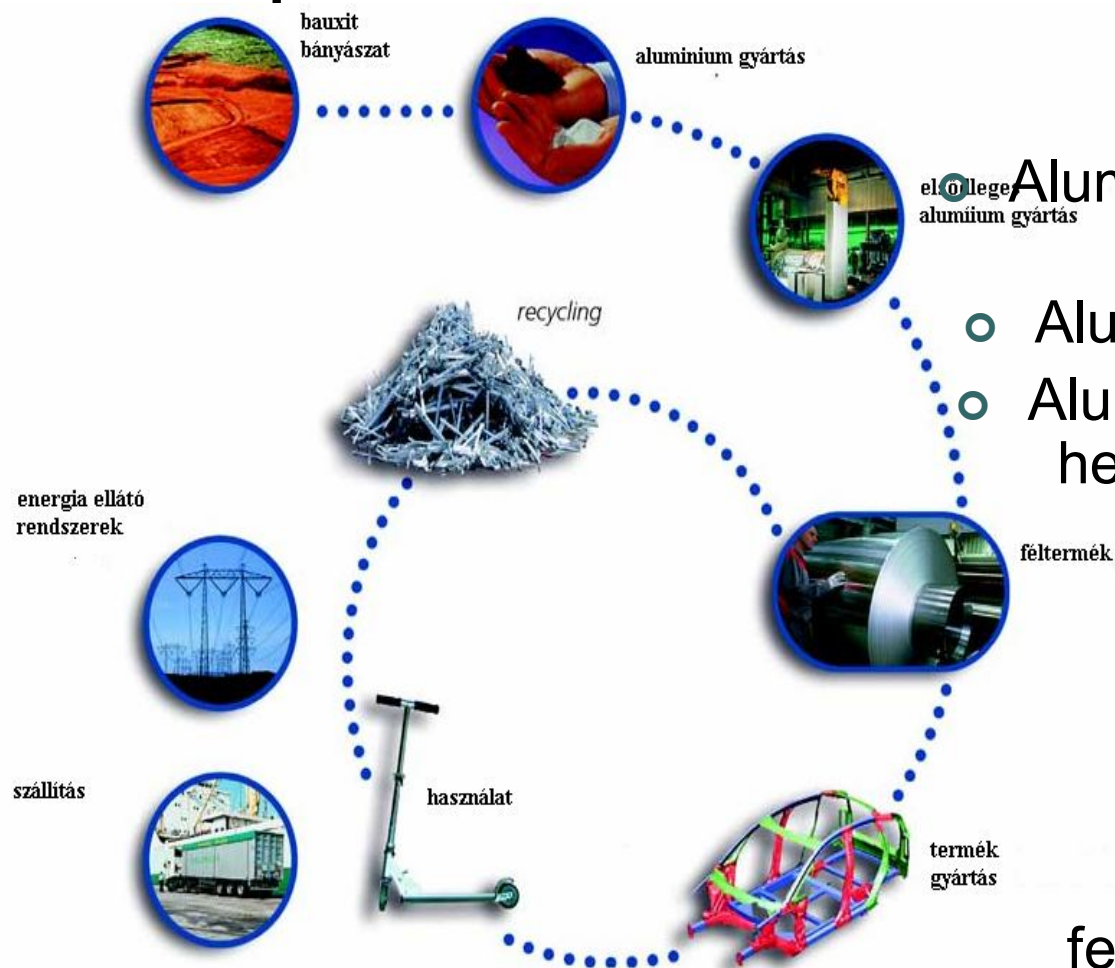


Újrahasznosított vas és acél

Ország/Régió	Recycled tonna (000)	Recycling %
	284	49
Kanada	109	66
Europai Unió	2,560	69
Dél-Korea	101	69
Japan	707	85
Dél Afrika	155	70
Törökország	101	35
US	1,592	65
Kína	1,597	75
Összesen	7,206	68

<http://www.worldsteel.org/dms/internetDocumentList/case-studies/Food-cans-case-study2011/document/Food%20cans%20case%20study2011.pdf>

LCA modell alumínium termékekre

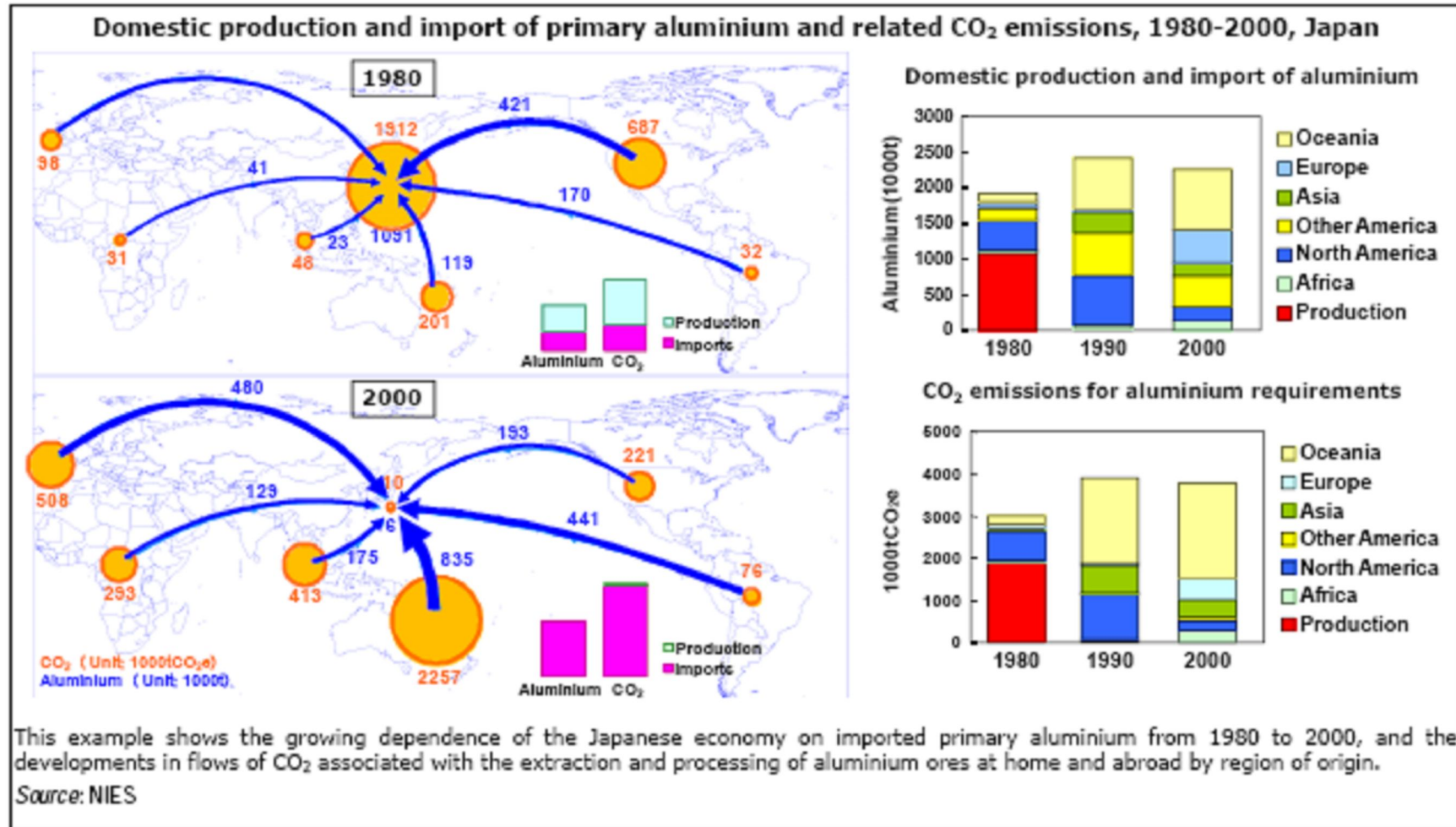


- Bauxit bányászat
- Alumínium kinyerése a bauxitból – timföld gyártás
- Alumínium gyártás elektrolízissel
- Alumínium féltermékek előállítás: hengerezés, extrudálás, öntvény gyártás
- Termékgyártás
- Használat
- Recycling: az elhasznált/hulladékká vált AL termékek összegyűjtése, és felhasználása újabb gyártáshoz

Forrás: European Aluminium Association

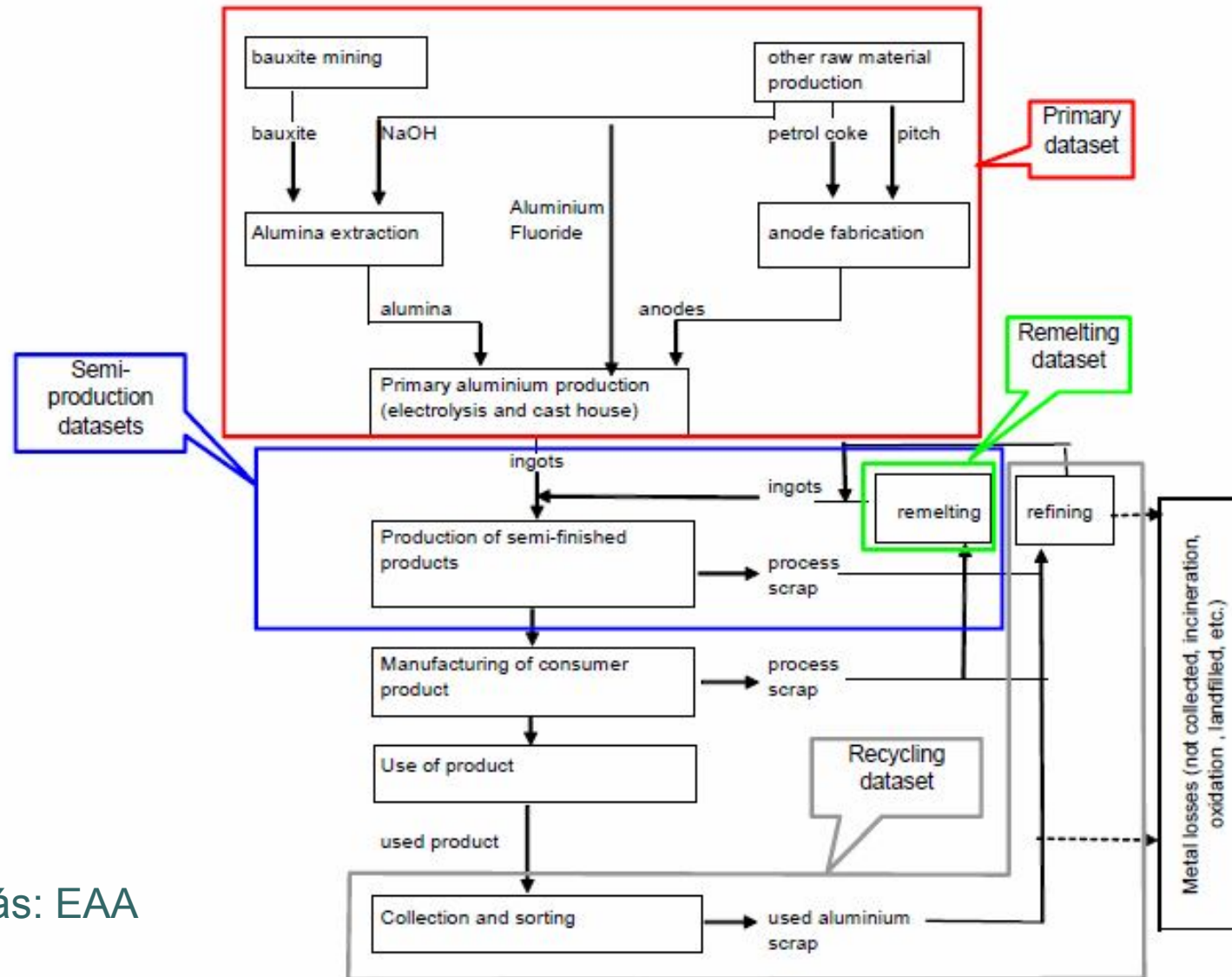
Japán alumínium függősége

Figure 16. Aluminium flows and CO₂ emissions



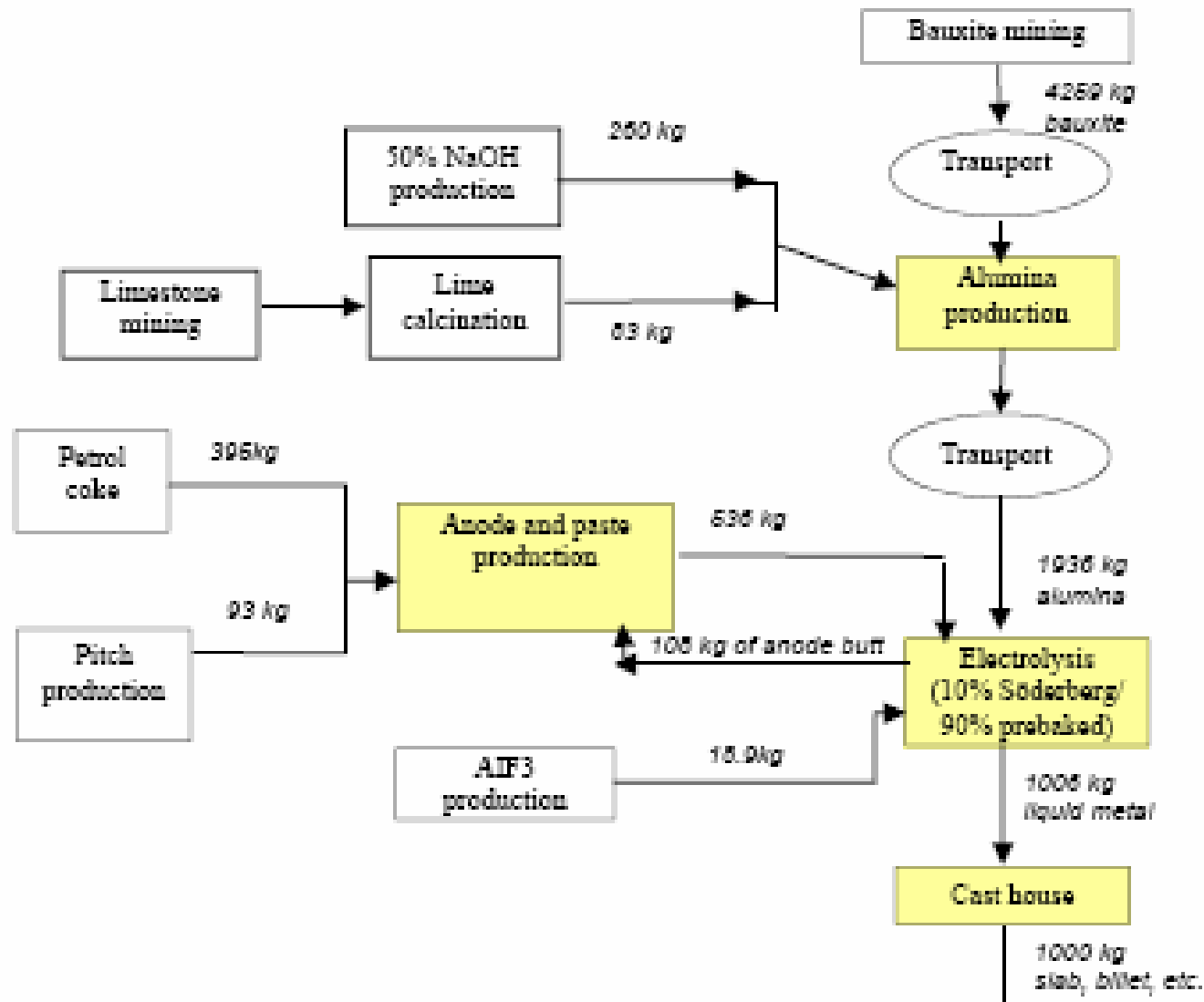
Source: OECD, 2008

Rendszerhatárok az LCI-hez



Forrás: EAA

Európára jellemző fő anyagimputok



Az importált AI elektromos áram szükséglete

Area	Import share	Electricity production					
		Hydropower	Coal	Oil	Natural gas	Biomass	Nuclear
Rest of Europe	48%	88,4%	2,9%	0,1%	4,3%	0,0%	4,3%
Africa	23%	85,6%	6,9%	1,6%	5,8%	0,0%	0,4%
North America	4%	58,0%	17,0%	3,0%	6,0%	1,0%	15,0%
Latin America	13%	84,0%	2,0%	3,0%	5,0%	4,0%	2,0%
Asia	10%	45,1%	0,0%	1,1%	53,9%	0,0%	0,0%
Oceania	1%	Not considered					
Consolidation		81,6%	4,0%	1,0%	8,8%	0,8%	3,1%

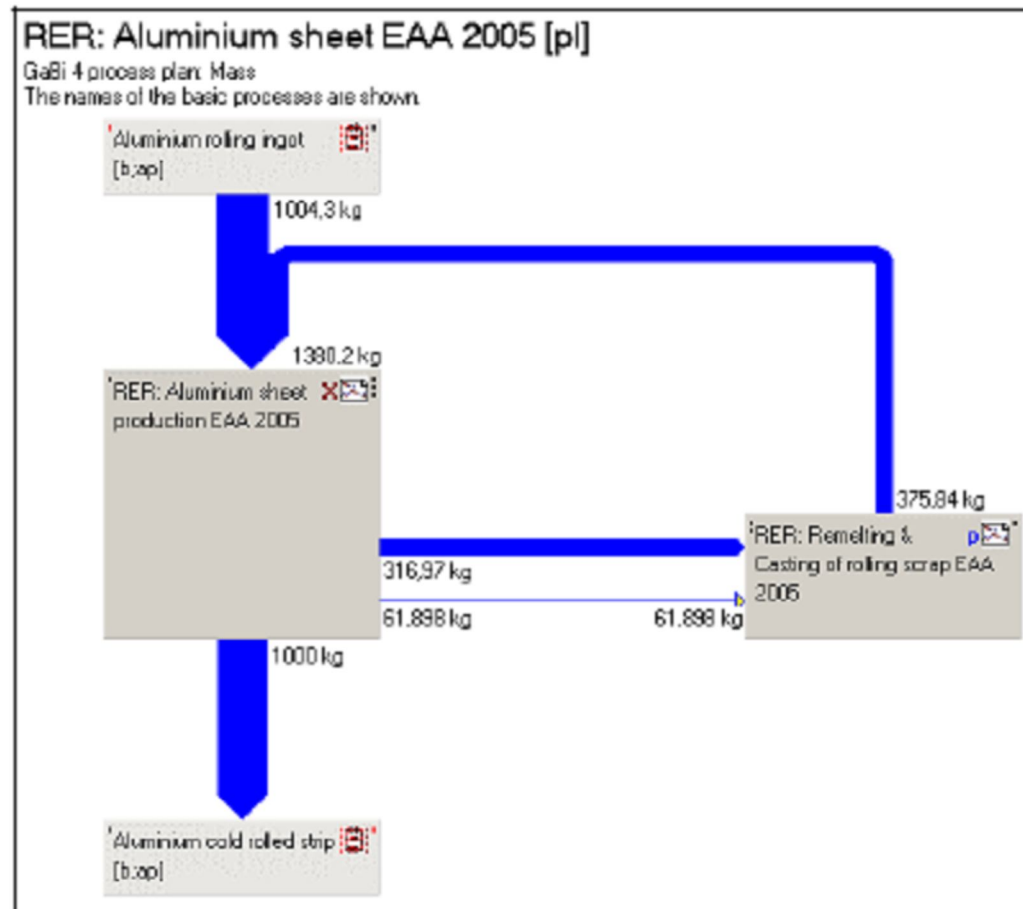


1 tonna öntvény környezeti indikátora

EAA Indicators (per tonne of primary Ingot)	Total	Direct process	Auxiliary	Electricity	Thermal energy	Transport
Depletion of Abiotic Resources (ADP) [kg Sb-Equiv.]	45,36	8,03	1,61	23,64	11,65	0,43
Acidification Potential (AP) [kg SO ₂ -Equiv.]	43,94	12,03	0,87	20,98	8,20	1,86
Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate-Equiv.]	1,94	0,19	0,06	1,13	0,38	0,19
GHG emission (GWP 100 years) [kg CO ₂ -Equiv.]	9677	2594	358	4825	1820	69
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]	9,79E-04	3,19E-06	2,73E-06	9,44E-04	4,39E-06	8,45E-06
Photo-oxidant Creation Potential (POCP) [kg Ethene-Equiv.]	2,670	0,659	0,067	1,293	0,541	0,110
Primary energy from renewable raw materials (net cal. value) [MJ]	42386	28	138	42162	56	1
Primary energy from non-renewable resources (net cal. value) [MJ]	130699	16872	4358	84169	24395	905

Forrás:

Aluminium lemez gyártás folyamat ábrája



1 tonna Al lemez indikátorai

	Osszesen	Közvetlen,	elektromos
ADP (kg Sb ekv)	4,04	1,97	2,07
AP (kg SO2 ekv)	2,96	0,44	2,53
EP (kg PO4 ekv.)	0,164	0,065	0,098
GWG (kg CO2 ekv.)	644	237	407
ODP (kg R11 ekv.)	9,76E-07	7,27E-07	9,69E-05
POCP (kg etén ekv.)	0,282	0,138	0,144
megújuló energia (MJ)	731	121	610
fosszilis energia (MJ)	12019	4117	7902

Forrás: EAA, 2008. 42. oldal

Fig. 4.2 Flow diagram for aluminium sheet production
(RER: EU27 + EFTA countries).

Al fólia folyamata

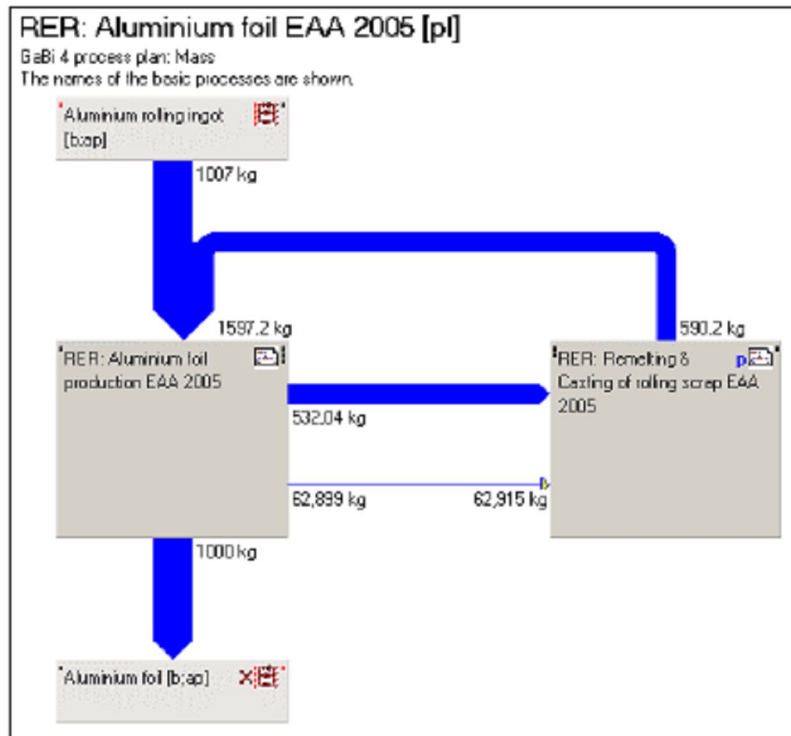
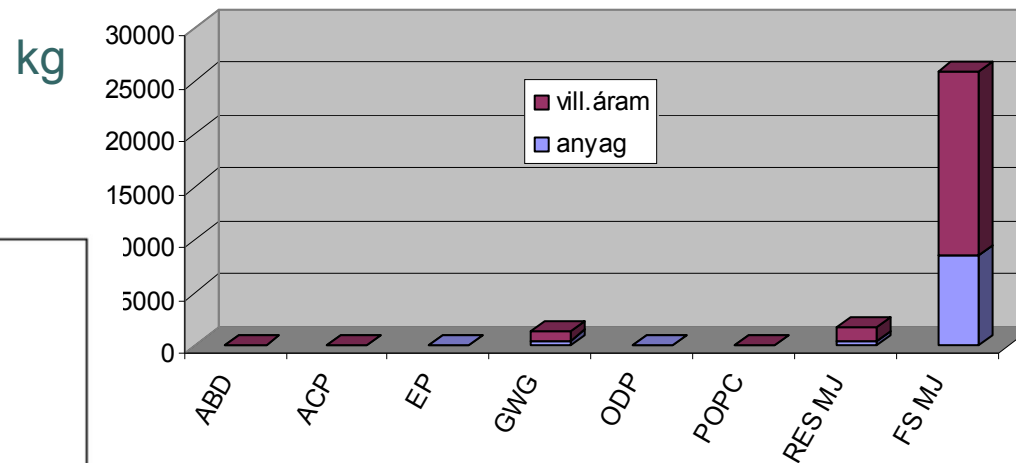


Fig. 5.1 Flow diagram for aluminium foil production.
 (RER: EU27 + EFTA countries).



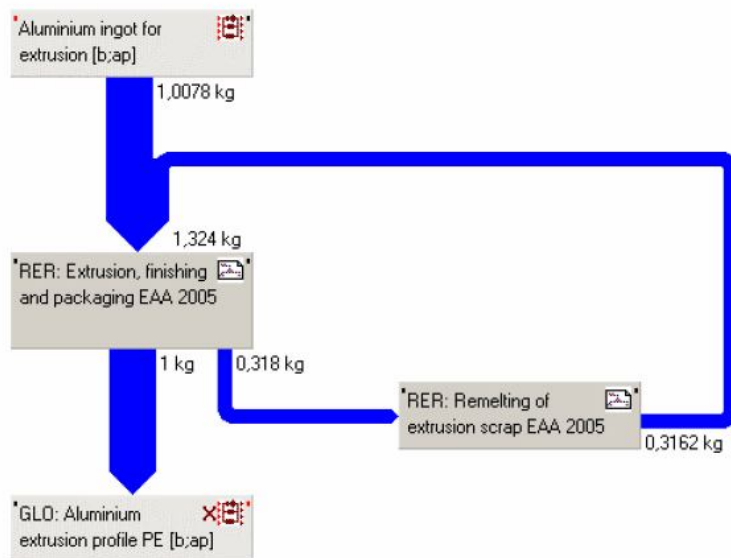
1 t Al fólia

	Total	Direct, auxiliary & thermal	Electricity
ADP (kg Sb ekv)	8,59	4,02	4,58
AP (kg SO2 ekv)	8,90	1,31	5,60
EP (kg PO4 ekv.)	0,37	0,16	0,22
GWG (kg CO2 ekv.)	1353	151	899
ODP (kg R11 ekv.)	2,16E 01	1,75E 06	2,15E 01
POCP (kg etén ekv.)	0,72	0,40	0,32
megújuló energia (MJ)	1.731	381	1.350
fosszilis energia (MJ)	25.090	0.416	17.403

Alumínium extrúzió indikátorai

RER: Aluminium extrusion profile EAA 2005 [pl]

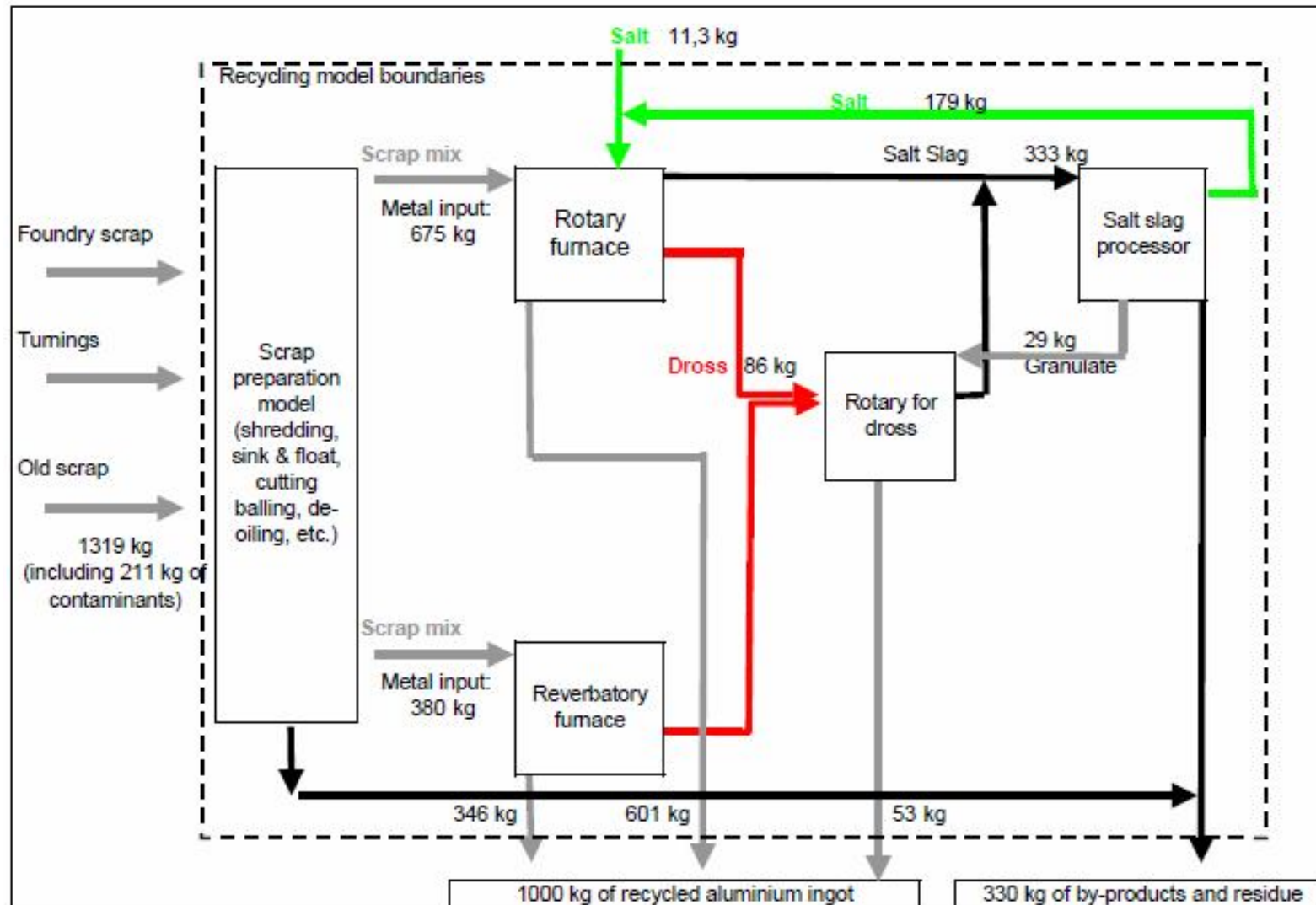
GaBi 4 process plan: Mass
The names of the basic processes are shown.



ADP (kg Sb ekv)	4,70	2,16	2,53
AP (kg SO2 ekv)	3,80	0,70	3,10
EP (kg PO4 ekv.)	0,22	0,10	0,12
GWG (kg CO2 ekv.)	726	227	498
ODP (kg R11 ekv.)	1,22E-04	3,33E-06	1,19E-04
POCP (kg etén ekv.)	0,23	0,06	0,18
megújuló energia (MJ)	1146	398	748
fosszilis energia (MJ)	14311	4625	9686

Forrás:EAA,2008. 47. és 49.o.

MF modell - recycling



Recycling Ieltár -1 t öntvényvre

Year	2005			1998
Inputs (kg)	Total	Process, thermal & Others	Electricity	Total
Total scrap input (preparation phase)	1319			
Total metal input	1108	1108		1270
Foreign materials	211	211		
Metal input (refining)	1055	1055		1033
Alloying elements*	0	(67)		79
Salt	11,3	11,3		13,7
Non renewable energy resources				
Crude oil (resource)	10,9	8,2	2,7	32,3
Hard coal (resource)	15,3	1,9	13,4	45,8
Lignite (resource)	23,2	1,7	21,5	49,6
Natural gas (resource)	120,1	104,6	15,5	233
Outputs (kg)				
Aluminium ingot	1000	1000		1000
Aluminium oxide	107	107		119
Iron scrap	38	38		12
Residues (rubber, filter dust, etc.)	180	180		162
Main air emissions				
CO2	481	382	99	801
NOx	0,55	0,37	0,18	1,1
SO2	0,7	0,25	0,45	2
Dust	0,17	0,15	0,02	0,29
Organic emissions	1,08	0,83	0,25	2,6
Methane	0,97	0,74	0,23	

Forrás:EAA,2008



Recycling környezeti indikátorai

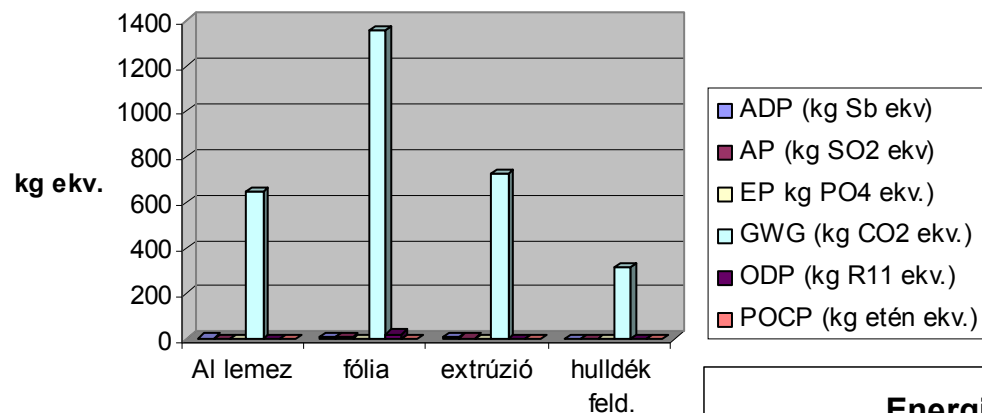
Table 7.14 Environmental Indicators for aluminium recycling per tonne of recycled ingot – year 2005

Environmental indicators (per tonne of recycled ingot)	Total	Direct, thermal & others	Electricity
Abiotic Depletion (ADP) [kg Sb-Equiv.]	3,13	2,48	0,66
Acidification Potential (AP) [kg SO ₂ -Equiv.]	1,12	0,52	0,59
Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate-Equiv.]	0,080	0,055	0,026
Greenhouse gas emission (GWP 100 years) [kg CO ₂ -Equiv.]	506	391	115
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]	2,34E-05	1,80E-06	2,16E-05
Photochem. Ozone Creation Potential (POCP) [kg Ethene-Equiv.]	0,085	0,050	0,035
Primary energy from renewable raw materials (net cal. value) [MJ]	295	159	136
Primary energy from resources (net cal. value) [MJ]	7389	5217	2172

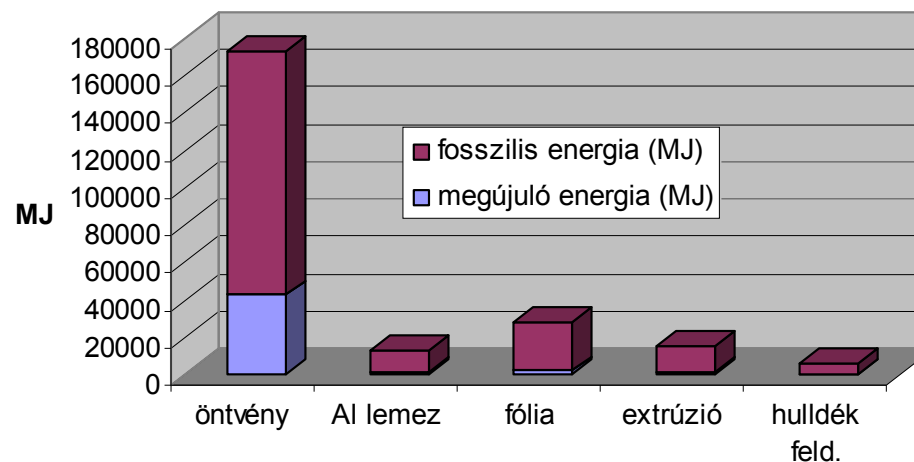
Forrás:EAA,2008

Környezeti hatás az egyes életciklus szakaszokban (1 t-ra)

Környezeti indikátorok az egyes technológiáknál

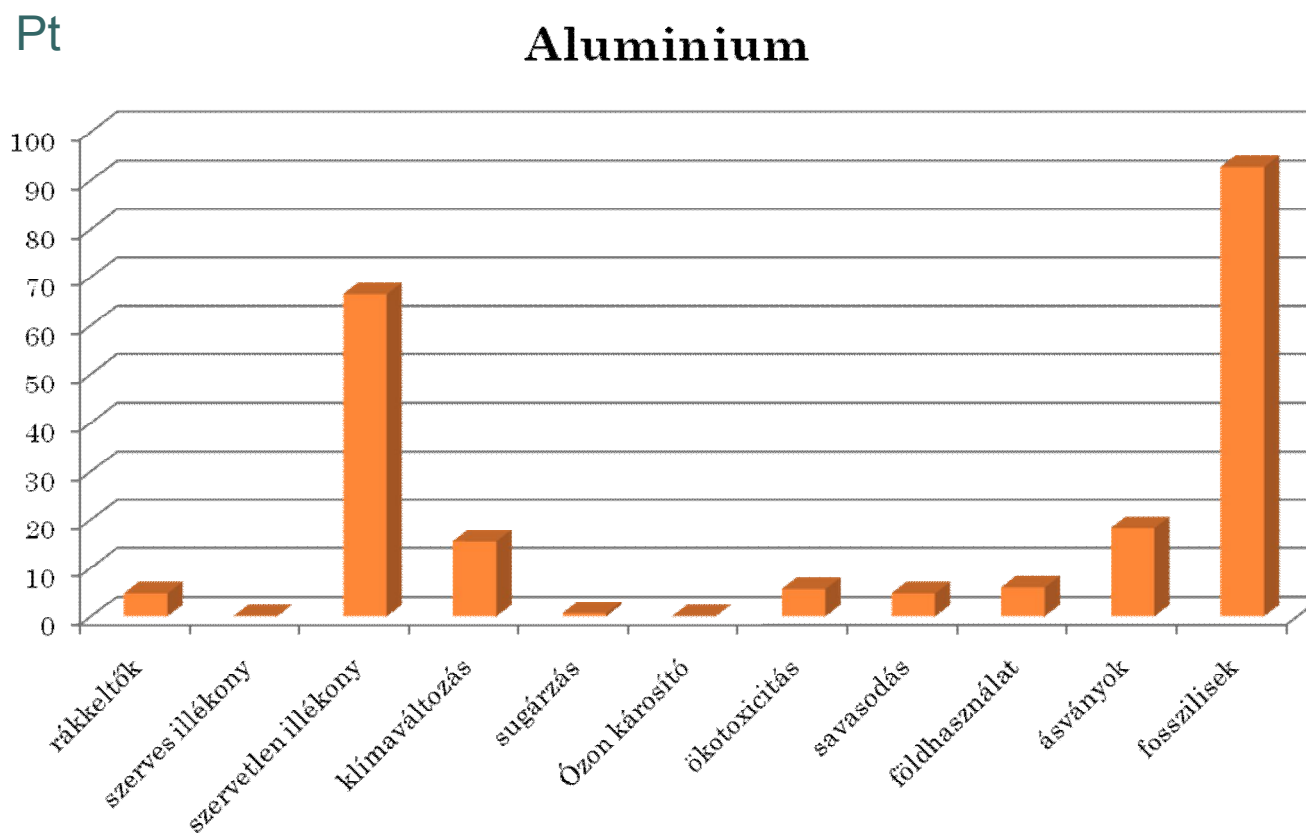


Energia igény az egyes életciklus szakaszokban



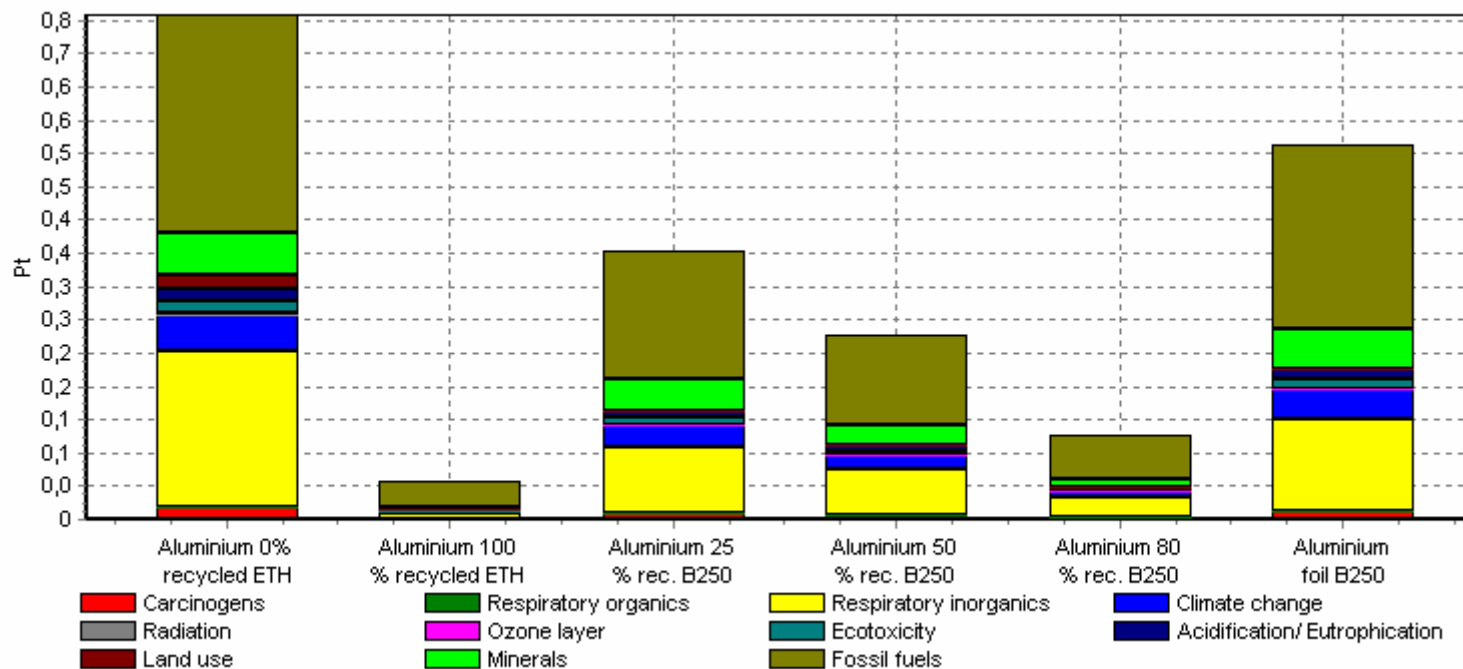


1 kg Alumínium (0 %hulladék) környezeti indikátorai (EI 99)



Forrás: SimaPro adatbázis

Különböző alternatívák vizsgálata (EI 99)

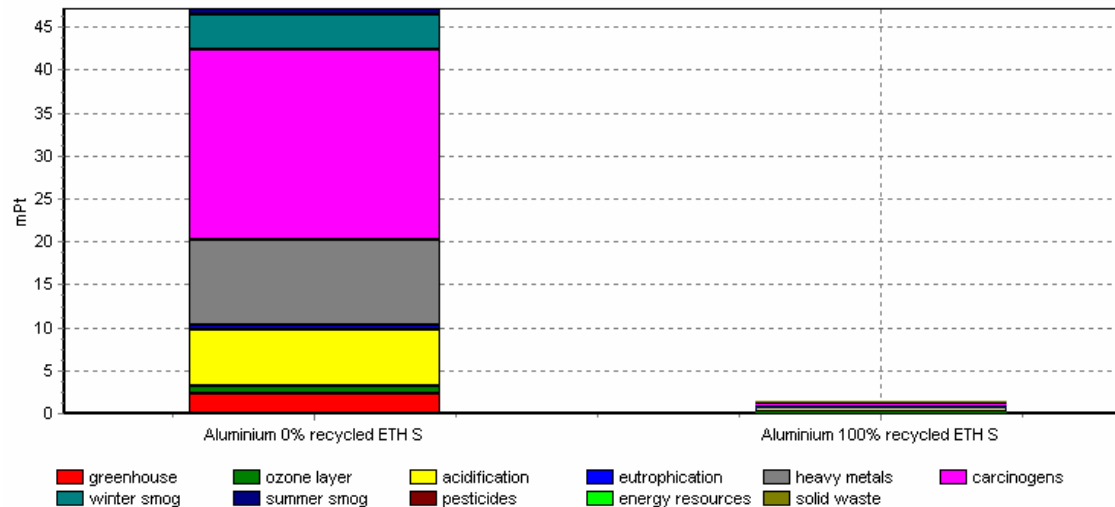


Comparing processes; Method: Eco-indicator 99 (E) V2.1 / Europe EI 99 E/E / single score

Forrás: SimaPro adatbázis

ALTERNATÍVÁK ÖSSZEHASONLÍTÁSA (EI 95)

		1kg % % r 100 % recy	
ÜHG	kg CO2	12,2	1,04
Ózon károsító	kg CFC11	8,76E-06	3,2
savasodás	kg SO2	0,0739	0,00449
eutrofizáció	kg PO4	0,00296	4,50E-06
nehéz fémek	kg Pb	0,000108	5,17E-08
rákkeltők	kg Ba	2,42E-e	0,00336
téli szmog	kg SPM	0,077	0,00336
nyári szmog	kg C2H4	0,00475	0,000247
pesticidek	kg akív hatóanyag		
energia forrás	MJ LHV	210	17,8
szilárd hulladék	kg	0	



Comparing 1 kg material 'Aluminium 0% recycled ETH S' with 1 kg material 'Aluminium 100% recycled ETH S'; Method: Eco-indicator 95 V2.1 / Europe e / singl

LCA – környezettudatos termék tervezés



- Anyag kiválasztás
- Tömegek csökkentése – funkciók megtartása mellett
- Anyag helyettesítések
- Toxikus anyagok kiiktatása
- Szállítási módok, távolságok, paraméterek
- Csomagolások
- Hulladékká válás utáni kezelések





Irodalom

- D.Burchart-Korol (2011): Significance of environmental life cycle assessment (LCA) method Metallurgia 50 (2011) 3, 205-208
- World Steel Association: Environmental case study Steel food cans; High speed rails
- European Aluminium Association (2008): Environmental Profile Report for the European Aluminium Industry
- Tóthné Szita Klára (2008): Életciklus-elemzés, életciklus hatásvizsgálat ME
- GaBi 4 szoftver
- SimaPro 6.0 Demo version
- [Christian Leroy](#) (2012): Provision of LCI data in the European aluminium industry Methods and examples IJLCA



Köszönöm megtisztelő figyelmüket!