

### 1.3. Anyagok, szerkezetek élettartamra vetített vizsgálata

Medgyasszay Péter

#### Absztrakt

Az energiatudatos szemlélet terjedésével a használati életfázis környezeti terhelése csökken, ugyanakkor a gyártási életfázis terhelése nő. Ezért az anyagok, szerkezetek környezeti hatásának vizsgálata egyre fontosabb tudományterület lesz. Az 1990-es évektől számos környezeti értékelési rendszer, illetve a vizsgálatok szabványosított módszere is megjelent. A cikk bemutat egy hazai fejlesztésű, épületszerkezetek értékelésére kifejlesztett módszert.

#### Kulcsszavak:

LCA, életciklus elemzés

#### Tartalom

1. Életciklus vizsgálatok módszerei
2. Adatbázisok tevékenységek/technológiák környezeti hatásairól
3. Élettartamra vetített környezeti hatásvizsgálatok számítástechnikai támogatása
4. Összegzés
5. Felhasznált irodalom

#### 1. Életciklus vizsgálatok módszerei

A fenntartható építés eszközrendszerének fejlődésével egyre több módszert dolgoztak ki arra, miként lehetne anyagok, szerkezetek környezetterhelését minél pontosabban, vagy minél szemléletesebben érzékeltetni. Amikor ugyanis tervezők, vagy felhasználók döntési helyzetbe kerülnek, hogy egyes technológiák közül mit válasszanak, átgondolt módszertan hiányában könnyen hozhatnak rossz döntést.

Példaként gondoljuk végig környezetbarát épület-e a vályogház? A vályogépítésről sokakban él az a kép, hogy a természetbe illeszkedő, azzal harmóniában lévő építési mód. Ez teljesen igaz az anyaghasználatra, hiszen kevés energiával előállítható, használat után a természetbe visszasimuló anyag. Igaz a nyári időszakra is, amikor a falak nagy hőtároló tömege miatt gépi klimatizálás nélkül tudja a belső tér hőmérsékletét alacsonyan tartani. A tradicionális technikák alkalmazása esetén viszont nem igaz a téli állapotra, hiszen az általános vélekedéssel szemben a vályog nem jó hőszigetelő, és az építés alatt megtakarítható energia sokszorosát kell szigetetlen vályogfalú épületek fűtésére fordítani.

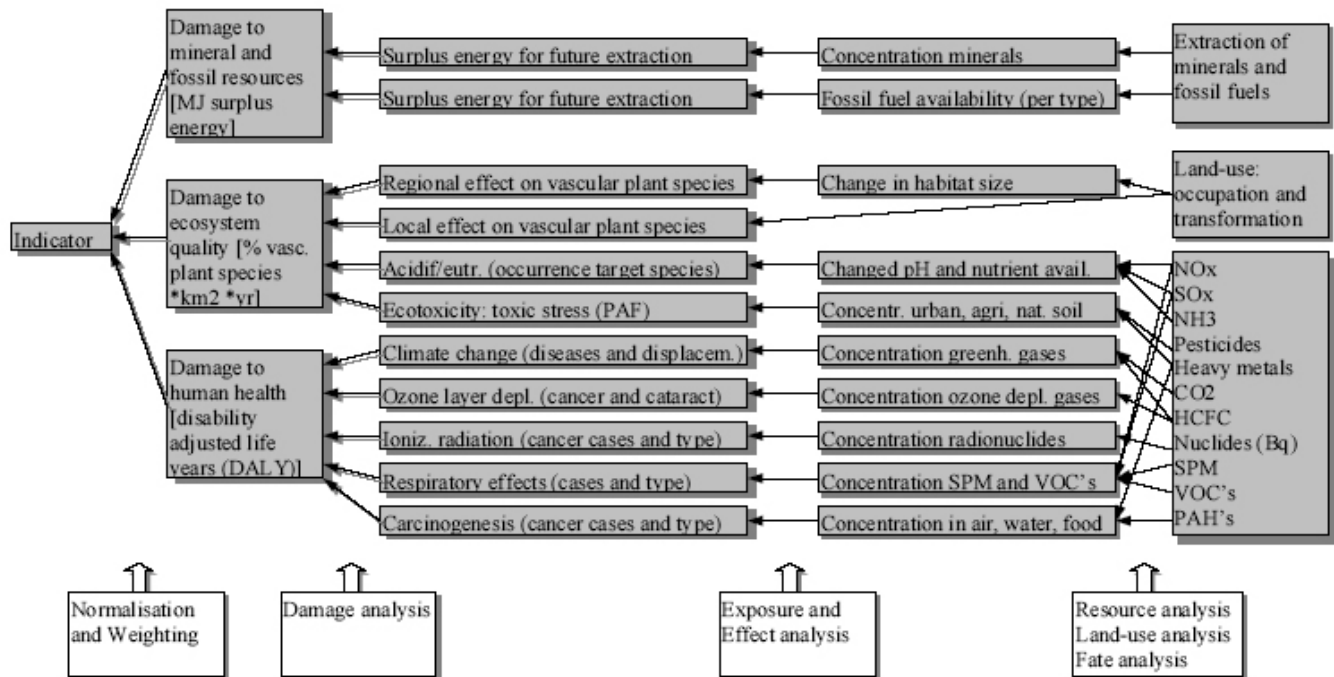
Már az 1980-as években műanyag termékek vizsgálata során tudatosult, hogy a termékek/technológiák környezetre gyakorolt hatását azok teljes életciklusát vizsgálva lehet csak korrekten értékelni. A hetvenes évektől Németországban alkalmazott **kumulatív energiaigény** (Kumulierter Energieaufwand – KEA) egyetlen indikátor, az energia felhasználását összegezi a vizsgált termék/technológia minden életciklusa (bányászat, gyártás, használat, utóhasznosítás) alatt. Fontos megemlíteni, hogy a módszer továbbfejlesztett változatában a vizsgálat során el kell különíteni a megújuló és a nem megújuló energiahasználatot. Az **ökómérleg** 1978/1993/1998/2008 módszertan hasonló elvet követett, de komplexebben vizsgált. A módszer lényege az volt, hogy végigvette a vizsgálandó termék/technológia anyag és energiaáramát, azok környezetre gyakorolt hatását, és a hatások alapján tette meg a vizsgálat tárgyára vonatkozó értékelését. [OTKA T/F 046265]

Később világossá vált, hogy a teljes életciklus vizsgálat mellett a vizsgált környezeti indikátorok minősége is nagyon fontos. Megjelentek olyan módszerek, amelyek a hatásokon túlmenően a rendelkezésre álló erőforrásokat is figyelembe vették. Ilyen módszer az **ökológiai szü-**

**kösség módszere** (1990), a **Fenntartható Folyamat Index** (1995), vagy a nagyon szemléletes **ökológiai lábnyom** (1996) módszer. [OTKA T/F 046265] [Wackernagel, 2001]

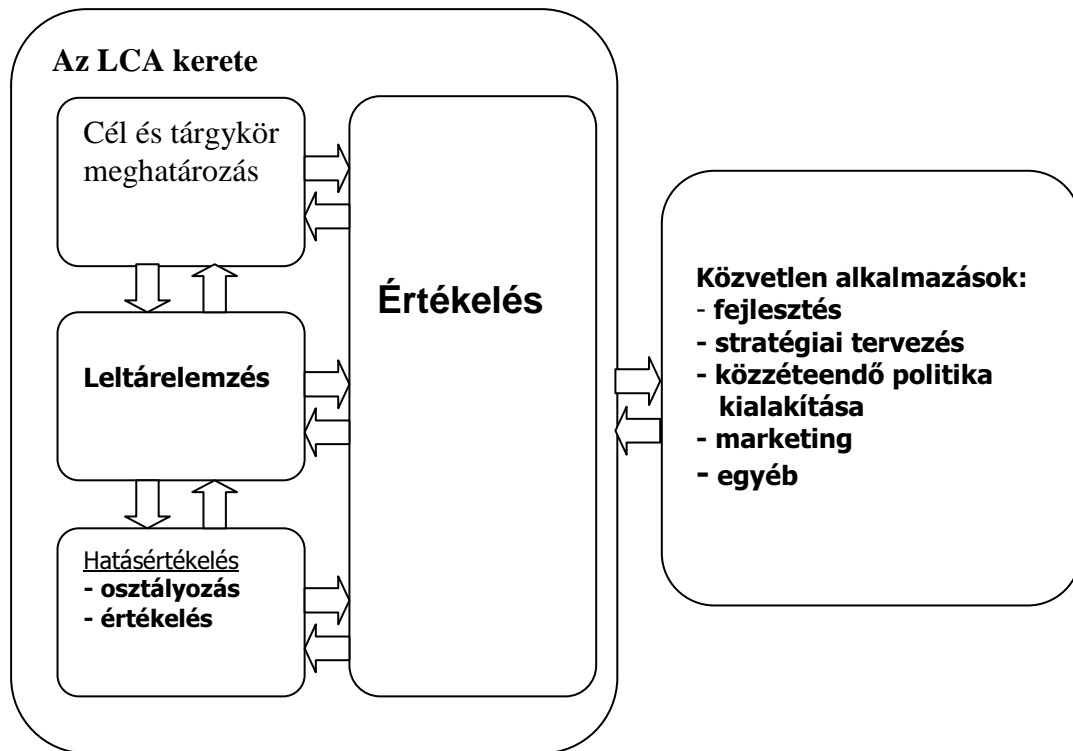
Újabb fejlesztést jelentett a **CML módszer** (1992/2001), illetve az **ECO-indicator** 1995/1999 módszerek, amelyek összevonták egyes folyamatok hatásait, hatáskategóriákat definiálva. A CML módszer esetén még 9 alap hatáskategória (pl. földhasználat, éghajlatváltozás, sztratoszférikus ózonzó károsítás, stb.) és számos vizsgálat-specifikus hatáskategória volt, addig az Eco-indikátor három kategóriában összegezte a környezeti hatásokat. (1. ábra) [OTKA T/F 046265]

**1. ábra: Eco-indicator hatáskategória rendszere [OTKA T/F 046265]**



Fenti módszerek tapasztalatai alapján készült el az **életciklus-elemzés (LCA) szabványosított módszere** (ISO 14040 1997/2006) amely bármely termék/technológia elemzését lehetővé teszi. Az 2. ábrán látható az elemzés főbb területei, és azok egymáshoz való kapcsolata. A cél és tárgykor meghatározás során pontosan definiálni kell mit, milyen módszerrel, milyen adatok felhasználásával kívánunk vizsgálni. A leltárelemzés során számszerűsíteni kell a vizsgálat tárgyának minden bemeneti és kimeneti adatát. A hatásértékelés során a leltárelemzésben meghatározott kibocsátások és anyaghasználat potenciális környezetre gyakorolt hatását kell számszerűsíteni, jellemzően nemzetközileg elfogadott indikátorok értékeit vizsgálva. Ezen elemzések után lehet értékelni a vizsgált termék/technológia környezeti hatását. [OTKA T/F 046265]

**2. ábra: Az életciklus-elemzés (LCA) szabványosított módszere [OTKA T/F 046265]**



Végül érdemes szólni a **karbon lábnyom** (2006) fogalmáról. Ez az eljárás ismét csak egy hatásterületre koncentrál. Az emberi tevékenységek talán legnagyobb, a globális klímaváltozás szempontjából legfontosabb elemét, a tevékenységekhez kapcsolódó üvegházhatású gázok kibocsátást vizsgálja. Általában egy ember, egy közösség fogyasztási szokását vizsgálják, meghatározva az összes résztevékenységhez kapcsolódó kibocsátást és azok összesítését.

A szerkezetek életciklust tekintő környezeti hatásainak elemzése **speciális kérdéseket** is felvet, különösen a használati és a bontási-utóélet életfázisokat tekintve. A használati életfázis környezetterhelése elsősorban az üzemeltetési energiaigény, másodsorban a felújítások ráfordításának függvénye. Az **üzemeltetési energiaigény** részint a felületek hőveszteségének, hő-tároló képességének, részint az épületben alkalmazott gépészet függvénye. Ugyanazon szerkezet eltérő gépészeti rendszerek mellett eltérő mennyiségű és „minőségű” energiahordozót használhat, így a környezeti terhelés különböző lesz. Az energiahordozók minősége alatt azt értjük, hogy a helyben használt „bruttó”, vagy „kiszállított energia” mellett nagyon lényegesebb a „primer energia” fogalma, azaz az adott energiahordozó előállításához szükséges alap-energiahordozó mennyisége. Például a gáz és az elektromos áram használatának környezeti hatásait tekintve minőségi különbségek vannak. Míg az elektromos energia helyben tiszta energiahordozónak számít, magyarországi viszonyokat tekintve a felhasznált mennyiség 2-3-szorosát kell elégetni gázból, vagy atomenergia hasznosításával, ami jelentősen megnöveli a globális, vagy országos szinten jelentkező kibocsátásokat. Problémát jelent továbbá, hogy a **szerkezetek, szerkezetekbe épített anyagok élettartamára** nagyon kevés adatunk van, így az egyes szerkezetek felújítási igénye nehezen számszerűsíthető. Utoljára szólni kell az **utóhasznosítás** kérdéséről. Erről ugyan sok technológiát ismertető adatsor tartalmaz adatot, de az építési anyagok mennyisége miatt a bontás utáni állapotra különös hangsúlyt kell fektetni. Fenti kérdésekre adott válaszokat a 3. fejezetben, a számítást segítő szoftverek ismertetése során részletezzük.

## 2. Adatbázisok tevékenységek/technológiák környezeti hatásairól

Az 1. fejezetben bemutatott környezeti hatásvizsgálati módszereket abban az esetben lehet elvégezni, ha a tevékenységek/technológiák környezeti hatásairól megfelelő adatok állnak rendelkezésünkre.

Svájcban a Schweizer Zentrum für Ökoinventare intézetében épült ki az **ecoinvent** adatbázis, amely 4000 termék és technológia leírásával jelenleg is az egyik legalaposabb adatforrás (<http://www.ecoinvent.ch/>). Az adatbázis az energiatermelés, szállítás, hulladékkezelés, építés, vegyszerek, mezőgazdaság területeire vonatkozó adatokat tartalmaz. Az adatbázisban megtalálhatók egyes technológiák leltárelemzései, illetve a hatásértékelés eredményei is. Az adatok v2.2 változatban a következő értékelési módszerek szerint kérhetők le: [OTKA T/F 046265] [Hischier, Weidema, 2010]

- CML 2001
- Cumulative energy demand
- Cumulative exergy demand
- Eco-indicator 99
- Ecological footprint
- Ecological scarcity 1997 and 2006
- Ecosystem damage potential - EDP
- EDIP'97 and 2003 - Environmental Design of Industrial Products
- EPS 2000 - environmental priority strategies in product development
- IMPACT 2002+
- IPCC 2001 (climate change) and IPCC 2007 (climate change)
- ReCiPe (Midpoint and Endpoint approach)
- TRACI
- USEtox
- Selected Life Cycle Inventory indicators

Az ecoinventhez hasonló komplex adatbázist építettek ki a Stuttgarti Egyetem LBP intézetében fejlesztett **GaBi** életciklus elemző szoftver adatbázisaként. Adatbázisként érdemes még említeni az angol **BRE** (British Research Establishment), valamint az amerikai **BEES** (Building for Environmental and Economic Sustainability) adatbázisát, amelyek azonban komplexitásukban nem érik el jelenleg az ecoinvent, vagy a GaBi szintjét.

Magyarországon az 1980-as évektől már foglalkoztak építőipari termékek előállításának energia-tartalmának vizsgálatával de ezen kutatások nem érintették az építőanyagok előállítása során keletkező emissziókat [Ertsey, 1983]. 1990-es évek közepén még csak nagyon elnagyolt adatok voltak elérhetők építőanyagok környezeti, ökológiai hatásairól. Az 1998-ban létrehozott **Környezetkímélőbb Építés Adatbázisa** csak nagyon sematikus módon tudta szerkezetek környezeti hatásait elemezni (<http://www.foek.hu/korkep/>). Ez első valós adatokra épülő hazai elemzések 2000-2001-ben születtek egy svájci adatbázis a **BauBioDataBank** adatainak felhasználásával (<http://www.gibbeco.org/datenbank.html>). Ezen kutatásokban az energiaigény mellett a széndioxid-ekvivalens és a kéndioxid-ekvivalens értékek voltak számíthatók.

Hazai fejlesztésként az OTKA T/F 046265 kutatás keretében Szalay Zsuzsa és Zorkóczy Zoltán dolgozták ki az ecoinvent v1.1 adatait használva a hazai építőipari termékekre **jellemző magyarított adatbázist**. Kapcsolódó kutatás során bebizonyosodott, hogy az építőipari ter-

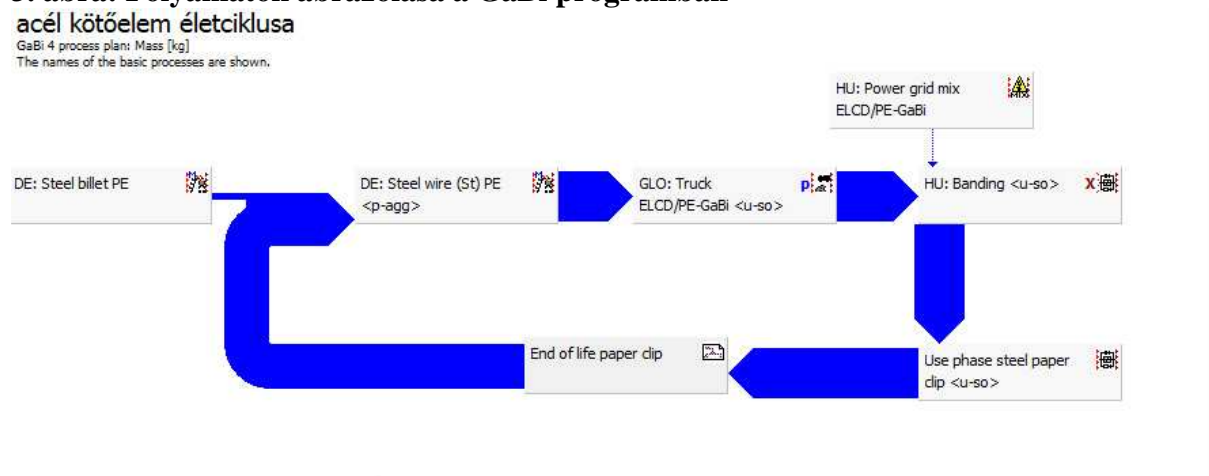
mékek jelentős százalékában a hazai gyártási körülmények nem nagyon térnek el a nyugat-európai normáktól. A globalizálódó európai piac hatásaként sokszor azonos cégek, azonos technológiákkal gyártják termékeiket a különböző országokban, így a gyártáshoz kapcsolódó hatások országtól függetlenül hasonlóknak tekinthetők. Különbséget jelent azonban, hogy az országoknak eltérő „energia-mix”-e van, azaz a gyártáshoz használt villamos energiát, vagy a termikus hő előállítását más primer energiaforrásokból nyerik. További különbség, hogy az ország mérete miatt a szállítási távolságok nem tekinthetők azonosnak. A magyarított adatbázis ezen ország-specifikus adatokat módosította és hozott létre egy hazai kutatásokhoz használható adatállományt.

### 3. Élettartamra vetített környezeti hatásvizsgálatok számítástechnikai támogatása

Amint az 2. fejezetből érzékelhető, a termékek/technológiák, illetve esetünkben az építőanyagok és épületszerkezetek élettartamra vetített környezeti hatásvizsgálata során rendkívül sok információt kell kezelni. Ezen adatok kezelésére, és az adatok megjelenítésére számos szoftver érhető már el.

Talán legismertebb, hazai terméktámogatással is rendelkező szoftver a Stuttgarter Egyetem LBP intézetében fejlesztett **GaBi** program. A program a 2. fejezetben leírtak szerint saját adatbázissal is rendelkezik, de használ más intézetek által gyűjtött adatokat is. A folyamatok elemzése során az ISO 14040 szerint leltárelemzést kell végezni. A program egy szemléltető folyamatábrát jelenít meg ezen adatokról, majd ábrázolja a vizsgált folyamat hatásindikátorait. (3. ábra)

#### 3. ábra: Folyamatok ábrázolása a GaBi programban



Az általánosan használható további szoftverek, mint a **GaBi**, a **SimaPro**, vagy az **Umberto** mellett kifejezetten az épületek környezeti hatásának vizsgálatára is rendelkezésre állnak szoftverek.

Nagyon jól strukturált elemzéseket lehet a svájci **BauBioDataBank** rendszerével készíteni. A 4D adatbázis-kezelő szoftverre épülő rendszerben az „elemi anyagok”, a „termékek/anyagok”, a „szerkezetek” és az „épületek” egymásra épülő rendszert alkotnak. (4. ábra)

#### 4. ábra: BauBioDataBank rendszerével végzett elemzés áttekintő ábrája [Medgyasszay, 2001]

4th Dimension - [Entry for G\_EBAEUDE\_BUILD]

File Edit Use Enter Queries Report Special Web Server Plug-Ins Help

**ÉPÜLET** BauEcoIndex Áram-mix Schweiz CH 4

1 GebNr CH-9230.927 Mittelhaus 101 2 Projekt Okorama 1 Mittelhaus 101

**Szerkezet / épületrész**  
Minden adat a svájci primer áramarányra vonatkoztatva!

2 Som: a-z	10_1 Szerkezet_Nr	K_3 Építőelem csoport	10_3 Effektív felület m <sup>2</sup>	Környezetterhelés Előállítás és karbantartás pro m <sup>2</sup>				Primer energia tartalom PET Előállítás és karbantartás pro m <sup>2</sup>			
				K_82 gCO <sub>2</sub> eq /m <sup>2</sup> a	K_83 gSO <sub>2</sub> eq /m <sup>2</sup> a	10_5 gCO <sub>2</sub> eq /Kon/a	10_6 gSO <sub>2</sub> eq /Kon/a	K_84 n. megúj. MJ/m <sup>2</sup>	K_85 megújuló MJ/m <sup>2</sup>	10_7 n. megúj. MJ/Kon/a	10_8 megújuló MJ/Kon/a
c	E4.DOKU 4.721	E4 Aussenwände über Terrain	47.50	473	2.14	22'467	101	6.44	13.24	305	628
c1	E8.DOKU 5.721	E8 Innenwände (Rohbau)	97.43	556	1.84	54'171	179	7.25	0.59	706	57
b	ED.DOKU 5.720	ED Böden/Decken/Treppe/Balkone	59.96	1	7.31	59	438	17.51	7.43	1'049	446
a	D2.DOKU 3.721	D2 Fundamente/Bodenplatten	45.35	3	12.08	136	547	40.7	3.82	1'845	164
a1	E3.DOKU 4.720	E3 Aussenwände unter Terrain	22.83	1	6.84	22	151	17.99	0.22	410	5
d	E1.DOKU 7.721	E1 Dächer	92.77	961	5.87	89'151	544	25.82	16.09	2'376	1'492
b1	ED.DOKU 5.721	ED Böden/Decken/Treppe/Balkone	118.80	805	6.24	95'634	741	12.2	17.79	1'449	2'113
			46	TOTAL GEBAUDE	92		93	94		95	
			39	EDat	98.01.13	40	RDat	99.12.26	36	BEarb	bobbi
						gCO <sub>2</sub> eq/Geb/a	gSO <sub>2</sub> eq/Geb/a	MJ/Geb/a		MJ/Geb/a	

46 Bem 92 93 94 95

39 EDat 98.01.13 40 RDat 99.12.26 36 BEarb bobbi

GIBB/ECOHB  
BauBio DataBank  
CH-9230 Flawil

In Wärmebedarfs-Berechnung übernehmen  
Klicke in der oberen Liste Feld 10 die gewünscht Konstruktionen an und klicke anschliessend in  
In Kosten-Berechnung übernehmen  
Klicke in der oberen Liste Feld 10 die gewünscht Konstruktionen an und klicke anschliessend in  
unsichten Buttons Wärmebedarf.  
(Preisberechnung in Vorbereitung)

NYOMTATÁS CH  
Áttekintés  
Yárosi helyszín  
Építési helyszín  
Építőanyagok  
Hőenergia igény  
Elektromos igény  
Szellőztetés  
Vízgazdálkodás  
Hulladékgazd.  
Költségek  
Helyiség analízis

**GEBÁUDE** BauEcoIndex Strommix Europa UCPTÉ 4a

1 GebNr CH-9230.927 Mittelhaus 101 2 Projekt Okorama 1 Mittelhaus 101

**Konstruktionen**  
BauEcoIndex mit Strommix Europa UCPTÉ

10_3 Effek-	Umwelteinwirkungen Herstellung und Erneuerung pro m <sup>2</sup> pro Konstruktion	Prüfenergie-Inhalt PEI Herstellung und Erneuerung pro m <sup>2</sup> pro Konstruktion

DRUCKEN UCPTÉ

A további építés-specifikus szoftverek közül a német **GEMIS** (Global Emission Model for Integrated Systems) program mellett az ugyancsak német **LEGEP** (Lebenszyklus Gebäude Planung) programot érdemes említeni.

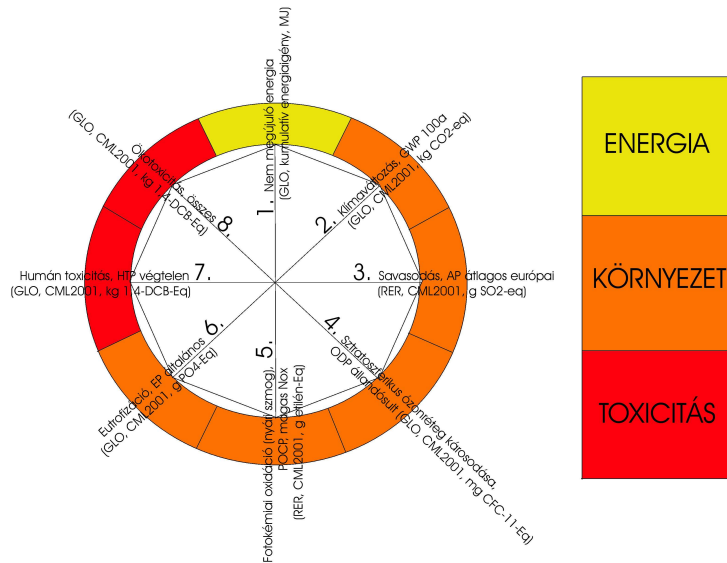
A LEGEP programmal akár CAD kapcsolat is lehetővé válik és a rendszer együtt vizsgálja a következő tényezőket:

- építési költség,
- épületenergetika,
- életciklus költségek,
- környezeti hatások.

**Hazai kutatásokban** az élettartam alatti környezeti terhelés vizsgálatához a OTKA T/F 046265 kutatás keretében dolgozott ki Medgyasszay Péter Excel programra fejlesztett számítási algoritmust. A számítási algoritmus a BauBioDataBank módszerét vette alapul, de alapvetően a CML elemzés indikátorait, az ecoinvent adatbázis indikátorértékeit használta. Újdonsága, hogy a szerkezetekre vonatkozó eredményeket nagyon szemléletes módszerrel ábrázolja, bemutatva a gyártási-bontási és a használati életfázis hatásait. (5. 6. ábrák)

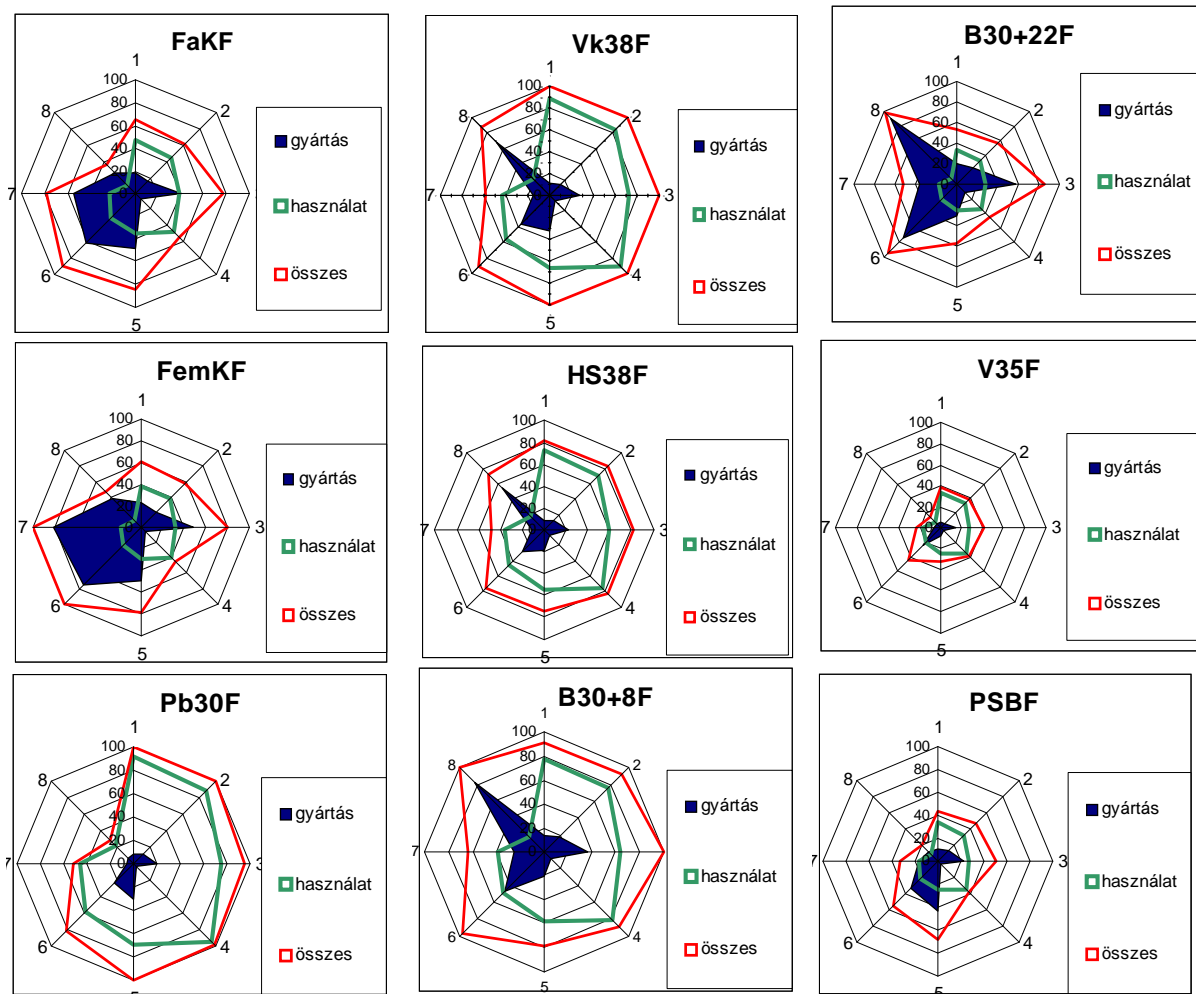
**5. ábra: Indikátorok eloszlása és besorolása** [Medgyasszay, 2008] Használt indikátorok: 1. Kumulatív energiaigény, nem megújuló (PEI, n.r.); 2. Klímaváltozás (GWP); 3. Savasodás (AP); 4. Sztratoszferikus ózonréteg károsodása (ODP); 5. Fotokémiai oxidáció-nyári szmog

(POCP); 6. Eutrofizáció (EP); 7. Humántoxicitás (HTP); 8. Ökotoxicitás (ETP)



**6. ábra: Falszerkezetek összehasonlítása** [Medgyasszay, 2008] A kék terület a gyártási-bontási, a zöld vonal a használati, a piros a teljes életfázisra számított hatásokat ábrázolja. A vizsgált szerkezetek: FaKF – favázás könnyűszerkezetes fal; FemKF – fémvázás könnyűszerkezetű fal; Pb30F – 30 cm vastag pórusbeton fal; Vk38F – 38 cm-es vázkerámia fal; HS38 – 38 cm-es fokozott hőszigetelésű vázkerámia fal; B30+8F – B30-as falazat 8 cm külső oldali kőzetgyapot hőszigeteléssel; B30+22F - B30-as falazat 22 cm külső oldali kőzetgyapot hőszigeteléssel; V35F – favázás, vályog kitöltésű, szalmabála hőszigetelésű fal; PSBF – polisztirol zsaluzatba öntött beton fal





A számítás menetének és lépéseinek bemutatása egy faváz, vályog kitöltésű, szalmabála hőszigetelésű falszerkezet példán keresztül.

### A) Alapadatok definiálása

- 1) A szerkezet rétegeinek definiálása,
- 2) a szerkezeti rétegek élettartamának meghatározása,
- 3) a szerkezeti rétegek egy négyzetméterre vonatkozó tömegének kiszámítása.

**1. táblázat: A V35F jelű falszerkezet rétegeinek definiálása, az egyes rétegek négyzetméterre vonatkozó tömegének kiszámítása, és a szerkezeti rétegek élettartamának meghatározása**

	vastagság (cm)	Sűrűség (kg/m <sup>3</sup> )	ajánlott tömeg (kg/m <sup>2</sup> )	számításba vett tömeg (kg/m <sup>2</sup> )	élettartam (év)	megjegyzés	lambda (W/mK)
alapadatok							
agyagvakolat, agyaghabarcs	2	1600	33,6	33,6	40		
vályogtégla	15	1600	252	214	80	faváz miatt 85%-kal csökkentve	0,73
agyagvakolat, agyaghabarcs		1600	0	24	80	0,12 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> falazat	0,7



fűrészelt puhafa, mesterséges szárítás u = 10 %		400	0	9,45	35	15/15 méteren- ként, 5% hulladék- kal	0,73
favédőszer, organikus só, Cr mentes		0	0	0,01	35	0,5 kg/m <sup>3</sup> anyag 0,022 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> felületre	0,13
szalma, hulladék	35	150	55,125	55,13	35		0
mészhabarcs	5	1650	86,625	86,62	25		0,06
fűrészelt puhafa, mesterséges szárítás u = 10 %	0	400	0	0,39	25	2,5/5 33 cm-ként, 5%hullad- ékkal	0,81
favédőszer, organikus só, Cr mentes	0	0	0	0,00	25	0,3 kg/m <sup>2</sup> anyag 0,0037 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> anyagra	0,13
							0

### **B) Gyártási és hulladék állapotra vonatkozó környezetterhelés kiszámítása**

4) A magyarországi termelési viszonyokra adaptált környezetterhelési adatbázis összeállítása (Az adaptálásnál figyelembe kell venni a nemzetközi adatbázisok (pl. ecoinvent) adatait, és az adatokat módosítani kell az eredeti adatbázisban szereplő és a magyarországi energiaellátás, valamint az építési anyagok jellemző szállítási távolságával.),

5) A szerkezeti rétegekhez tartozó, egy kg-ra vonatkozó indikátorértékek kigyűjtése (adaptált adatbázisából),

### **2. táblázat: A V35F jelű falszerkezet környezeti indikátorai 1 kg anyagra vonatkoztatva**

	nem meg- újuló energia GLO kumulatív energia- igény MJ	klímavál- tozás, GWP 100a GLO CML 2001 kg CO2- Eq	savasodás, AP átlag- os euró- pai RER CML 2001 g SO2-Eq	sztratoszfe- rikus ózonréteg károsodá- sa, ODP állandó- sult GLO CML 2001 mg CFC- 11-Eq	fotokémi- ai oxidá- ció (nyári szmog), POCP, magas NOx RER CML 2001 g etilén- Eq	eutrofizáci- ó, EP általános GLO CML 2001 g PO4-Eq	humán toxicitás, HTP vég- telen GLO CML 2001 kg 1,4- DCB-Eq	Ökotoxicit- ás GLO CML 2001 kg 1,4- DCB-Eq
agyagvakolat, agyaghabarcs	0,919615	0,051	0,384	0,006	0,016	0,033	0,013	18,520
vályogtégla	0,428024	0,026	0,167	0,003	0,007	0,028	0,008	4,835
agyagvakolat, agyaghabarcs	0,919615	0,051	0,384	0,006	0,016	0,033	0,013	18,520
fűrészelt puhafa, mesterséges szárítás u = 10 %	4,475327	0,249	1,705	0,025	0,113	0,333	0,137	89,129

favédőszer, organikus só, Cr mentes	69,64185	2,998	25,685	1,859	0,996	4,231	8,734	1719,163
szalma, hulladék	0,803424	0,049	0,264	0,007	0,012	0,052	0,013	6,304
mészhabarcs	1,769881	0,131	0,616	0,014	0,032	0,064	0,027	29,230
fűrészelt puhafa, mesterséges szárítás u = 10 %	4,475327	0,249	1,705	0,025	0,113	0,333	0,137	89,129
favédőszer, organikus só, Cr mentes	69,64185	2,998	25,685	1,859	0,996	4,231	8,734	1719,163

6) minden szerkezeti réteg egy négyzetméterére vonatkozó, egy év használatra jutó környezetterhelési indikátor értékének kiszámítása,

### 3. táblázat: A V35F jelű falszerkezet rétegeinek környezetterhelése egy évre és egy négyzetméterre vonatkoztatva

	nem megújuló energia GLO kumulatív energiaigény MJ	klímaváltozás, GWP 100a GLO CML 2001 kg CO <sub>2</sub> -Eq	savasodás, AP átlagos európai RER CML 2001 g SO <sub>2</sub> -Eq	sztratoszfrikus ózonréteg károsodása, ODP állandó-sult GLO CML 2001 mg CFC-11-Eq	fotokémi-ai oxidáció (nyári szmog), POCP, magas NO <sub>x</sub> RER CML 2001 g etilén-Eq	eutrofizáció, EP általános GLO CML 2001 g PO <sub>4</sub> -Eq	humán toxicitás, HTP végtelen GLO CML 2001 kg 1,4-DCB-Eq	ökotoxicitás GLO CML 2001 kg 1,4-DCB-Eq
agyagvakolat, agyaghabarcs	0,77248	0,04316	0,32252	0,00502	0,01344	0,02800	0,01119	15,55719
vályogtéglá	1,14497	0,06892	0,44705	0,00872	0,01836	0,07514	0,02269	12,93266
agyagvakolat, agyaghabarcs	0,27588	0,01541	0,11518	0,00179	0,00480	0,01000	0,00400	5,55614
fűrészelt puhafa, mesterséges szárítás u = 10 %	1,20834	0,06726	0,46048	0,00662	0,03061	0,08985	0,03686	24,06470
favédőszer, organikus só, Cr mentes	0,02189	0,00094	0,00807	0,00058	0,00031	0,00133	0,00274	0,54031
szalma, hulladék	1,26539	0,07722	0,41618	0,01030	0,01940	0,08163	0,01974	9,92914
mészhabarcs	6,13229	0,45418	2,13578	0,04988	0,11068	0,22313	0,09437	101,27521
fűrészelt puhafa, mesterséges szárítás u = 10 %	0,06982	0,00389	0,02661	0,00038	0,00177	0,00519	0,00213	1,39041
favédőszer, organikus só, Cr mentes	0,00501	0,00022	0,00185	0,00013	0,00007	0,00030	0,00063	0,12378

7) a teljes szerkezet egy négyzetméterére, egy évre vonatkoztatott környezetterhelési indikátorértékek összesítése.

### C) Használati életciklusra jutó környezetterhelés meghatározása

8) A szerkezet hőátbocsátási értékének meghatározása,

9) a vizsgált építési tájegységre vonatkozó hőfokóra definiálása,

10) a szerkezet egy négyzetméter felületére eső éves energiaveszteség kiszámítása,

11) a vizsgált területi egységre jellemző fűtési energia-mix meghatározása,

12) a fűtési energia-mix egy energiaegységéhez tartozó indikátor értékek meghatározása,

#### 4. táblázat: 1 MJ fűtési energiahasználat környezetterhelése Magyarországon

nem megújuló energia GLO kumulatív energiaigény MJ	klímaváltozás, GWP 100a GLO CML 2001 kg CO <sub>2</sub> -Eq	savasodás, AP átlagos európai RER CML 2001 g SO <sub>2</sub> -Eq	sztratoszferikus ózonréteg károsodása, ODP állandósult GLO CML 2001 mg CFC-11-Eq	fotokémiai oxidáció (nyári szmog), POCP, magas NO <sub>x</sub> RER CML 2001 g etilén-Eq	eutrofizáció, EP általános GLO CML 2001 g PO <sub>4</sub> -Eq	humán toxicitás, HTP végtelen GLO CML 2001 kg 1,4-DCB-Eq	ökotoxicitás GLO CML 2001 kg 1,4-DCB-Eq
1,72936	0,10162	0,18389	0,02122	0,01638	0,01153	0,01188	5,67564

13) a használat egy évre jellemző környezetterhelési indikátorok kiszámítása.

#### D) Vizsgált szerkezetek környezetterhelésének összehasonlítása (sugár-diagrammal)

14) Az indikátorok közötti súlyozási arányszámok megállapítása,

15) a vizsgált szerkezetek súlyozott környezeti indikátorait bemutató összesítő táblázat összeállítása (a gyártási, a használati és a két értéket összesítő teljes környezetterhelés dimenziókban),

16) az egyes indikátorértékek maximum értékeinek meghatározása,

17) a vizsgált szerkezetek környezeti indikátorait százalékos formában bemutató összesítő táblázat összeállítása úgy, hogy az egyes indikátorok értékeit mindig az adott indikátor maximum értékéhez arányosítjuk,

18) a szerkezetek környezetterhelésének ábrázolása sugár-diagramon a következők szerint:

18a) Minden egyes sugár-diagram egy szerkezet környezetterhelését mutatja,

18b) a diagram sugaraira, mint indikátortengelyekre a gyártási-hulladék, a használati és az összesített indikátorértékeket is feltüntetjük 16) lépésben előállított százalékos értékek ábrázolásával,

18c) a különböző életciklusra jellemző indikátor értékeket azonos vonalakkal kötjük össze.

19) A vizsgált szerkezetek közül az tekinthető legkedvezőbbnek, amelyik szerkezet "pecsétje", azaz az azonos életciklusra jellemző indikátor értékeket összekötő vonal által határolt alakzat területe a legkisebb.

#### 5. táblázat: A V35F jelű falszerkezet környezetterhelése egy évre és egy négyzetméterre vonatkoztatva teljes életciklus alatt.

Réteges, favázás vályog kitöltésű, szalmbála hőszigetelésű falszerkezet (V35F)				
	élettartamra lebontott	élettartamra lebontott	élettartamra lebontott	beruházáskor jelentkező
Teljes szerkezet műszaki élettartama (év)	gyártás	használat	összes	
R (m <sup>2</sup> K/W)			6,14	
U (W/m <sup>2</sup> K)			0,16	
Hővesztesség (MJ/év)			41,12	
nem megújuló energia (GLO, kumulatív energiaigény, MJ)	10,896	71,112	82,008	387,092
megújuló energia (GLO, kumulatív energiaigény, MJ)	6,754	0,364	7,118	228,531
klímaváltozás, GWP 100a (GLO, CML2001, kg CO <sub>2</sub> -eq)	0,731	4,179	4,910	25,020

savasodás, AP átlagos európai (RER, CML2001, g SO <sub>2</sub> -eq)	3,934	7,562	11,495	142,951
sztratoszferikus ózonréteg károsodása, ODP állandósult (GLO, CML2001, mg CFC-11-Eq)	0,083	0,873	0,956	2,914
fotokémiai oxidáció (nyári szmog), POCP, magas Nox (RER, CML2001, g etilén-Eq)	0,199	0,674	0,873	6,965
eutrofizáció, EP általános (GLO, CML2001, g PO <sub>4</sub> -Eq)	0,515	0,474	0,989	19,695
humán toxicitás, HTP végtelen (GLO, CML2001, kg 1,4-DCB-Eq)	0,194	0,488	0,683	7,088
édesvízi ökototoxicitás, FAETP végtelen (GLO, CML2001, kg 1,4-DCB-Eq)	0,039	0,053	0,092	1,331
tengeri ökototoxicitás, MAETP végtelen (GLO, CML2001, kg 1,4-DCB-Eq)	171,328	233,328	404,656	5878,416
szárazföldi ökototoxicitás, TAETP végtelen (GLO, CML2001, kg 1,4-DCB-Eq)	0,002	0,005	0,007	0,074
abiotikus erőforrások kimerülése, ADP (GLO, CML2001, kg antimon-eq)	0,004	0,034	0,038	0,158
földhasználat, verseny (GLO, CML2001, m <sup>2</sup> a)	1,473	0,010	1,483	49,823
ökoszisztéma minősége (RER; eco-indicator 99, (H,A); pont)	0,017	0,004	0,022	0,601
emberi egészség (RER; eco-indicator 99, (H,A); pont)	0,026	0,042	0,068	0,930
erőforrások használata (RER; eco-indicator 99, (H,A); pont)	0,027	0,216	0,243	0,960
eco-indicator-összes (RER; eco-indicator 99, (H,A); pont)	0,070	0,262	0,332	2,491

#### 4. Összegzés

**Az építéstervezés folyamatában az anyag és energiatakarékos épületek megjelenésével új tudományterületek jelentek meg.** Az esztétikai, statikai, épületszerkezettani, hőtechnikai, páratechnikai, akusztikai, tűzvédelmi igények mellett megjelent az **építésökológia és az építésbiológia** szempontja, tervezési igénye. Jelenleg ezen tudományterületek még nem részei a hétköznapi építészeti tervezésnek - ahogy az anyag és energiatakarékos épületek tervezése se általános követelmény. Várható azonban, hogy ezen tudományterületek fontosabb szerepet kapnak a jövő épületeinek tervezésében.

**Az építési anyagok előállításának energiaigénye, és káros anyag kibocsátása egyre fontosabbá válik.** Az egyre jobb minőségű épületekhez ugyanis egyre több anyagot építünk be, így azonos anyagok esetén a környezeti terhelés nő, ugyanakkor az üzemeltetési energiaigény és káros anyag kibocsátás a hőszigetelés miatt csökken, így arányában az a gyártás energiaigénye teljes életciklust figyelembe véve egyre fontosabb tényező lesz. Várható, hogy a termékfejlesztésben fokozottabban fog megjelenni a természeti erőforrások kímélésének, a káros anyag kibocsátás csökkentésének szempontja. Ezen fejlesztések egyik lehetséges útja a természetes illetve az újrahasznosított termékek fejlesztése.

Az anyagok, **szerkezetek teljes élettartamra vetített élettartam elemzése fontos módszer,** hogy alacsony emissziójú épületeket lehessen tervezni és megvalósítani. A szélesebb körű elterjedés **segítésére szükség van Magyarországon releváns és elérhető adatbázis publikálására.** A korábbi kutatási tapasztalatok alapján nem önálló adatbázis építése javasolható, hanem meglévő, nemzetközileg használt adatok „magyarítása”. Szükség van továbbá olyan **szoftver létrehozására és publikálására,** amely a magyar adatokat használva minél több szakembernek teszi lehetővé életfázist tekintő környezeti vizsgálatok elvégzését, hogy minél élénkebb és gyümölcsözőbb szakmai élet indulhasson meg ezen az új tudományterületen.

## 5. Felhasznált irodalom

- Ertsey (ed.): Az építési anyagok és szerkezetek energia-tartalmának vizsgálata, Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság 10-8101-T, Tanulmány, 1983.
- Mathis Wackernagel, William E. Rees: Ökológiai lábnyomunk Föld Napja Alapítvány 2001
- Medgyasszay Péter, Ertsey Attila, Dr. Osztrólczy Miklós: Energiagazdálkodás az épített környezetben (főiskolai jegyzet) Szent István Egyetem Ybl Miklós Műszaki Főiskolai Kar Épített Környezet Tanszék jegyzet, 2001. (96 pages)
- Medgyasszay Péter: "A földépítés optimalizált alkalmazási lehetőségei Magyarországon - különös tekintettel az építésökológia és az energiatudatos épülettervezés szempontjaira" (PhD disszertáció) Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2008
- Medgyasszay Péter: Fenntartható ház? Természetesen! In Régi-Új Magyar Építőművészet, Utóirat 2010/2
- Medgyasszay Péter: Work Activity of Cleaner Building Material Workgroup: 2th International Seminar on Environmentally Compatible Structural and Structural Materials, Prag 2001. pp. 20-24.
- Roland Hischier, Bo Weidema: Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods Data v2.2 (2010)
- Tiderenczl Gábor, Medgyasszay Péter, Szalay Zsuzsa, Zorkóczy Zoltán: "Épületszerkezetek építésökológiai és -biológiai értékelő rendszerének összeállítása az építési anyagok hazai gyártási/előállítási adatai alapján", Független Ökológiai Központ. OTKA T/F 046265 kutatási jelentés. 2006.