



Kutatási jelentés Összefoglaló

A magyar energiaszektor villamosenergia-termelésének életciklus-, és „carbon footprint” elemzése

2009.

Vezetői összefoglaló

A kutatásban felhasznált életciklus analízis módszere és a kitűzött feladat részletes módszerkutatást és alkalmazást, fejlesztést igényelt. A Green Capital és kutatási partnerei, a Paksi Atomerőmű Zrt. (Paks) és a modellfejlesztő KM-Projekt Kft. (Veszprém) tematikus életciklus analízisének és CO₂ footprint elemzésének célja az energiatermelési módozatok összehasonlító vizsgálata volt. Az analízis a szakmai információkon túlmenően alkalmas környezeti kommunikációs stratégiák szakmai alátámasztására is. Emellett a környezeti hatások a magyar energiamixre alapozott összehasonlító vizsgálatának eredményei döntéshozói támogatás céljára is alkalmasak lehetnek.

Az elemzések az egyes megújuló rendszerek kivételével a hazai adatok felhasználásával készültek. Tartalmazzák azokat az ismereteket és begyűjtött adatokat, amelyek az elmúlt évek során rendelkezésére álltak. A kutatás során kitértünk az egyes adatok bizonytalanságára is.

A kutatási munka során az alábbi feladatokat végeztük el:

1. Az életciklus analízis kutatás lehatárolása, adatgyűjtés
2. Életciklus analízis kutatás elvégzése
 - a. A módszertani elemzés elvégzése: az eredmények értelmezése, interpretáció; az EI '99 és a CML 2001 módszer leírása
 - b. Európai kitekintés: európai uniós energia adatseregek, az elemzések megbízhatósága; minőségbiztosítás
 - c. Atomerőművi termelés: az elemzések során 1 MJ energiát tekintünk az vizsgálat tárgyának. Az atomenergia használata során a nagy/közepes/alacsony aktivitású hulladék elhelyezésének problémakörét is beépítjük a vizsgált rendszerbe
 - d. Fosszilis energiahordozók: jellemzően szén (lignit/barna/fekete) – olaj – gáz-tüzelésű erőművek környezeti terhelését mutatjuk be, a hazai adatok alapján
 - e. Alternatív tüzelőanyagok: hulladékégető mű környezeti terhelése
 - f. Megújuló tüzelőanyag: fa, illetve mezőgazdasági hulladék bázison működő biomassza alapú rendszerek elemzése
 - g. Megújuló bázisok: vízenergia, szél, nap, geotermikus energiatermelés (jellemző hazai felhasználási adatok hiányában a nemzetközi gyakorlat, és azok eredményei kerülnek bemutatásra)
 - h. Gyengepont analízis: az egyes termelési rendszerek gyenge pontjainak összevetése
 - i. Összehasonlító analízis az EI '99 módszer szerint: az egyes hő-, és villamosenergia-termelési rendszerek összehasonlító életciklus elemzése
 - j. Összehasonlító analízis a CML módszer szerint: az egyes hő-, és villamosenergia-termelési rendszerek összehasonlító életciklus elemzése csak a CO₂ szempontjából
 - k. Környezetpolitikai elemzés: két kérdést tettünk fel: i.) az atomenergia és a megújuló energiaforrások használata a környezeti hatások tekintetében versenyképesek-e egymással; ii.) a fosszilis energiahordozók és a megújuló energiaforrások környezeti hatásai hogyan csoportosíthatóak és vethetők össze egymással.

Szükséges kiemelni, hogy ma Magyarországon jelenlegi formájában és összetételében a villamosenergia-termelés és fogyasztás hosszú távon nem fenntartható. Ennek okai elsősorban:

- az energiatartósság,
- a túl nagy fosszilis hányad (szintén energiatartósság),
- a jelentős környezeti hatás elsősorban a globális klímaváltozásra gyakorolt hatások miatt,
- a túl nagy energiatartósság.

Könnyen belátható, hogy az ország stratégiai érdeke, hogy a fenti problémákra a hazai energiamix figyelembevételével megkeresse a legköltségghatékonyabb és egyben a legkisebb környezeti hatással járó megoldást.

A kutatás célja a magyar energetikai szektor villamosenergia-termelésének életciklus elemzése volt, amely kitért az egyes technológiai rendszerek gyenge pontjainak környezeti szempontú feltárására, valamint a „carbon footprint” meghatározására, tehát a fenti négy problémakör közül kettőre. Fontos megjegyezni, hogy a teljes energiaszektor elemzése, a hőenergia-termelés és az energiatartósság rendszerek terhelése kapcsán eltér a jelentésben vázoltaktól.

Magyar energetikai szektor adatait több forrásból kellett beszerezni, erre hazai (aggregált ágazati, és vállalati), külföldi adatbázisokat (EU LCAPlatfom), hatástanulmányokat, fenntarthatósági jelentéseket és egyéb becslési algoritmusokat használtunk.

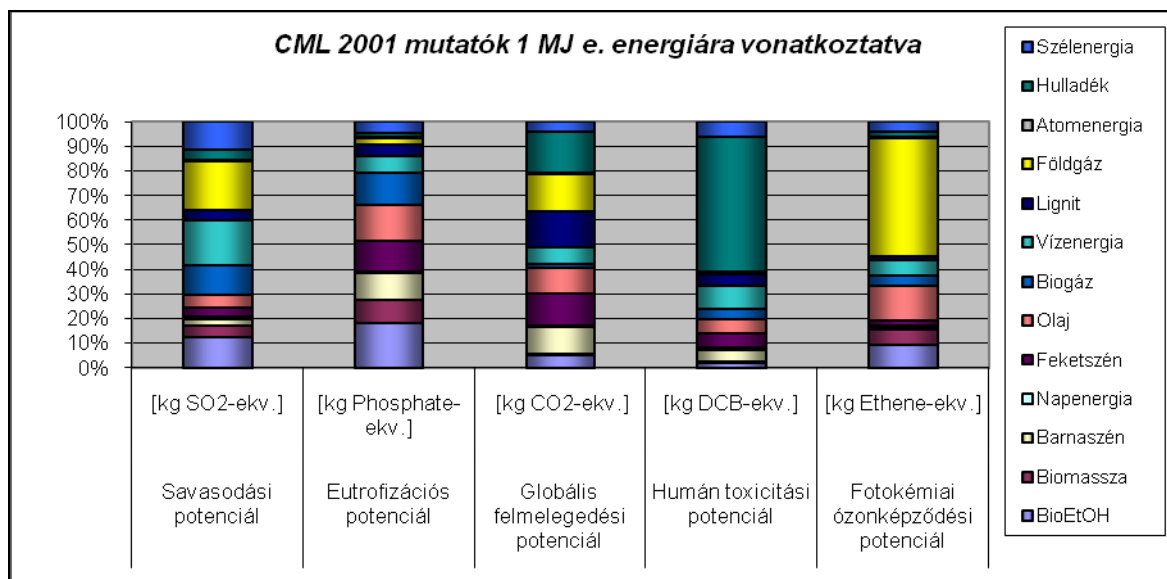
A rendszer magába foglalja a Magyarországon alkalmazott összes elektromosáram-termelési technológia LCA-modelljét, a fosszilis energiatartósságtól kezdve az atomenergia hasznosításán keresztül a megújuló forrásokat használókig. Hangsúlyozzuk, hogy az elemzés csak a villamosenergia-termelésre vonatkozik.

A kiértékeléshez a Leideni Egyetemen kifejlesztett EcoIndicator ‘99-es, és a CML 2001-es módszert használtuk. Az EI ‘99 az atomenergia értékelésénél bizonyult hatékonyabbnak, továbbá ezzel a mutatóval egy aggregált, dimenzió nélküli értékkel jellemezni lehet egy technológia környezeti teljesítményét. A CML 2001-es mutatók pedig egzaktul normálják az egyes emissziókat referencia anyagok mennyiségére, könnyen érthető mértékegységet szolgáltatva.

Az atomenergia felhasználásának elemzésekor nemcsak az energiatartósságot, hanem az erőmű építésével és felhagyásával, valamint a hulladékgazdálkodással kapcsolatos terheléseket is vizsgáltuk, külön-külön forgatókönyvként, a szokásos LCA-t kibővítve. A jelenleg érzékeny problémakörre, a radioaktív hulladékok tárolásának, szállításának, végleges elhelyezésének kérdéskörére hamarosan új válaszokat kapunk. Az atomerőművi hulladékok (elsősorban a kiégett fűtőelemek vonatkozásában) szükséges megjegyezni, hogy a nemzetközi trendek szerint középtávon a kutatás-fejlesztési előrejelzések a nagy aktivitású kiégett fűtőelemek újrahasonosítását vetítik előre új generációs reaktorokban való felhasználás céljára. Ennek alapján azt prognosztizáljuk, hogy a radioaktív hulladék szállításának és átmeneti/végleges tárolásának kérdéskörét hamarosan újra kell értékelni, mind gazdaságossági, mind technológiai és környezetvédelmi szempontból.

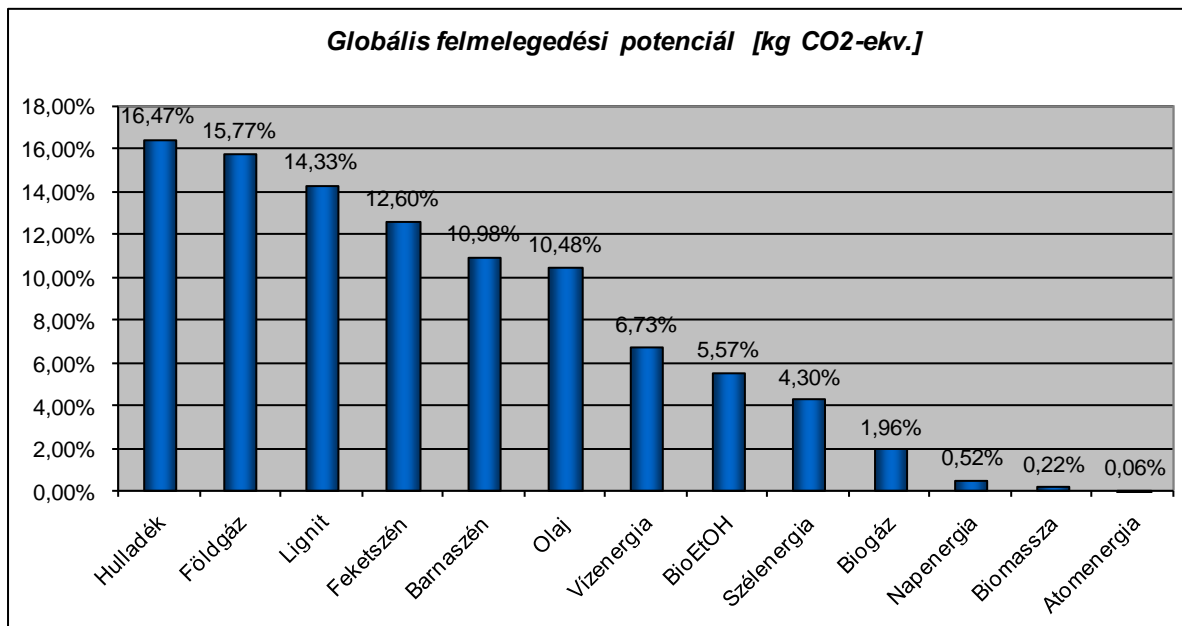
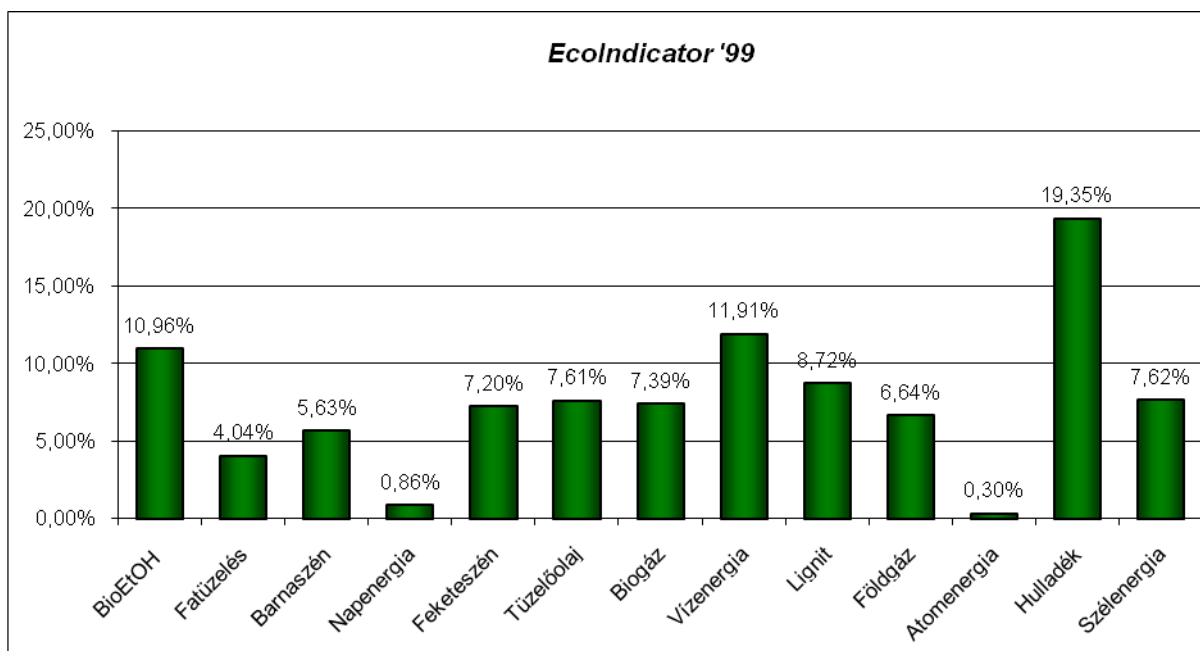
Összegzés a magyar energiamix vonatkozásában:

A hazai villamosenergia-termelés vizsgálatát úgy végeztük el, hogy minden termelési mód felhasználásával 1MJ kiadott energiát készítettünk, amelyből egy mix segítségével azonosítottuk az egyes terhelések nagyságát. Az eredményt a következő ábra szemlélteti. Az ábráról leolvasható az egyes termelési módok egymáshoz viszonyított terhelése az adott potenciál esetében.



A fenti ábráról leolvasható, hogy az atomenergia felhasználása villamosenergia-termelésre minden vizsgálati szempont szerint a legkedvezőbb, vagy a legkedvezőbbek között van (második), hasonlóan néhány Magyarországon is gazdaságosan elérhető megújuló energia forrásához, mint a biomassza vagy a napenergia.

A kutatási eredményeket reprezentáló ábrákról összességében leolvasható a vizsgált szempontok szerint a hazai energiastruktúra ideális összetétele (minél kisebbek az oszlopok annál kedvezőbbek a környezeti hatások):



Minden vizsgálati szempontot összegezve látható, hogy a legkedvezőbb az atomenergia, a biomassza és a napenergia.

Tartalomjegyzék

VEZETŐI ÖSSZEFOGLALÓ.....	2
1 AZ ELEMZÉS MÓDSZERTANA	10
1.1 AZ ÉLETCIKLUS ELEMZÉS FOGALMA, FONTOSABB DEFINÍCIÓK.....	10
1.2 A KIALAKÍTOTT TECHNOLÓGIAI UTASÍTÁS	12
1.3 AZ ALKALMAZOTT KIÉRTÉKELÉSI MÓDSZEREK	13
1.3.1 ECOINDICATOR ‘99.....	13
1.3.2 CML 2001-ES INDIKÁTORCSOPORT.....	16
2 CÉLOK, FUNKCIONÁLIS EGYSÉG, RENDSZERHATÁROK MEGHATÁROZÁSA	17
2.1 CÉLOK, FUNKCIONÁLIS EGYSÉG, RENDSZERHATÁROK.....	18
2.1.1 CÉLOK MEGHATÁROZÁSA	18
2.1.2 A FUNKCIONÁLIS EGYSÉG	19
2.1.3 A RENDSZERHATÁR	19
2.1.4 ÉLETCIKLUS-LELTÁR ÉS ANALÍZIS	20
2.1.5 RENDELKEZÉSRE ÁLLÓ ADATOK	22
2.2 EGYESÍTETT ADATSREG	23
2.3 LELTÁRANALÍZIS KÉSZÍTÉSE	23
3 AZ ELEMZÉS.....	23
4 AZ EREDMÉNYEK BEMUTATÁSA.....	24
5 VILLAMOSENERGIA-TERMELÉS ATOMENERGIÁBÓL	25
5.1 AZ ELEMZÉS LÉPÉSEI.....	26
5.1.1 A RENDSZERHATÁROK	26
5.1.2 A LELTÁR.....	34
5.1.3 AZ ELEMZÉSEK EREDMÉNYEI	35
5.2 A KITERJESZTETT ELEMZÉS.....	40
5.2.1 A RENDSZERHATÁROK	40
5.2.2 A NÉGY FORGATÓKÖNYV LELTÁRANALÍZISE	42
5.2.3 A MÁSODIK, HARMADIK ÉS NEGYEDIK (PLUSZ 1) FORGATÓKÖNYV EREDMÉNYEI.....	45
FOSSZILIS ENERGIAHORDOZÓK - LIGNIT	60

6.1	AZ ELEMZÉS LÉPÉSEI.....	60
6.1.1	A RENDSZERHATÁROK	60
6.1.2	A LETLÁR.....	61
6.1.3	AZ ELEMZÉSEK EREDMÉNYEI	62
<u>FOSSZILIS ENERGIAHORDOZÓK - BARNASZÉN.....</u>		<u>67</u>
6.2	AZ ELEMZÉS LÉPÉSEI.....	67
6.2.1	A RENDSZERHATÁROK	67
6.2.2	A LETLÁR.....	68
6.2.3	AZ ELEMZÉSEK EREDMÉNYEI	70
<u>FOSSZILIS ENERGIAHORDOZÓK - FEKETESZÉN.....</u>		<u>74</u>
6.3	AZ ELEMZÉS LÉPÉSEI.....	74
6.3.1	A RENDSZERHATÁROK	74
6.3.2	A LETLÁR.....	75
6.3.3	AZ ELEMZÉSEK EREDMÉNYEI	76
<u>FOSSZILIS ENERGIAHORDOZÓK – FÖLDGÁZ</u>		<u>81</u>
6.4	AZ ELEMZÉS LÉPÉSEI.....	81
6.4.1	A RENDSZERHATÁROK	81
6.4.2	A LETLÁR.....	82
6.4.3	AZ ELEMZÉSEK EREDMÉNYEI	83
<u>FOSSZILIS ENERGIAHORDOZÓK – OLAJ.....</u>		<u>88</u>
6.5	AZ ELEMZÉS LÉPÉSEI.....	88
6.5.1	A RENDSZERHATÁROK	88
6.5.2	A LETLÁR.....	89
6.5.3	AZ ELEMZÉSEK EREDMÉNYEI	91
<u>ALTERNATÍV ENERGIAFORRÁSOK - HULLADÉK.....</u>		<u>95</u>
6.6	AZ ELEMZÉS LÉPÉSEI.....	95
6.6.1	A RENDSZERHATÁROK	95
6.6.2	A LETLÁR.....	96
6.6.3	AZ ELEMZÉSEK EREDMÉNYEI	97

MEGÚJULÓ ENERGIAHORDOZÓK – FATÜZELÉS.....101

6.7 AZ ELEMZÉS LÉPÉSEI..... 101

6.7.1 A RENDSZERHATÁROK 101

6.7.2 A LETTÁR..... 102

6.7.3 AZ ELEMZÉSEK EREDMÉNYEI 103

MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK – BIOGÁZ108

6.8 AZ ELEMZÉS LÉPÉSEI..... 108

6.8.1 A RENDSZERHATÁROK 108

6.8.2 A LETTÁR..... 110

6.8.3 AZ ELEMZÉSEK EREDMÉNYEI 111

MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK – BIOETANOL115

6.9 AZ ELEMZÉS LÉPÉSEI..... 115

6.9.1 A RENDSZERHATÁROK 115

6.9.2 A LETTÁR..... 116

6.9.3 AZ ELEMZÉSEK EREDMÉNYEI 117

MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK – VÍZENERGIA122

6.10 AZ ELEMZÉS LÉPÉSEI..... 122

6.10.1 A RENDSZERHATÁROK 122

6.10.2 A LETTÁR..... 123

6.10.3 AZ ELEMZÉSEK EREDMÉNYEI 124

MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK – SZÉLENERGIA.....128

6.11 AZ ELEMZÉS LÉPÉSEI..... 128

6.11.1 A RENDSZERHATÁROK 128

6.11.2 A LETTÁR..... 129

6.11.3 AZ ELEMZÉSEK EREDMÉNYEI 130

MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK – NAPENERGIA133

6.12 AZ ELEMZÉS LÉPÉSEI..... 133

6.12.1 A RENDSZERHATÁROK 133

6.12.2 A LETTÁR..... 135

6.12.3	AZ ELEMZÉSEK EREDMÉNYEI	136
--------	-------------------------------	-----

GYENGEPOINT ANALÍZIS A MAGYAR ENERGIAMIX ALAPJÁN.....139

6.13	AZ ANALÍZIS CÉLJA.....	139
------	------------------------	-----

6.14	AZ ANALÍZIS EREDMÉNYEI.....	140
------	-----------------------------	-----

6.15	INDIKÁTOROK SZERINTI RENDEZÉS.....	152
------	------------------------------------	-----

6.16	AZ EREDMÉNYEK ÉRTELMEZÉSE.....	154
------	--------------------------------	-----

ÖSSZEHASONLÍTÓ ANALÍZIS A MAGYAR ENERGIAMIX ALAPJÁN (A VIZSGÁLAT ÖSSZEFOGLALÁSA).....156

6.17	AZ ELEMZÉS CÉLJA.....	157
------	-----------------------	-----

6.18	AZ ELEMZÉSEK EREDMÉNYEI	157
------	-------------------------------	-----

6.18.1	SAVASODÁS POTENCIÁL (AP)	159
--------	--------------------------------	-----

6.18.2	EUTROFIZÁCIÓS POTENCIÁL (EP).....	160
--------	-----------------------------------	-----

6.18.3	HUMÁN TOXICITÁSI POTENCIÁL (HTP)	161
--------	--	-----

6.18.4	FOTOKÉMIAI ÓZONKÉPZŐDÉSI POTENCIÁL (POCP)	162
--------	---	-----

6.18.5	GLOBALIS FELMELEGEDÉS (GWP).....	163
--------	----------------------------------	-----

6.18.6	INTERPRETÁCIÓ	164
--------	---------------------	-----

1 Az elemzés módszertana

Az életciklus elemzés egy termék, folyamat vagy szolgáltatás életútja során vizsgálja a környezeti szempontokat és a potenciális hatásokat. Egy termék életútjának nevezzük a szükséges nyersanyag bányászattól és előkészítéstől a termék gyártásán keresztül a termék használatáig és a használat után keletkező hulladék elhelyezéséig terjedő szakaszt. A környezeti hatásoknál figyelembe kell venni a források felhasználását, az emberi egészséget és az ökoszisztéma állapotát.

Az életciklus elemzés tárgya általában olyan termék, folyamat vagy szolgáltatás, amelynél választási lehetőségünk van az azonos funkciójú, de a környezetre eltérő mértékben ható rendszerek közt. Az életciklus elemzés fogalma napjainkban kezd a hazai környezetvédelem szakszótárának részévé válni. Ahhoz tehát, hogy hasznos eszközzé váljon, meg kell ismernünk pontos jelentését, és a kialakulásához vezető utat.

1.1 Az életciklus elemzés fogalma, fontosabb definíciók

Életciklus: (MSZ ISO 14040, 1997)

„Egy termék hatásrendszerének egymás után következő, egymáshoz kapcsolódó szakaszai, a nyersanyag beszerzéstől vagy a természeti erőforrás keletkezésétől az újrahasznosításig vagy az ártalmatlanításig.”

Életciklus elemzés: (MSZ ISO 14040, 1997) „Egy termék hatásrendszeréhez tartozó bemenet, kimenet és a potenciális környezeti hatások összegyűjtése és értékelése annak teljes életciklusa során.”

Az elemzés során a következő fogalmakat kell biztosan kezelnünk:

- *környezeti tényező* - egy tevékenység, termék vagy szolgáltatás azon része, amely kapcsolatban áll a környezettel.
- *funkcióegység* - egy termékrendszer mennyiségi megjelenése, amely referencia egységként szolgál a tanulmányban.
- *életciklus* - a termékrendszer összekapcsolt lépései, a nyersanyag bányászattól vagy a természeti erőforrások előállításától a végső hulladék-elhelyezésig.
- *életciklus-értékelés* - termékrendszer életciklusa alatti inputok, outputok és a potenciális környezeti hatások összegyűjtése és értékelése.
- *életciklus hatásbecslés* - életciklus-becslés azon szakasza, mely a termékrendszer potenciális környezeti hatásainak jelentőségét és nagyságát értelmezi és értékeli.
- *életciklus értelmezés* - az életciklus-becslés azon fázisa, melyben a leltár analízist és/vagy a hatásbecslést összevetik a cél és a hatásterület meghatározásával a célból, hogy következtetéseket vonjanak le és ajánlásokat tegyenek.
- *életciklus leltár analízis* - az életciklus elemzés azon része, melyben az adott termékrendszer életciklusa alatti inputok és outputok összegyűjtése és mennyiségi meghatározása történik.
- *termékrendszer* - anyagilag és energetikailag összefüggő folyamat egységek gyűjteménye, melyek egy vagy több meghatározott funkcióval rendelkeznek.

- *rendszerhatár* - termékrendszer és a környezete közti kapcsolat.
- *folyamat egység* - termékrendszer legkisebb része, amelyben adatgyűjtés folyik az elemzéshez.

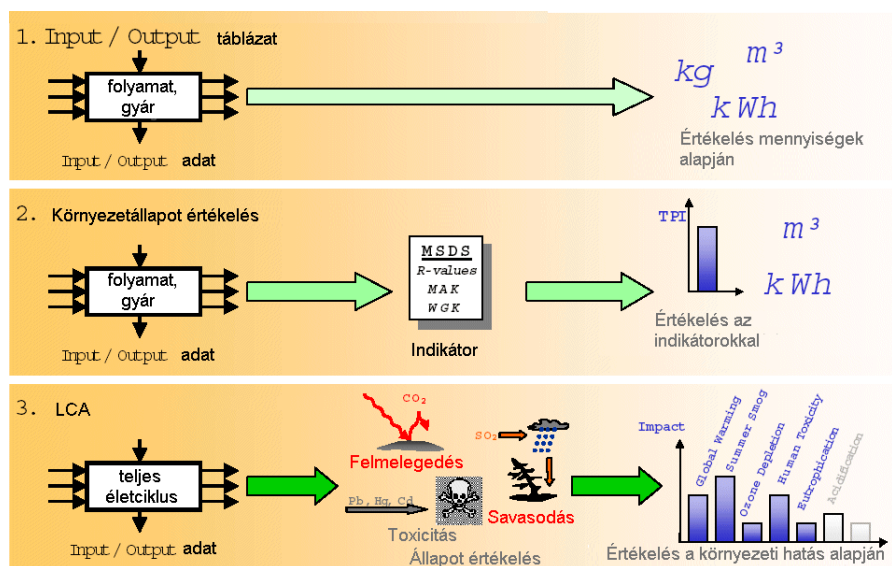
Az életciklus elemzés egy termékkel vagy egy folyamattal kapcsolatos környezeti terhek értékelésének a folyamata. A módszer felismeri, hogy a termékek, folyamatok és szolgáltatások minden egyes életciklus lépcsője környezeti és gazdasági hatásokkal jár.

A **Gabi 4** program a terméket és annak komponenseit adatsorok formájában írja le. Ez tartalmazza a termék vagy komponens nevét, alapanyagait, a különböző gyártási folyamatokat, az energia előállítását és a szállítást, az ezek során felszabaduló emissziókat, a hulladékkezelés, hulladék elhelyezés folyamatait. A program adatbázisa két fő részből tevődik össze, úgymint a leltár adatbázisból és egy becslési adatbázisból. Mindkettő adatsorokat tartalmaz és a felhasználó igényei szerint bővíthető is.

A szoftver az adatokat hatás táblázatban foglalja össze, amelyben az anyagokhoz és folyamatokhoz kapcsolódó alapanyagok és emissziók találhatók. A táblázatban szereplő adatok környezeti hatásban játszott szerepe a program értékelési módszereivel kapható meg, mint amilyenek az ökopont módszerek, az un. **CML2001** módszer és az ökoindikátor 95/99 (**EI '95; EI '99**) módszer.

Alkalmazása során lehetőség van globális, európai uniós, OECD, vagy országspecifikus jellemzők vizsgálatára is. Az elemzések során az ökoindikátor módszer jellemző csoportjai szerinti eredményszűkítésre is van lehetőség, amely az egyes elemzések kommunikációs hasznosítását jelenti. Ilyen például az üvegházhatású gázok kibocsátására történő szűkítés (esetünkben a „carbon footprint”).

Az LCA hatásbecslési fázisa értékeli a potenciális környezeti hatások jelentőségét felhasználva ehhez a leltár analízis eredményeit. A részletesség, az értékelt hatások kiválasztása és a felhasznált módszerek a tanulmány cél- és hatásterületének meghatározásától függ.

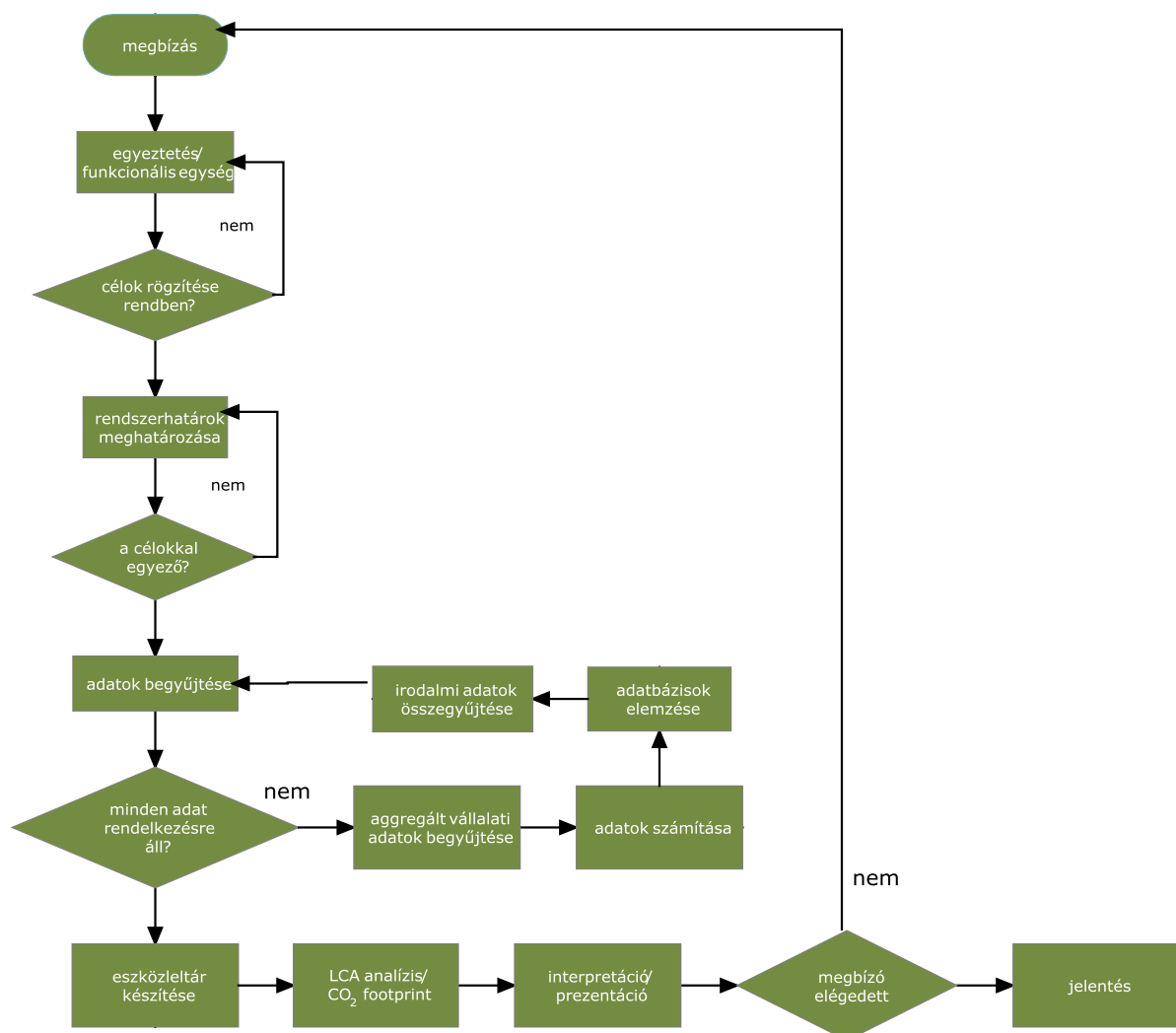


1. ábra Az elemzés mélységei

A hatásbecslés az életciklus elemzés harmadik fázisa, melynek témái:

- hatáskategóriák meghatározása,
- osztályozás: a leltár adatok hozzárendelése a hatáskategóriákhoz,
- jellemzés: leltár adatainak modellezése a hatáskategórián belül,
- értékelés/súlyozás: az eredmények relatív fontosságának megállapítása.

1.2 A kialakított technológiai utasítás



2. ábra Technológia lépések a gyártási folyamat környezeti terhelésének megállapítására

1.3 Az alkalmazott kiértékelési módszerek

Az energetikai rendszer kiértékeléséhez, az EcoIndicator '99 és CML 2001-es módszer indikátorait használjuk.

1.3.1 Ecoindicator '99

Az új módszer megalkotását a Holland Lakásügyi, Területfejlesztési és Környezetvédelmi Minisztérium (VROM) az integrált termékpolitika érdekében rendelte meg. A cél az Ökoindikátor'95 értékeinek napra készvé tétele volt. Ezeket az indikátor értékeket számos cég megannyi tervezője széles körben alkalmazza. Az indikátor módszert elsősorban termékfejlesztési felhasználásokra szánták.

Az életciklus-hatáselemzés (LCIA) legvitásabb lépése a súlyozás. Ezt szem előtt tartva fejlesztették tovább az ökoindikátor metodológiáját. A súlyozási lépés volt a kiindulópont. Innen fejlesztették ki a károk modelljét a legfontosabb hatáskategóriákra.

A súlyozási lépéssel szemben két fontos követelmény merül fel, ha táblát használunk:

- A súlyozandó dolgok számának a lehető legalacsonyabbnak kell lennie. A legtöbb LCIA-nél tíz vagy még több dolgot kívánunk a táblával súlyozni; ami nyilvánvalóan túl magas szám.
- A súlyozás tárgya könnyen leírható kell, hogy legyen a tábla számára. A legtöbb LCIA-módszerben a táblának inkább elvont hatáskategóriákat kell súlyoznia és így nehéz értelemmel bíró elemzést adni.

Ezek a követelmények arra a konklúzióra vezettek, hogy a táblának csupán az alábbi háromféle környezeti kárt kell súlyoznia (végpontok):

- Emberi egészség
- Ökoszisztéma minősége
- Erőforrások

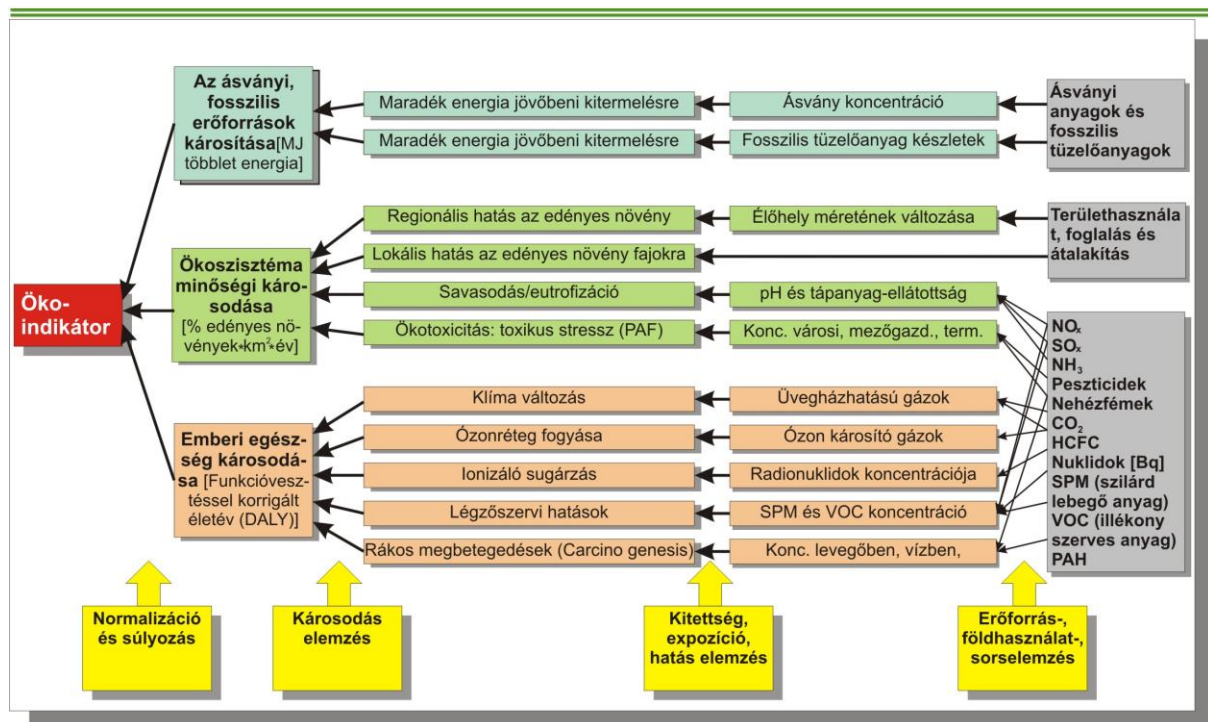
A három fogalom nem teljesen egyértelmű; a módszertan felépítéséhez szükséges annak ismertetése, leírása, hogy az egyes fogalmak mit takarnak .

- Az „Emberi egészség” magában foglalja azt az eszmét, hogy minden emberi lény – a jelenben és jövőben – mentesüljön a környezet által közvetített betegségektől, fogyatékosságoktól és idő előtti elhalálozástól.
- Az „ökoszisztéma minőség” magában foglalja az eszmét, hogy a nem-humán fajok populáció és földrajzi eloszlása ne szenvedjen el degradáló változást.
- Az „erőforrások” magukban foglalják azt az eszmét, hogy a természet élettelen vagyontárgyai, melyek az emberi társadalom számára nélkülözhetetlenek, elérhetőek legyenek a jövő generációk számára is.

A következő károsodási modelleket alkották a leltáredmények és a károsodási kategóriák közti kapcsolat létesítésére:

- Az emberi egészség károsodását a Funkcióvesztéssel Korrigált Életevekkel (DALY: Disability-Adjusted Life Years) adják meg. Készültek modellek a légúti és karcinogén hatásokhoz, az ózonréteg elvékonyodás, ionizáló sugárzás és klímaváltozás hatásaira. Ezekhez a humán egészségügyi modellekhez négy részlépést alkalmaznak:
 - Sorselemzés, egy kibocsátás (tömeggel kifejezve) és a koncentráció időszakos megváltozása közti kapcsolat megteremtése.
 - Expozícióelemzés, az időszakos koncentráció és a dózis kapcsolata.
 - Hatáselemzés, a dózis és az egészségügyi hatások, mint a rákos megbetegedések típusai és száma közti összefüggés felírása.
 - A kárelemzés összekapcsolja az egészségügyi hatásokat a DALY adatokkal, becsléseket használva a funkcióvesztéssel (munkaképtelenül) leélt évek és az elvesztett életevek meghatározására.
- Az ökoszisztéma minőségének károsodása a környezetterhelés hatására adott területről eltűnt fajok mennyisége százalékban kifejezve. Ez a definíció nem olyan homogén, mint az emberi egészség esetén:
 - Az ökotoxicitás az összes faj azon százalékos aránya, mely fajok toxikus stressz (PAF) alatt élnek. Mivel ez nem egy megfigyelhető károsodás, egy durva konverziós tényező alkalmazásával számítható a toxikus stressz és a valódi, megfigyelhető károsodás összefüggése.
 - A savasodást és eutrofizációt egy önálló hatáskategóriaként kezeljük. Itt a célfajok (edényes növények) károsodását modellezik a természetben.
 - A tájhasználat és -formálás az edényes növények előfordulása és a földhasználati kategória, terület nagyság empirikus összefüggésén alapszik. Mind az elfoglalt, átalakított területen bekövetkező helyi, mind pedig az ökoszisztéma regionális károsodását számításba veszik.
- Az erőforrások kitermelését egy olyan paraméterrel kapcsoljuk össze, mely a megmaradó ásványi és fosszilis erőforrások minőségét jelöli. Az erőforrások kitermelése mindkét esetben megnövekedett energiaigényt eredményez a későbbi kitermelés során.

A következő ábrán a különböző folyamatok és (rész)eredmények láthatók. Tisztán elkülönülnek a részeredmények az eljárásoktól (sárga mezők), melyek az egyes eredményekhez vezetnek.



3. ábra A metodológia általános ábrázolása; az alsó sárga dobozok az eljárásokat, a felső színesek pedig a részeredményeket jelölik

Korlátozó feltételezés, hogy elvileg minden kibocsátás és területhasználat Európában jelentkezik, és hogy minden hozzájuk tartozó kár is Európában következik be. Kivételt ezalól az erőforrások károsodása és a klímaváltozás eredményezte károk – ózonréteg vékonyodás, maradandó karcinogén vegyületek légköri emissziói, hosszú tartózkodási idejű szervesetlen légszennyezők és néhány radioaktív anyag - képeznek.

Kétféle bizonytalanságot kell megkülönböztetni:

1. Adatbizonytalanságok; ez a mérési és becslési tényezők technikai problémáira vonatkozik
2. Modellbizonytalanságok; ez a modell pontos kialakításának bizonytalanságaira vonatkozik.

Az adatbizonytalanságok nem fejezhetőek ki egy tartománnyal; egy modellfeltételezés vagy korrekt, vagy nem. Ahhoz hogy ezeket a bizonytalanságok kezelhetők legyenek, egy úgynevezett Kulturális Elmélet rendszert alkalmaztunk, a kármodellek három fajtájának elkülönítése érdekében. Ennek a három fajtának az egyszerűsített jellemzése a következő:

E (Egyenlőségre törekvő, Kiegyenlítő – *Egalitarian*): Távlati kilátás: akár egy minimális tudományos bizonyíték indokolja a figyelembevételt.

I (Individualista: *Individualist*): Rövid távú kilátás: csak bizonyított hatásokat foglal magában.

H (Hierarchikus: *Hierarchist*): Kiegyensúlyozott idejű kilátás: tudományos konszenzus határozza meg a hatás figyelembevételét.

A H (Hierarchikus) az alapértelmezettnek választott fajta, míg a többi használható statisztikai szilárdság elemzéshez (*robustness analysis*).

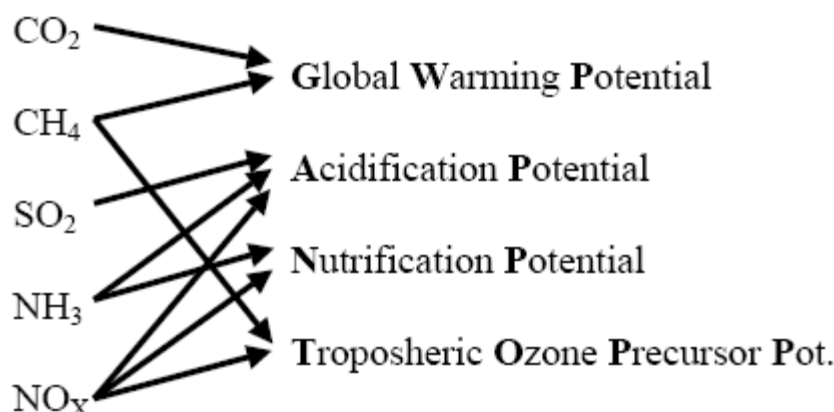
A súlyozási folyamat egy a svájci LCA érdekeltségű csoport által írt panellel történik. Az eredmények alapként használhatóak, de nem szabad őket reprezentatívnak tekinteni az átlag európaira. A súlyozási lépés egy új alternatív megközelítéssel – súlyozási háromszög – kihagyható.

A módszer gyakorlati célja az egyetlen érték kiszámítása. Az ilyen indikátorértékeket mindig belső használatra kell alkalmazni, és nem alkalmasak nyilvános összehasonlításra, marketing célokra és ökocimkézésre, mivel a szükséges áttekinthetőség hiányzik belőlük.

Mindig szükséges hangsúlyozni a korlátok, bizonytalanságok, feltételezések és becslések dokumentálásának fontosságát egyetlen érték megadása során. Ez különösen fontos, ha az egyetlen értéket nem szakembereknek szánt szoftveres termékeknel használjuk. Összeállításra került egy gyakorlati ajánlás a szoftver terjesztők számára is, itt leírják, hogyan mutathatóak be a tervezők számára a módszer jellemzői és korlátai.

1.3.2 CML 2001-es indikátorcsoport

A CML módszert 1992-ben fejlesztették ki a Leideni Egyetem Környezettudományi Központjában (Heijungs, 1992). A CML a leltár analízisének eredményeit összegzi közepes eloszlású hatáskategóriákban. A környezeti hatásokat több hatáskategóriára osztották fel. Az így keletkező környezeti mutatók egy mutatóvá aggregálhatók. Ezek a pontok meghatározzák a vizsgált termék, vagy folyamat környezeti profilját.



4. ábra Osztályozás a CML módszerben

Az EcoIndicator '95-öt, és az arra épülő EI '99 módszert erre a CML módszerre alapozva fejlesztették ki. A különbség annyi, hogy az EcoIndicator módszere kevesebb hatáskategóriát tartalmaz. További újítás, hogy az EcoIndicator-ban használt mértékegységeket felváltotta a különböző vegyületekre vonatkoztatott ekvivalencia egység. Például a globális felmelegedés mértékegysége az EI '99-ben DALY, egyszerűbben az aktív életszakasz években mért csökkenését jelenti, ami a CML2001-es módszer esetében már kg CO₂ ekvivalencia, azaz adott mennyiségű szén-dioxid hatásával azonos. Ez hasznosabb egység, mivel a széndioxid globális felmelegedésben, vagy a dikloro-bifenilek emberi toxicitásában mutatott hatása mélyebben vizsgált és kutatott, mint egy adott vegyület emberi aktív életidőt csökkentő hatása. Ez jobban elfogadott, bár egyes anyagok konvertálása a referencia-anyagok mennyiségévé, sőt maga a referencia-anyagok hatása is vitatott egyes körökben.

A CML-ben lehetséges a hatáskategóriákat globális, regionális és helyi hatásokra osztani. A globális:

- globális felmelegedési potenciál
- nyersanyaglelőhelyek kimerülése

Regionális:

- savasodási potenciál
- területhasználat

Helyi hatások:

- eutrofizációs potenciál
- fotokémiai ózonképző potenciál
- humán toxicitási potenciál

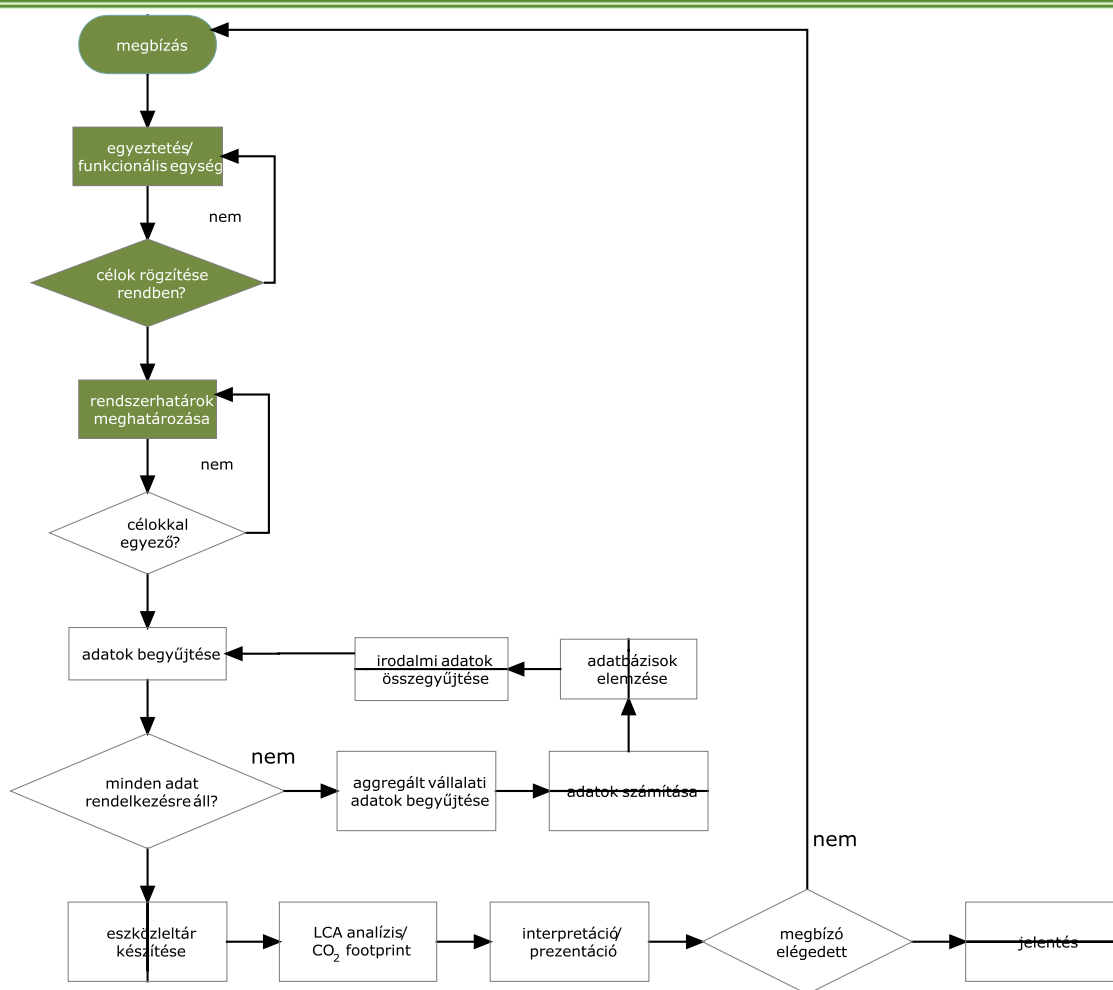
Az előbb felsorolt és bemutatott az Eco Indicator '99 3 kategóriájába tartozó indikátorokat, aggregált indikátort, valamint a CML GWP, global warming potential mutatóját alkalmazzuk.

2 Célok, funkcionális egység, rendszerhatárok meghatározása

A cél és hatásterület megadása az életciklus elemzés első fázisa. Az elemzés elvégzésénél fontos, hogy a célt és hatásterületet világosan fogalmazzuk meg, azok a felhasználással összhangban legyenek, és azt konkrétan meghatározzák. A cél és a hatásterület megadja az eredmény jövőbeni használatosságát és az eredmény felhasználói körét.

A kívánt felhasználás lehet, pl.: két vagy több termék elemzése marketing- vagy szabályozási célból, meglévő termék fejlesztésének lehetőségei, vagy új termék tervezése és innovációja, egy termék életciklusában területek, lépcsők meghatározása, ahol az ökocímke kritériumai használhatók.

A célok meghatározása igen összetett, iteratív folyamat, amelyet mindig több lépésben, lehetőleg csapatmunkában kell elvégezni. Fel kell tárni az összes olyan lehetséges tényezőt, amely a valódi célhoz vezet az elemzőt. Blokkoló hatás lehet a megfogalmazó prekonceptiója, ezért különösen ügyelni kell arra, hogy elkerüljük azokat a tényezőket, amelyek nem teszik lehetővé a szubjektumok kiküszöbölését. A célok minden esetben az objektivitást kell, hogy szolgálják.



5. ábra Az 1. lépés

2.1 Célok, funkcionális egység, rendszerhatárok

2.1.1 Célok meghatározása

Az elemzés célja a Magyarországon villamosenergia-termelésére használt módszerek összehasonlítása. A termék környezeti teljesítményét „környezetindikátorok”, és „carbon footprint” segítségével adjuk meg. Az elemzés során több módszerrel meghatározzuk a termék ökopontját, kiterjesztve ezzel a későbbi összehasonlítási lehetőséget. Az elemzések rendre az:

- EcoIndicator ‘99
- CML 2001 módszerek szerint készültek el.

A termék „carbon footprint”-jét a CML 2001 (100_yGWP) módszer alapján fogjuk megadni.

2.1.2 A funkcionális egység

A szabvány szerint (MSZ ISO 14040, 1997) *funkcionális egység* az egy termékrendszer mennyiségi megjelenése, amely referencia egységként szolgál a tanulmányban. Rendkívül fontos megjegyezni, hogy minden esetben a lehető legpontosabban kell rögzíteni a vizsgálat tárgyát. ***Vizsgálatunk esetében ez az egység 1 MJ kiadott elektromos áram. Tehát az elemzés indikátorértékei erre az egységre vonatkoznak majd.***

Ez félig már lefedi a rendszerhatárunkat. Azaz az elemzés az üzemanyag kitermelésétől egészen annak átalakításáig tart, ahol a végtermék a funkcionális egységünk lesz. A megújuló energiáknál, mint a szél, vagy a nap, az eszköz élettartalmát és a gyártásához szükséges anyagokat, emissziókat vettük figyelembe. Ezt részletesebben A rendszerhatárok c. fejezet tárgyalja.

2.1.3 A rendszerhatár

Az életciklus elemzés pontosan megfogalmazza az adott rendszerhatárait. A rendszerhatárokat olyan faktorok határozzák meg, mint a tanulmány használata, a feltételezések, a kritériumok, az adat és költség korlátok és a célközönség. A rendszerhatárok meghatározása szubjektív művelet.

A rendszerhatárokat mindig az elérendő célok függvényében kell felrajzolni, és ügyelni kell arra, hogy különböző rendszereket összehasonlító tanulmányoknál a rendszerek ekvivalenciáját az eredmények értelmezése előtt értékelni kell. Ahhoz, hogy a rendszerek összehasonlíthatók legyenek, azonos funkcionális egységgel, ekvivalens módszerekkel (rendszerhatárok, adatminőség, hatásbecslés értékelése) kell rendelkezniük.

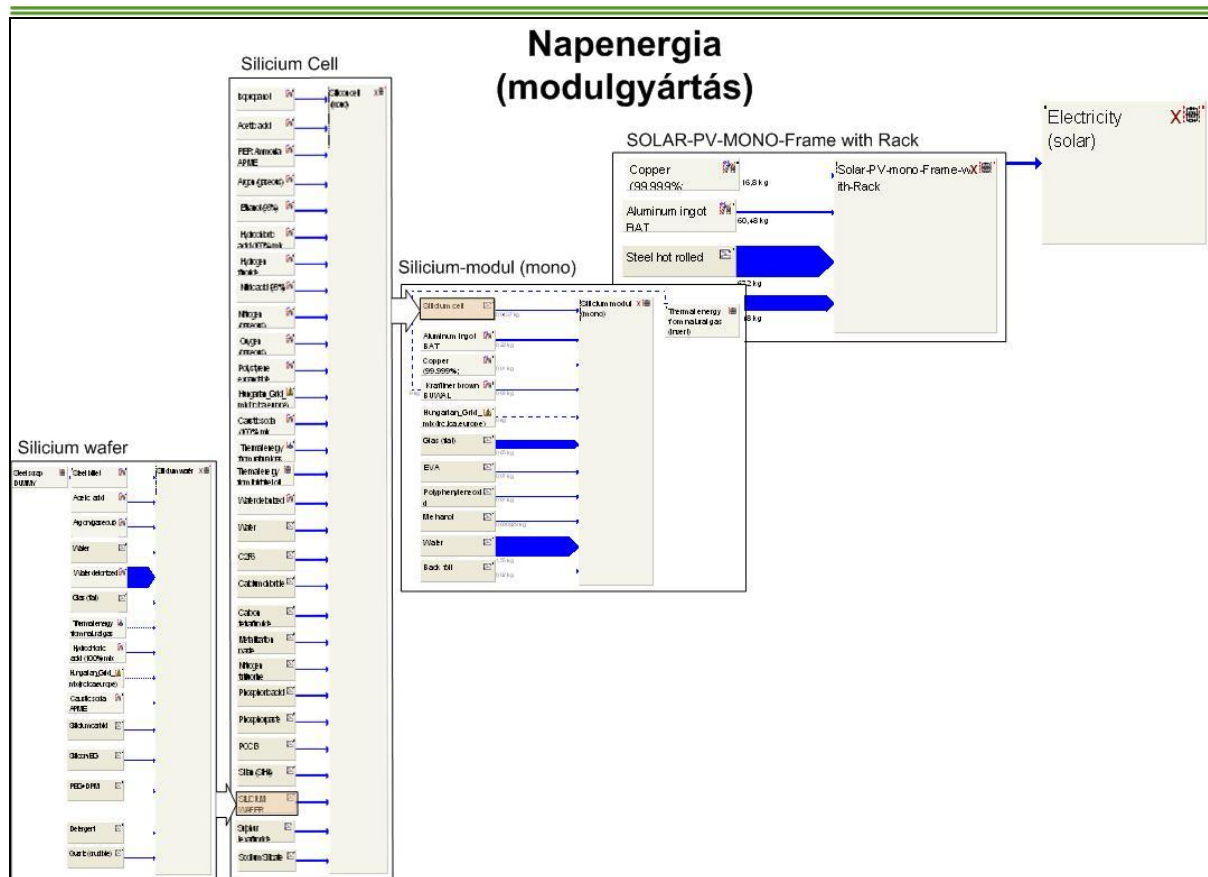
A rendszerhatárok megváltoztatásánál minden olyan lépést figyelembe kell venni, be kell építeni, amely a teljes elemzésre vagy annak felhasználhatóságára hatással van. Általánosságban csak akkor hagyhatunk el folyamatokat az elemzésből, ha a különböző alternatívákban ugyanazon anyagokat és mennyiségeket ugyanazon módszerekkel dolgozzák fel.

A rendszerbe belépő anyag/energiaáramok minden esetben tartalmazzák az egyes áramok önálló környezeti terhelését a felhasznált mennyiségek függvényében. A rendszerhatár sajátossága, hogy a vizsgálat a termék jellemzőjéből adódóan kiterjed minden más anyagra is, amelyek a termelésben részt vesznek, ilyen például a fosszilis energiatermelésnél használt mészkő, vagy akár maga az üzemanyag.

A rendszerhatárokat úgy alakítottuk ki, hogy az egyes alternatívák vizsgálata esetén a keletkezett hulladékok hasznosítását vizsgálni tudjuk, de alapértelmezett változatban a hulladékhasznosítás nem része az általunk definiált rendszerhatárnak.

A kiválasztott rendszerhatár alkalmazható

- a technológiai folyamat részletes elemzésére,
- a környezeti benchmarking végrehajtására,
- a környezeti elszámolások, ún. „Green accounting” megalapozására.



6. ábra Példa a rendszerhatár ábrázolására

2.1.4 Életciklus-leltár és analízis

A célok és a tervezett felhasználás definiálása után a rendszer már meghatározottnak tekinthető. A rendszeren valójában azokat a tevékenységeket értjük, amelyek bizonyos jól értelmezhető folyamatokat hajtanak végre (például termelnek, vagy fogyasztanak).

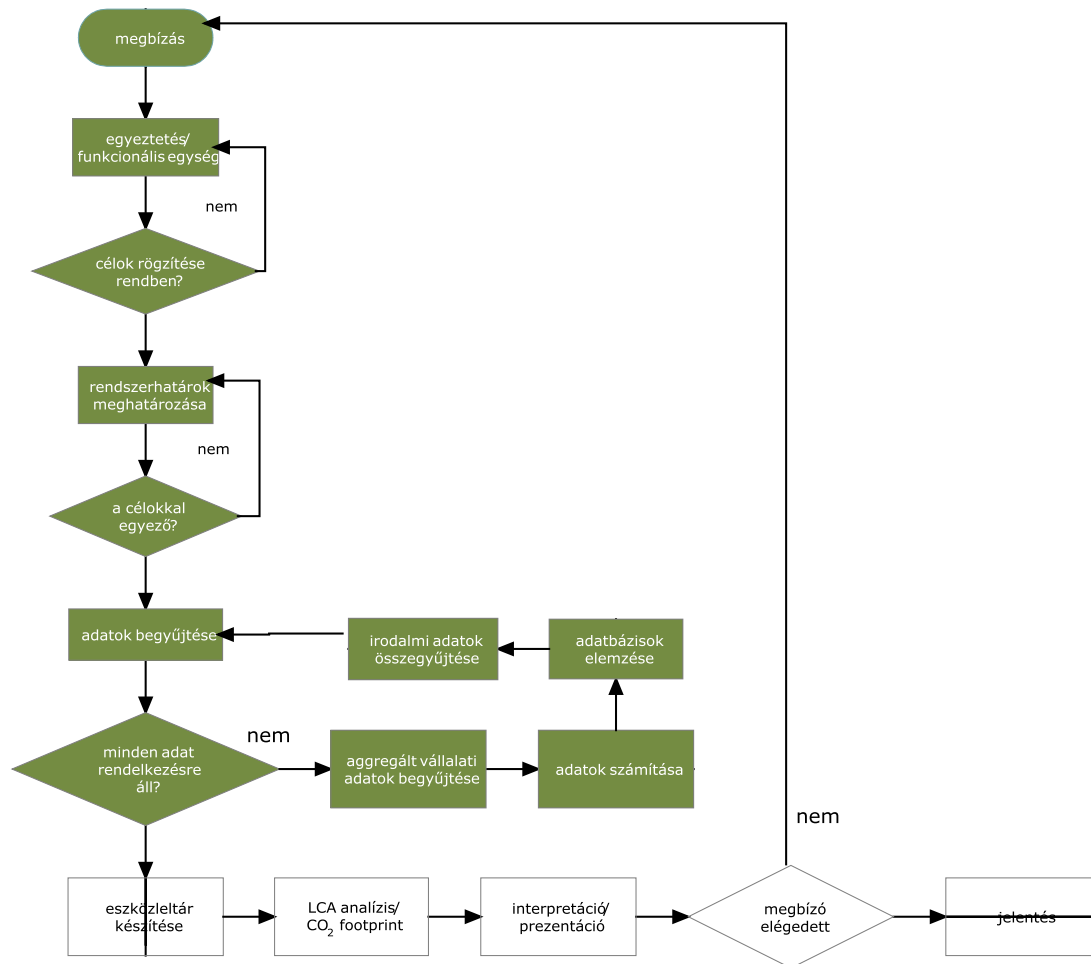
Egy átfogó rendszer a nyersanyag kitermeléssel kezdődik, majd a termelésen és fogyasztón keresztül a végső ártalmatlanítással fejeződik be. Nagy gondossággal kell a vizsgálandó rendszer részeit és határait meghatározni. A széleskörű életciklus adatbázis meghatározza az egész rendszerre, azaz a rendszerhatárain átlépve az erőforrások, az energiafelhasználás és a környezetbe bocsátott anyagok mennyiségét.

2.1.4.1 Az elemzéshez használt adatforrások

A rendszerről készített folyamatábra és az ellenőrzőlisták segítségünkre vannak az adatbázishoz szükséges adatok begyűjtésében. Az adatgyűjtéskor mindenképp tisztában kell lennünk a rendszert alkotó alrendszerek kapcsolatával. Minden alrendszer rendelkezik anyag és energia bemenetekkel, valamint szállítással és a terméket, mellékterméket, környezeti emissziókat magában foglaló kimenetekkel.

Minden egyes alrendszerre az adatbázisnak tartalmaznia kell ezeket az adatokat. Az adatok mellett kiegészítésként szerepelhet az aktuális tevékenység leírása. Az egyik oldalról belépő anyagáramok nagyságát és típusát, valamint a szükséges energia mennyiségét kell ismerni.

Az egyik helyről a másikra történő szállítás is része az alrendszereknek. A szállítást a távolsággal és a szállított súllyal, valamint a szállítás módjával, típusával jellemezzük. A szoftverekben rendelkezésre állnak a legjellemzőbb szállítási módok környezeti terhelései, csak a speciális szállítások esetén kell adatgyűjtéssel foglalkoznunk (pl. biodízel használata).



7. ábra Az elemzés 2. lépése

Az elemzés céljától függően számos forrás áll rendelkezésre az adatok beszerzésére. A fogalmi elemzés esetében kell a legkevésbé pontos adatokat felhasználnunk, amelyek lehetnek akár a tankönyvek, statisztikai évkönyvek aggregált, vagy lexikonok hivatkozott adatai is.

A mélységi elemzés esetén célszerűen a vállalatnál kell begyűjteni a szükséges és rendelkezésre álló adatokat, azok hiányában meg kell határozni azokat. A meghatározások is igen eltérőek lehetnek, a mérnöki munkától egészen a nemzetközi szakirodalomban publikált adatokig. Ilyen esetekben az interneten található adatforrásokkal kell felvenni a kapcsolatot, legyen az egy szakkönyvtár, vagy elemző cég munkatársa. Természetesen ebben az esetben az adatbázisok költsége igen jelentős lehet.

Tapasztalataink alapján a következő rendszerekben található az elemzés számára alkalmazható adatokat:

Az alkalmazott szoftverek adatbázisai (vannak olyan szoftverek, pl.: GaBi; SimaPro, amelyek demo-változatban is tartalmaznak elég sok adatot, míg mások pl.: LCAiT csak a keretet mutatja meg. A felhasznált adatokat minden esetben a forrás megjelölésével kell ellátni!)

- elektronikus nem hivatkozással rendelkező adatbázisok (kormányzati és ipari felmérések, KSH),
- nyilvános, átlagos ipari adatok (ágazati jelentések),
- speciális adatok (fejlesztések, disszertációk),
- elektronikus hivatkozással rendelkező adatok (a későbbiekben bemutatott lista)
- elektronikus adatszolgáltatók (Probas),
- kapcsolódó dokumentumok (szakértői jelentések),
- kormányzati jelentések,
- irodalmak (Journal of LCA),
- elkészült életciklus-adatbázisok (Gemis könyvtárak),
- termelés-függő ipari adatok,
- nem nyilvános adatok (vásárolható adatbázisok, szakértők),
- laboratóriumi vizsgálatok (rendszerint saját adatok),
- az Unió által finanszírozott programok eredményei (EU 5/6/7, LIFE),

Az elemzés során a következő adatféléseket alkalmaztuk:

- Vállalati mért adat,
- Vállalati számolt adat,
- Vállalati aggregált adat,
- Alvállalkozó adatai,
- Idegen adatbázis adatai,
- Számított, felépített adatbázisok.

2.1.5 Rendelkezésre álló adatok

Az elemzés során a nukleáris energiára vonatkozóan a Paksi Atomerőmű Zrt. üzemidő-hosszabbítással kapcsolatban elkészült KHT-ban található adatokat használtuk. A fosszilis technológiák adatait az interneten található kibocsátási adatbázisokból, a szoftverben található adatokból nyertük, valamint az égés, ill. a tüzeléstechnikák kinetikáját leíró algoritmusok segítségével becsültük. A megújuló technológiák modellezéséhez szükséges adatokat a német környezetvédelmi minisztérium az ökomérleg elkészítését segítő Probas nevű adatbázisából, az Öko-Institut GmbH GEMIS elnevezésű rendszerének adataiból nyertük.

2.2 Egyesített adatsereg

Egyesített adatok készítésekor az elemzésben résztvevő alrendszer kimenetének és bemenetének egyszerűsítését végezzük el egységnyi termékre. Ennek előnye, hogy azonos alrendszereknél ugyanazt a kimeneti számot (ez lehet normalizált nyersanyag, energia vagy emisszió) alkalmazhatjuk. Először is mindegyik alrendszerre meg kell határozni a kimeneteket. Ezek után az adatokat azonos szintre kell hozni (normalizálni), majd pedig ebből meghatározni a felhasznált anyag és energiamennyiségeket, környezeti emissziókat.

2.3 Leltáranalízis készítése

Az input és output adatok kvantitatív analízisét végeztük el ebben a szakaszban, adatgyűjtési és számítási eljárások segítségével. Ezek az adatok magukba foglalják az erőforrások kiaknázását, levegőbe, vízbe, talajba való kibocsátásokat. Az értelmezések ezen adatok alapján történnek, a cél és hatásterület függvényében. A leltárelemzés ismétlődő folyamat.

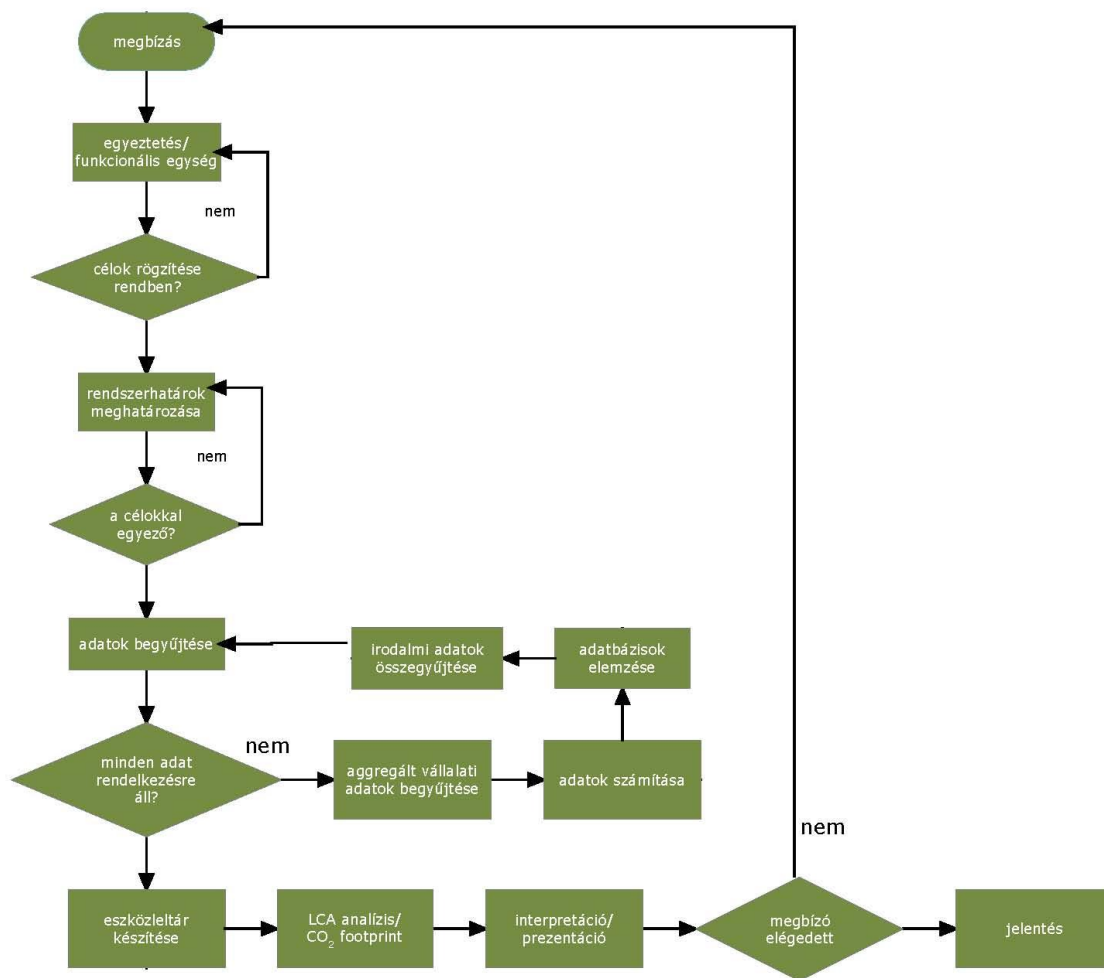
Minőségi és mennyiségi adatokat kell gyűjteni a rendszerhatáron belüli összes folyamat egységre. Az adatgyűjtési eljárás a hatásterülettől, a folyamat egységtől és a tanulmány felhasználásától függően változik. Az adatok lehetnek speciálisak vagy általánosak. Az adatgyűjtést minden egyes folyamatra el kell végezni.

Az olyan esetekben, mikor a környezetvédelmi szempont vagy az életciklus egyes lépéseinek meghatározása a cél, illetve ha a cél meghatározás szerint nem szükséges az adatok mennyiségi meghatározása, akkor minőségi adatok használata javasolt. Az adatgyűjtés eredményét az életciklus-leltár táblázat formájában foglalja össze.

3 Az elemzés

Az LCA hatásbecslésének szerkezetileg áttekinthetőnek, ezen kívül rugalmasnak és az alkalmazások széles körére használhatónak kell lennie. A hatáskategóriákat úgy kell megválasztani, hogy az leírja a termék vagy termékrendszer által okozott hatásokat. A leltár input és output adatait hatáskategóriákba sorolja be. Az osztályozás minőségi lépés, amely a környezeti folyamatok tudományos analízisén alapul.

A módszertan szakaszban bemutatottak alapján határoztuk meg azt, hogy az elemzést alapvetően az ökoindikátor 99 (EI99) módszerrel végezzük el.



8. ábra Az elemzés 3. lépése

Az elemzési fázisban minden egyes „önállóan” is értelmezhető részfolyamatot és a teljes modellt elemeztünk a CML 2001 (100yGWP) módszer alapján a „carbon footprint” megállapítása céljából.

4 Az eredmények bemutatása

Az elemzés során kapott adatokat a szoftver segítségével értékeljük ki, és MSOffice programok segítségével jelenítjük meg. Az eredmények számossága miatt az eredményeket az egyes elemzési szakaszban mutatjuk be.

5 Villamosenergia-termelés atomenergiából

A **paksi atomerőműben** nyomottvizes rendszerű reaktorokat alkalmaznak (típuszámuk VVER-440 / 213, ami „víz-vizes energetikai reaktor” orosz megfelelőjének rövidítése, a „440” pedig az atomerőművi blokk eredeti névleges villamos teljesítményére utal /MW/). Ez az érték mára elérte a 460 MW-ot az első 3 blokk esetében, míg a 4. blokk teljesítménye 470 MW-ra nőtt az 1999-es fejlesztéseknek köszönhetően. A paksi atomerőmű elektromos összteljesítménye így 1850 MW. A reaktorok hőteljesítménye egyenként 1375 MW, ebből a hatásfok: kb. 34%-ra jön ki.

A reaktor üzemanyaga urán-dioxid (UO₂), amit kb. 0,4 cm³ átmérőjű hengeres pasztillákká préselnek. A pasztilla középvezetékében egy 1,6 mm átmérőjű belső furat található. Így az üzemanyagból kilépő hasadvány gázoknak van elég hely és alacsonyabb maximális hőmérséklet lép fel az üzemanyagban.

A kazettákban lévő UO₂ üzemanyag dúsítása 1.6, 2.4, vagy 3.6 % lehet, de egy kazettában rendszerint csak azonos dúsítású fűtőelemek vannak. A kazetták 14.4 cm laptávolságúak. Az aktív zónában összesen 349 kazetta fér el, ebből az üzemanyagkötegek száma 312.

Az atomerőművet indulása után egy évvel leállítják, és kiszedik a már kiégett, eredetileg 1,6% dúsítású kazettákat, és helyükre az eredetileg 2,4% dúsítású kazettákat rakják. A 3,6% kezdeti dúsításúakat is átrakják (a 2,4%-osak helyére), és helyettük friss (3,6%-os) üzemanyagot raknak a zónába. Ezután az erőművet évente leállítják, és kiveszik a leginkább kiégett üzemanyag-kazettákat. A többi üzemanyag-kazettát a fentiek szerint átrakják, és friss üzemanyagot is betesznek. A kezdeti töltetet kivéve tehát minden kazetta három évet tölt a reaktorban.

Az RHK Kht. adatai szerint így 3 évente 42 tonna kiégett fűtőanyag keletkezik. Az elhasználódás után 5 év pihentetés következik, mire a láncreakció annyira lelassul, hogy erősebb hűtés nélkül is biztonságosan szállítható nem lesz. Ezt aztán Oroszországba szállították újrafeldolgozás céljából. Az erőmű területén az elhasznált fűtőanyag átmeneti, maximum 50 éves tárolását biztosító új létesítmény műszaki próbái 1996 decemberében sikeresen befejeződtek. Ezt követően megindult az átmeneti tároló feltöltése, ami 1999-ben is folytatódott. 1995 végén az Országos Atomenergia Bizottság kezdeményezésére kormányprogram indult a végleges elhelyezés megoldására. 2040-re kell Magyarországon mélységi tároló helyet kialakítani. Kutatások folynak a mecseki volt uránérc bánya területén. A nagy aktivitású szilárd radioaktív hulladékok erőművön belüli átmeneti tárolása az ellenőrzött zónában kialakított tároló kutakban történik. A tároló kutakban méretük miatt nem elhelyezhető nagy aktivitású hulladékok tárolása tartalék helyiségekben elhelyezett ólom gyűjtőkonténerekben valósul meg.

2004-ben összesen 738,3 m³ szilárd radioaktív hulladék keletkezett, amely a feldolgozást követően 166,2 m³-t tett ki. A korábbi évekből felhalmozódottal együtt 6903 db 200 literes hordót tároltak az ideiglenes tározóban.

A folyékony radioaktív hulladékokat főként ioncserélő gyantából és egyéb szennyezett folyadékok bepárlási maradékaiból állnak. Ezeket a MOWA típusú cementező technológiával szilárdítják és 200 l-es hordókban tárolják. A térfogatcsökkenés a bepárlás miatt jelentős,

évente kb. 260 m³ bepárlási- és ioncserélő maradék keletkezik. A Bábaapátiban felépült tároló fogadja 2008-tól ezeket a hulladékokat.

Az atomerőműnek technológiájából adódóan igen alacsony a légköri emissziója. Az atomerőmű területén három hagyományos, inaktív levegőszennyezéssel járó technológia található, ezek:

- Szükség áramforrásként üzemelő biztonsági dízel-generátorok; 12 db pontforrás (kb. 180 órás éves üzemidő)
- Dízelhajtású tűzivíz szivattyú; 2 db pontforrás
- Festés technológia: festőműhely festőkabinjai; 2 db pontforrás (2005-ben nem üzemelt)

Azonban ezek emissziója elenyésző, még akkor is, ha a gépjárműhasználatot is a rendszer egyik elemeként definiáljuk. Későbbiekben vizsgálat tárgyát képezheti a dolgozók munkába járását ellátó szállítási kapacitás integrálása is.

5.1 Az elemzés lépései

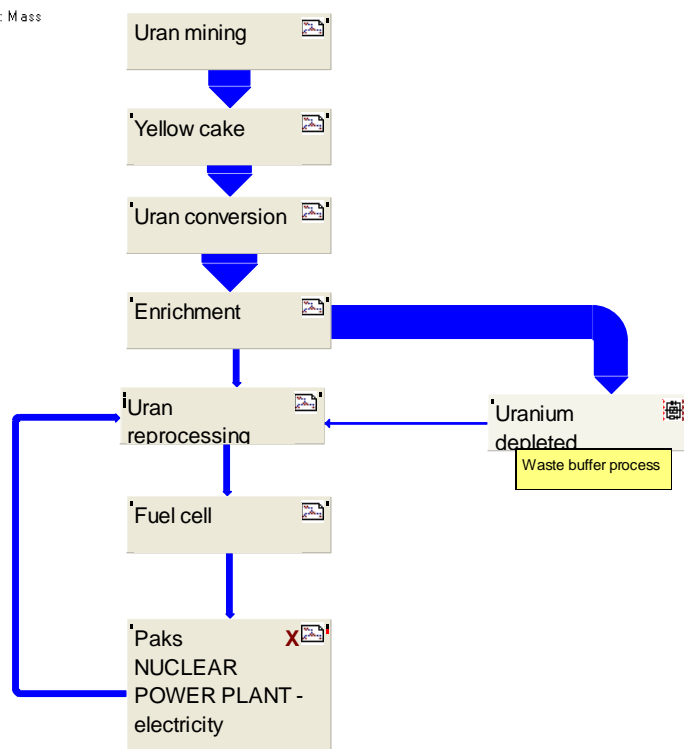
Az elemzés lépései az előző fejezetekben bemutatottak alapján készülnek el.

5.1.1 A rendszerhatárok

Az atomerőművi termelés a projekt részletesebben vizsgált része. Három plusz egy forgatókönyvet állítottunk fel. Az alap (1) tulajdonképpen az üzemanyag életciklusa, az uránérc kibányászásától az energiatermelésig. A további két forgatókönyv esetében beépítjük a kis és közepes aktivitású hulladékok kezelését (2), majd figyelembe vesszük a rendszerben az erőmű megépítésével és felhagyással járó környezetterhelést (3), valamint ennek 20 évvel való kiterjesztését (3+1).

NUCLEAR POWER

GaBi 4 process plan: Mass



9. ábra Erőművi termelés modellje (üzemanyagciklus - bányásztól a termelésig)

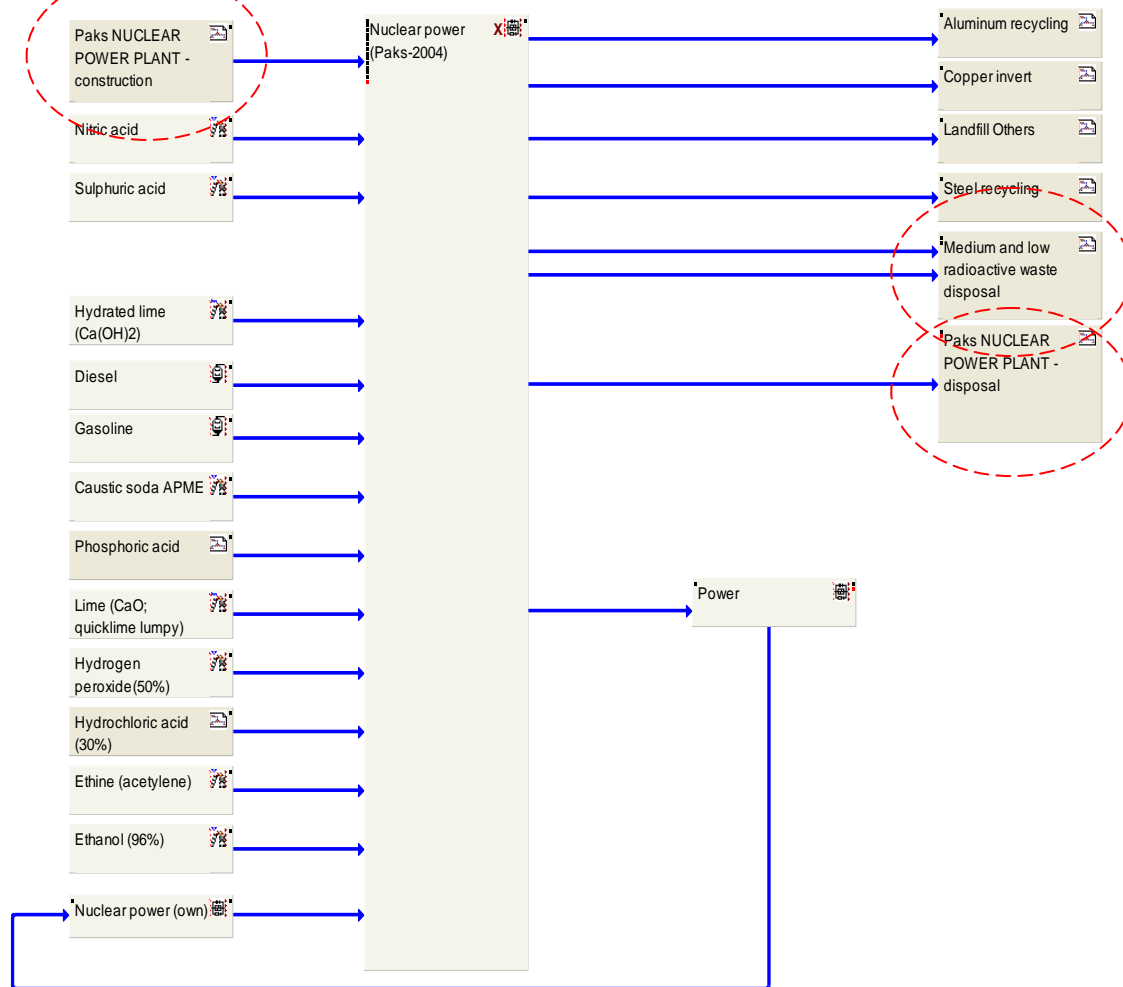
Az **első forgatókönyv** a más energiatermelő egységekkel történő összehasonlításban is szerepel, azaz csak az üzemanyag előállítását és az elektromosáram-termelést jelenti.

A **második forgatókönyvben** már jelen van a keletkező kis és közepes radioaktivitású hulladékok kezelése is, a Pakson használt úgynevezett MOWA eljárás. A modell a Nukem GmbH cég elérhető adatai alapján történt. A cementáló berendezés energiafogyasztására adataink nincsenek, így csak a felhasznált acélhordók és a cement mennyiségét tudtuk beépíteni. Itt a fő környezetterhelést tehát ezek az elemek okozzák. Az eljárás után kerülnek a hordók a bátaapáti lerakóba, ahol a modell inert hulladékként kezeli azt, mivel semmilyen egyéb káros emisszióval nem kell itt számolni.

A folyékony hulladékokból körülbelül 250-270 m³ keletkezik évente, azaz alig 0,018 ml termelődik kWh-ként, valamint 120 m³ szilárd KKA (kis és közepes aktivitású) hulladék, ami pedig 0,0085 ml-t jelent kWh-ként.

Paks NUCLEAR POWER PLANT - electricity_built&disposal

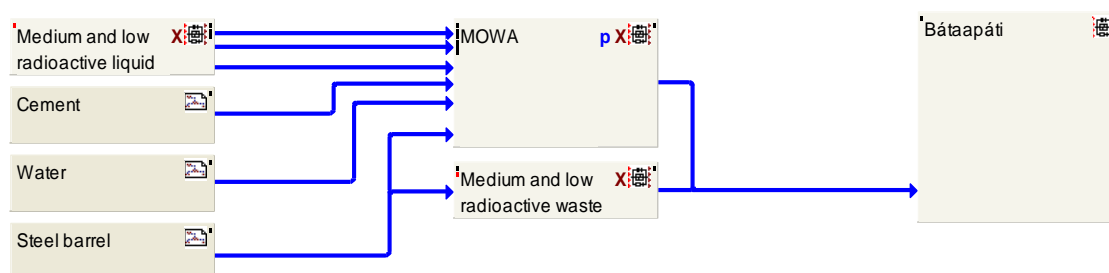
GaBi 4 process plan:Reference quantities



10. ábra Az atomerőművi termelés forgatókönyvei közötti különbségek

Medium and low radioactive waste disposal

GaBi 4 process plan:Reference quantities



11. ábra A KKA hulladékkezelés

Az építés és felhagyás modellezéséhez a KHT 9. fejezetében található épületmérleget tudtuk felhasználni (3. forgatókönyv). Itt tulajdonképpen a felhasznált acél és beton mennyisége volt kiolvasható. Ezek az adatok voltak irányadók az építéshez használt alapanyagok

meghatározásában, továbbá a felhagyás során keletkező hasznosítható anyagok mennyiségének alapja is ez volt.

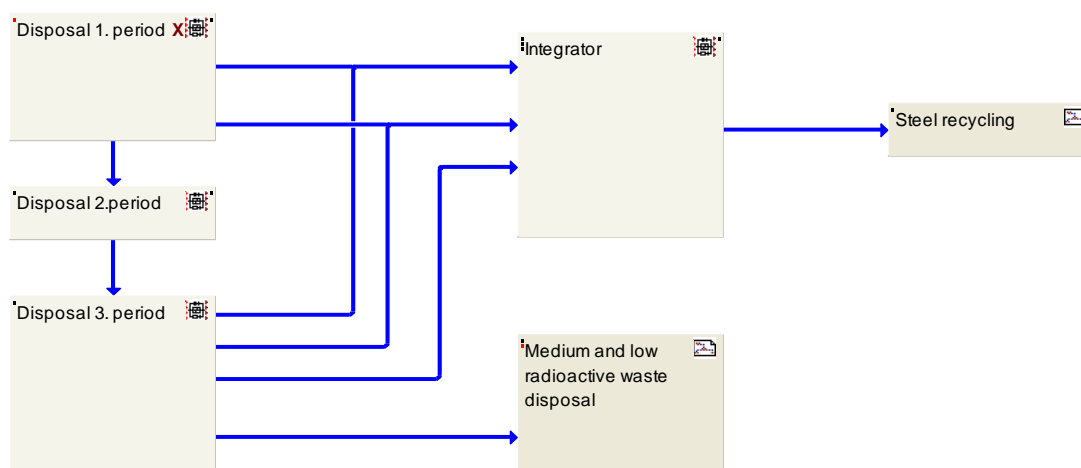
A német ProBas adatbázis is ezeket az alapanyagokat alkalmazza, mivel mennyiségük miatt ezeknek meghatározó a környezetterhelésük.

Az építésnél 30 éves üzemidőt vettünk figyelembe, ezt azt jelenti, hogy az ezalatt megtermelt összes elektromos energiából becsülve 1 MJ elektromos energiatermeléséhez 0,033333 darab Paksi Atomerőmű legyártásához szükséges cement és acél szükséges, azaz ezek környezetterhelése még internalizálható a termelés során keletkező emissziókba.

(Amint azt a későbbiekben kifejtjük, egy **negyedik (3+1) forgatókönyvként** (ami az élettartamot kivéve, adatait tekintve lényegében megegyezik a 3. forgatókönyvvel) az erőmű élettartam hosszabbításának eredményeként plusz 20 év élettartamot is vizsgáltunk az építés-felhagyás modelljeire.)

Paks NUCLEAR POWER PLANT - disposal

GaBi 4 process plan: Reference quantities

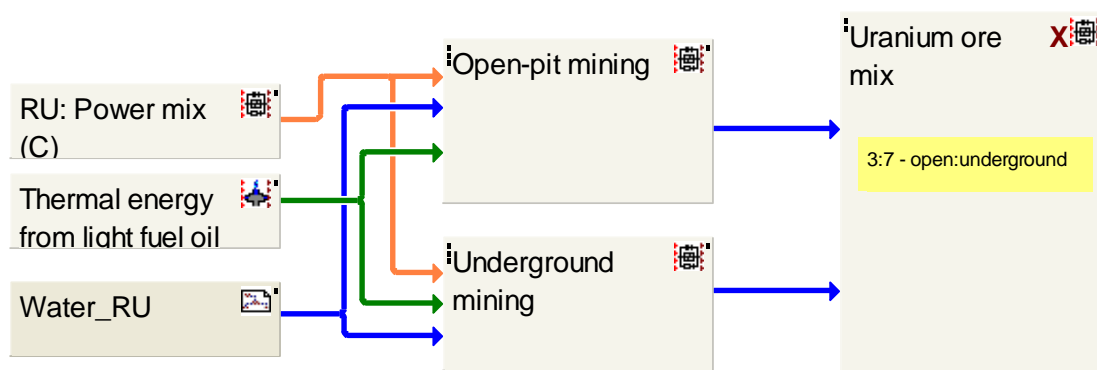


12. ábra Az atomerőmű felhagyásának modellje

A rendszerben 0,3:0,7 arányban oszlik meg a nyílt és mélyművelésű bányászattal termelt uránérc (13. ábra). Az adatok fenntarthatósági jelentésekből (BHP Biliton, Paladin Energy Ltd., stb.), J. W. S. van Leeuwen és P. Smith atomenergiáról szóló tanulmányából, a német GEMIS projekt adataiból és a GaBi adatbázisból származnak.

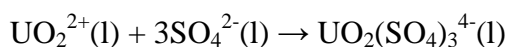
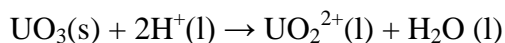
Uran mining

GaBi 4 process plan:Reference quantities



13. ábra A bányászat modellje

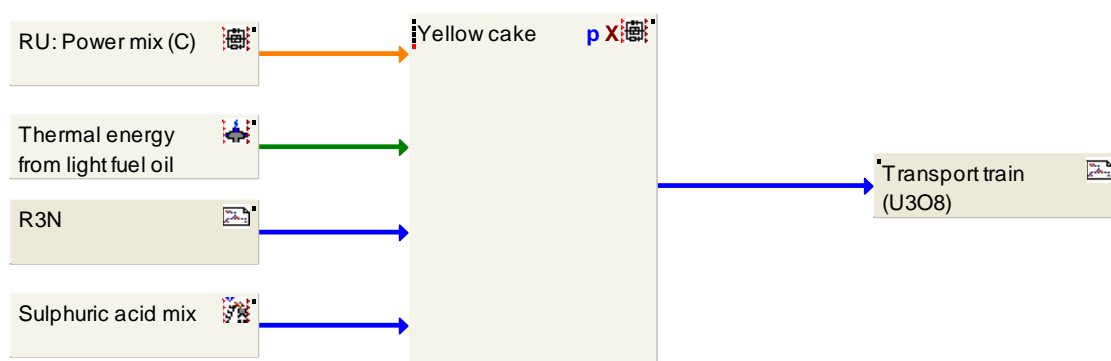
Ennek terméke, az őrölt uránérc halad tovább az U_3O_8 preparációjának folyamatába (14. ábra). A folyamat finomírással indul, majd kénsavval kioldják az érc „hasznos” részét, ami amfoter tulajdonságú UO_3 , a következő reakcióegyenlet szerint:



Az így keletkező vegyület hidrometallurgiai módszerekkel tovább finomítják ioncserével és extrakcióval (folyadék - folyadék). A folyamat végén por alakú sárga színű U_3O_8 terméket kapunk.

Yellow cake

GaBi 4 process plan:Reference quantities

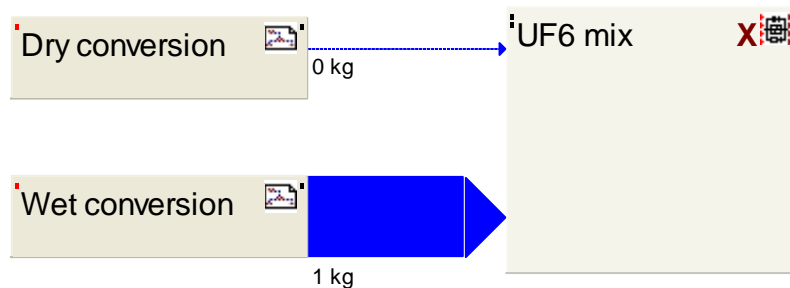


14. ábra „yellow cake” gyártás modellje

Ezután az U_3O_8 uránium-hexafluoriddá konvertálják (15. ábra). A rendszer csak a nedves konverziót tartalmazza, mivel a World Nuclear Association forrásai szerint a száraz eljárás csak az USA-ban működik, mi esetünkben az üzemanyag-előállítás 100 %-ban Oroszországban történik.

Uran conversion

GaBi 4 process plan: Mass

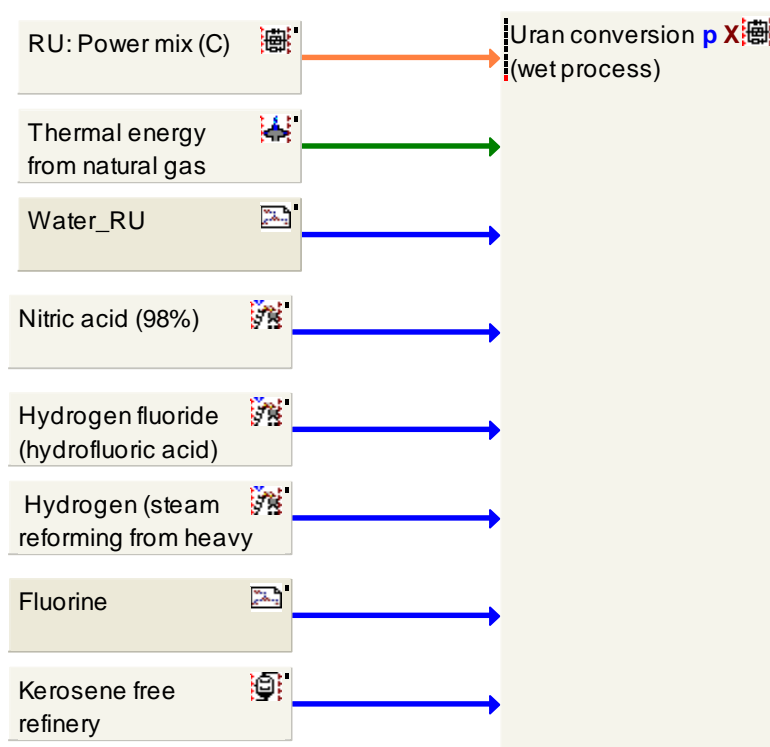


15. ábra Uránkonverzió modellje

A nedves konverzióban (16. ábra) a salétromsavas oldás során keletkező uranyl-nitrát-hexahidrát szintén egy extrakción megy keresztül, hasonlóan az előző folyamathoz („yellow cake”) folyamathoz.

Wet conversion

GaBi 4 process plan: Reference quantities



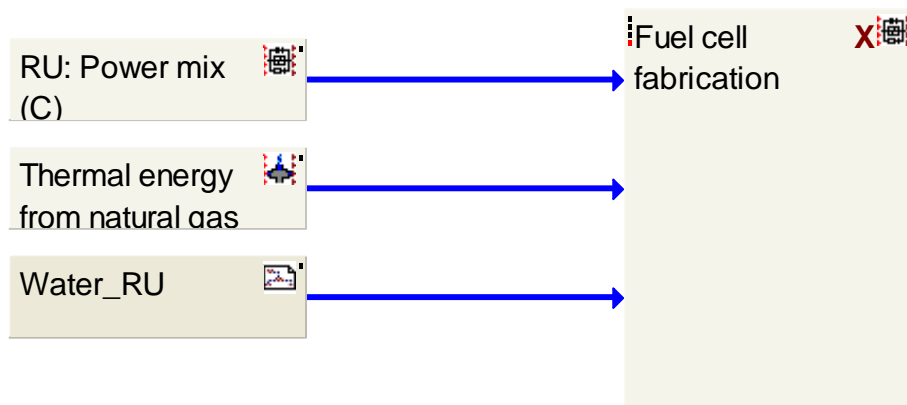
16. ábra A nedves konverzió

A dúsítás csak a centrifugás technológiával történik, ugyanis a WNA adatai szerint az orosz Seversk, Zelenogorsk, Angarsk és Novouralsk dúsítók a világszükséglet 40 %-át fedezik, többek között ezért is feltételezzük, hogy a Pakson használt fűtőelemek tölteteihez is az itt alkalmazott technológiával készítették elő az urániumot.

Ennek a folyamatnak az outputja a 3-4%-ig feldúsított urán-oxid. A modellbe be van építve egy reprocesszási folyamat, aminek végterméke egy friss és a kiegészítő elemekből származó uránból (ami még kb. 1 %-nyi el nem bomlott 235-ös U-t tartalmaz) készített dúsított urán.

Fuel cell

GaBi 4 process plan:Reference quantities

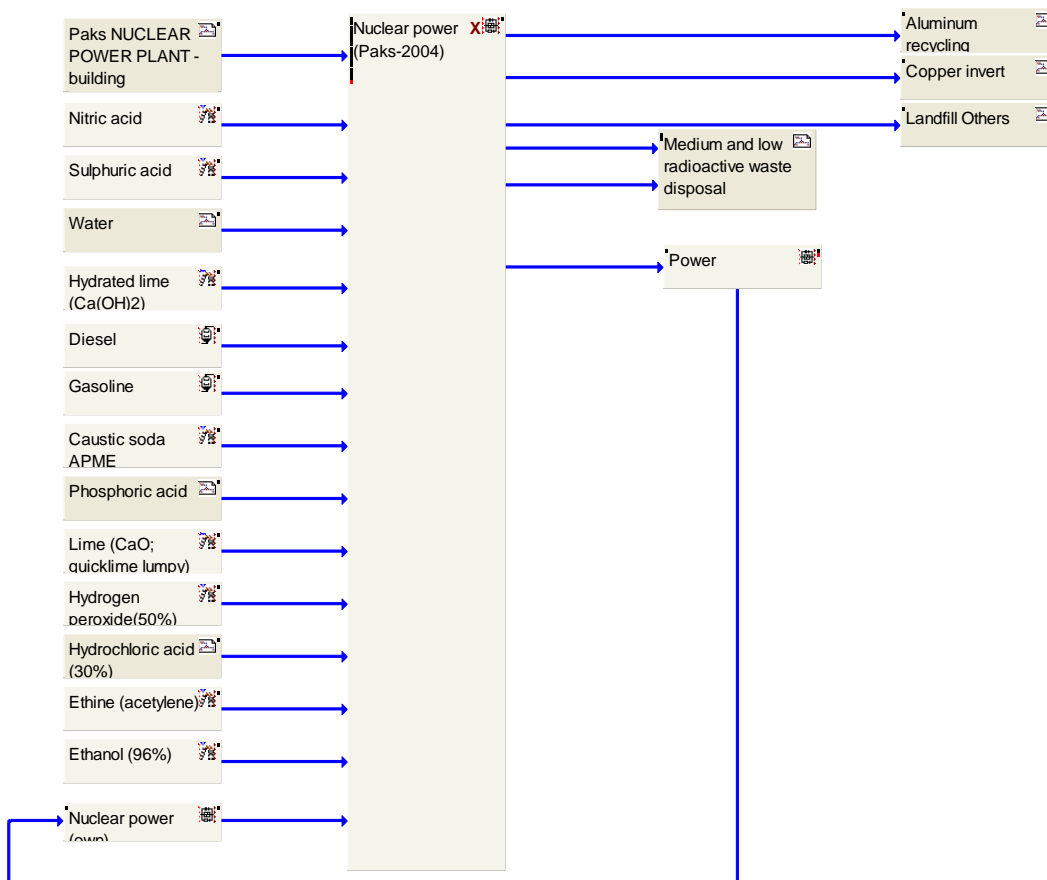


17. ábra Az üzemanyag-kazetta gyártása

Az üzemanyagcellák (17. ábra), vagy kazetták gyártása után kerül az üzemanyag az atomerőműbe. A modellben specifikusan a paksi atomerőmű input output adatai alapján elkészített folyamat szerepel. Az adatok az üzemidő hosszabbításhoz készült környezeti hatástanulmányból származnak.

Paks NUCLEAR POWER PLANT - electricity

GaBi 4 process plan:Reference quantities



18. ábra A paksi atomenergia-termelés modellje

5.1.2 A leltár

A leltár, vagy más néven LCI (Life Cycle Inventory) az adott folyamat I/O (input-output) adatait tartalmazza. A következő ábra az aggregált adatokat mutatja.

Az adatokat csökkenő sorrendbe rendeztük és tartalmazzák az összes, 1 MJ atomenergia (elektromos energia) megtermeléséhez szükséges be- és kimenő áramot.

Inputs						Outputs					
Alias	Flow	Quantity	Amount	Unit	Trd	Alias	Flow	Quantity	Amount	Unit	Trd
	Water (river water) [Water]	Mass	51,863	kg			Krypton (Kr85) [Radioactive emissions to air]	Activity	90865	Bq	
	Krypton (Kr85) [Radioactive emission]	Activity	1,9525	Bq			Hydrogen (H3) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	3848,5	Bq	
	Hydrogen (H3) [Radioactive emission]	Activity	0,067487	Bq			Radon (Rn222) [Radioactive emissions to air]	Activity	1243,7	Bq	
	Radon (Rn222) [Radioactive emission]	Activity	0,022034	Bq			Argon (Ar41) [Radioactive emissions to air]	Activity	223,49	Bq	
	Water (surface water) [Water]	Mass	0,020406	kg			Krypton (Kr87) [Radioactive emissions to air]	Activity	118,21	Bq	
	Water [Water]	Mass	0,0065562	kg			Krypton (Kr88) [Radioactive emissions to air]	Activity	105,89	Bq	
	Air [Renewable resources]	Mass	0,0051631	kg			Xenon (Xe133) [Radioactive emissions to air]	Activity	62,885	Bq	
	Stone from mountains [Non renewable]	Mass	0,0021506	kg			Xenon (Xe135) [Radioactive emissions to air]	Activity	62,454	Bq	
	Xenon (Xe133) [Radioactive emission]	Activity	0,0010184	Bq			Krypton (Kr85m) [Radioactive emissions to air]	Activity	48,037	Bq	
	Primary energy from hydro power [REnergy ren.]	Energy	0,00081603	MJ			Radium (Ra226) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	25,266	Bq	
	Radium (Ra226) [Radioactive emission]	Activity	0,00076634	Bq			Carbon (C14) [Radioactive emissions to air]	Activity	14,562	Bq	
	Hydrogen (H3) [Radioactive emission]	Activity	0,00054577	Bq			Hydrogen (H3) [Radioactive emissions to air]	Activity	8,8926	Bq	
	Xenon (Xe135) [Radioactive emission]	Activity	0,00047825	Bq			Cesium (Cs137) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	1,1438	Bq	
	Carbon (C14) [Radioactive emissions]	Activity	0,00042427	Bq			Power (from nuclear) [Electric power]	Energy	1	MJ	
	Cooling water [Operating materials]	Mass	0,00039199	kg			Cobalt (Co60) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,53691	Bq	
	Argon (Ar41) [Radioactive emissions]	Activity	0,00038517	Bq			Uranium [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,50703	Bq	
	Waste water [Other emissions to fresh water]	Mass	0,00026839	kg			Iodine (I129) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,35143	Bq	
	Inert rock [Non renewable resources]	Mass	0,00021591	kg			Carbon (C14) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,12584	Bq	
	Natural gas C15 [Natural gas (resource)]	Mass	0,00016731	kg			Cesium (Cs134) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,12411	Bq	
	Xenon (Xe135m) [Radioactive emission]	Activity	0,00012543	Bq			Strontium (Sr90) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,11719	Bq	
	Water for industrial use [Operating materials]	Mass	0,00012267	kg			Manganese (Mn54) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,081998	Bq	
	Hard coal C15 [Hard coal (resource)]	Mass	0,00011926	kg			Waste water [Other emissions to fresh water]	Mass	0,030383	kg	
	Crude oil C15 [Crude oil (resource)]	Mass	6,7E-005	kg			Uranium (total) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,023991	Bq	
	Raw natural gas (BUWAL) [Natural gas]	Mass	5,4217E-005	kg			Potassium (K40) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,011487	Bq	
	Overburden [Stockpile goods]	Mass	3,6676E-005	kg	*		Plutonium (Pu alpha) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,0096649	Bq	
	Xenon (Xe138) [Radioactive emission]	Activity	2,9091E-005	Bq			Waste heat [Other emissions to air]	Energy	0,0096144	MJ	
	Waste heat [Other emissions to air]	Energy	2,8478E-005	MJ			Waste water (for treatment) [Flows]	Mass	0,0053885	kg	
	Nuclear energy (APME) [Uranium (reEnergy net c2)]	Energy	2,3462E-005	MJ			Iodine (I129) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,0052713	Bq	
	Crude oil free wellhead [Crude oil (reEnergy net c2)]	Energy	2,207E-005	kg			Uranium (U238) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,0042823	Bq	
	Uranium [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	2,0752E-005	Bq			Exhaust [Other emissions to air]	Mass	0,0042311	kg	
	Carbon dioxide [Inorganic emissions]	Mass	2,0662E-005	kg			Uranium (U234) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,0041898	Bq	
	Exhaust [Other emissions to air]	Mass	2,0166E-005	kg			Iodine (I131) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,0040114	Bq	
	Cesium (Cs137) [Radioactive emission]	Activity	1,9023E-005	Bq			Cobalt (Co60) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,003321	Bq	
	Limestone (calcium carbonate) [Non renewable]	Mass	1,899E-005	kg			Curium (Cm alpha) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,0032214	Bq	
	Tailings [Stockpile goods]	Mass	1,8294E-005	kg	*		Steam [Inorganic emissions to air]	Mass	0,0031015	kg	
	Cooling water [Waste for recovery]	Mass	1,3813E-005	kg	*		Ruthenium (Ru106) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,0029131	Bq	
	Krypton (Kr85m) [Radioactive emission]	Activity	1,169E-005	Bq							

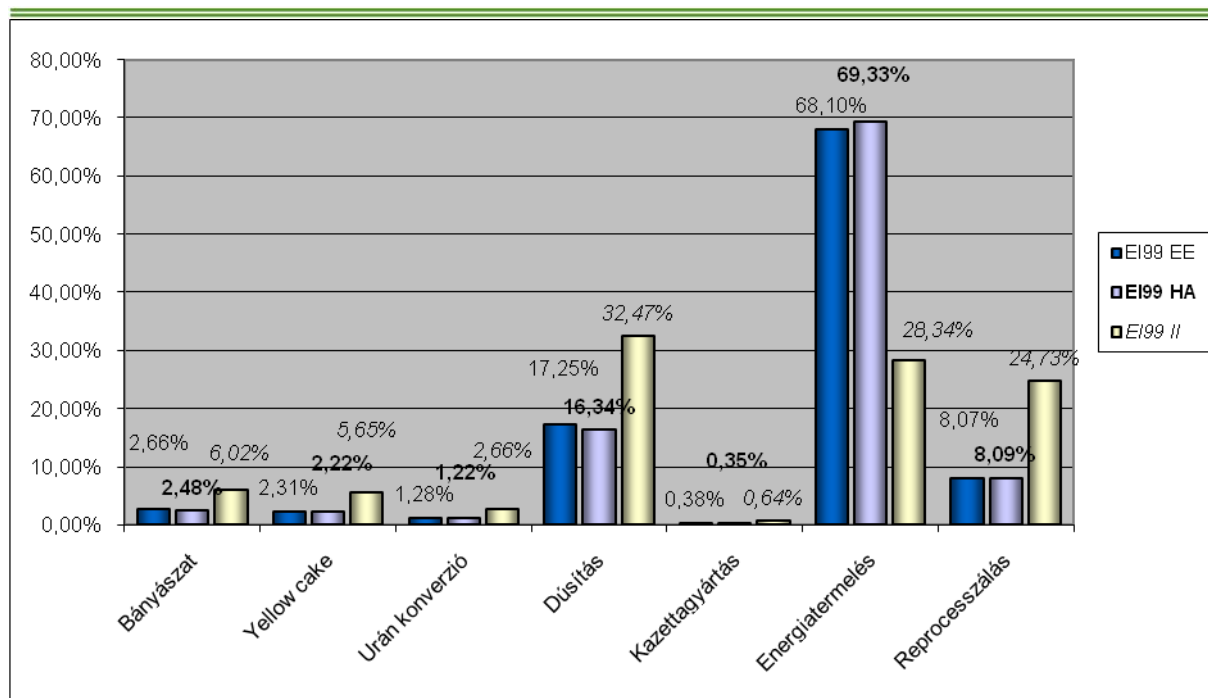
19. ábra Atomenergia LCI

<i>Energiatermelő rendszer neve</i>	
NUCLEAR POWER	
Funcionális egység:	1 MJ Elektromos áram
Év:	2004; 2007 normalizált
Forrás:	- BHP Biliton, Paladin Energy Ltd., stb Annual Report - W. S. van Leeuwen and P. Smith: Nuclear power, The energy balance; 2005 - A Paksi Atomerőmű üzemidő-hosszabbítása: Környezeti Hatástanulmány; 2006 - Tilky Péter: A Paksi Atomerőmű üzemidő hosszabbítása és vegyészeti feladatok; Prezentáció; 2008 - World Nuclear Association; Publications and Documentations
A rendszer különleges ismertetőjegyei:	- a modell tartalmazza az üzemanyag teljes életútját (bányászat - felhasználás - kezelés) - az üzemanyag életútjának bölcstől a kapuig tartó szakaszához internetes források, cégek jelentései, becslések, más adatbázisok lettek felhasználva - az energiatermels adatai teljes mértékben megfelelnek a Paksi Atomerőmű adatainak - a rendszerbe be lett építve az erőmű építése és lebontása, valamint a kis és közepes radioaktivitású hulladékok kezelése, ami két másik forgatókönyvben szerepel
Inputok	
Üzemanyag:	UO ₂ pasztilla
Segédanyagok:	- Sósav, salétromsav, kénsav, foszforsavoltott mész, CaO - Gázolaj, benzin - Hidrogénperoxid, alkohol, acetilén - Önfogyasztás
Outputok	
Hasznos áramok:	- megtermelt elektromos áram - különböző fémhulladékok - papír - fa (csomagoló)
Hulladék áramok:	- Kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok - Nagy aktivitású radioaktív hulladékok - kiégett fűtőelemek - emissziók vízbe és levegőbe

20. ábra egységes adattábla

5.1.3 Az elemzések eredményei

Az elemzéseket az EcoIndicator '99 indikátor hierarchista (EI '99 HA) megközelítésű mutatója, valamint a CML 2001 összes környezetileg releváns indikátora szerint értékeltük ki.. Az atomenergia környezeti teljesítményének egy mutatóval történő jellemzésére az EI '99 HA módszert találtuk a legalkalmasabbnak.



21. ábra Az EI '99 három megközelítésénél kapott eredmények összehasonlítása az atomenergia esetében

A 21. ábrán jól láthatók az EI '99-es módszer atomenergiára vetített különbségei. Az egyenlőségre törekvő (EE) és a hierarchista (HA) módszer egymástól elhanyagolható mértékben különbözik, míg az individualista megközelítés a lentebbi táblázatban megjelölt módon sokkal nagyobb hangsúlyt fektet az emberi egészségre, azon belül is a globális hazásokra, például a klímaváltozásra.

Ezzel ellentétben az individualista (II) módszer a sugárzást és a karcinogén hatásokat is figyelembe veszi, amelyek főként helyi hatások, és a három kárkategóriát azonos módon próbálja meg elosztani, egy optimális súlyozást keresve.

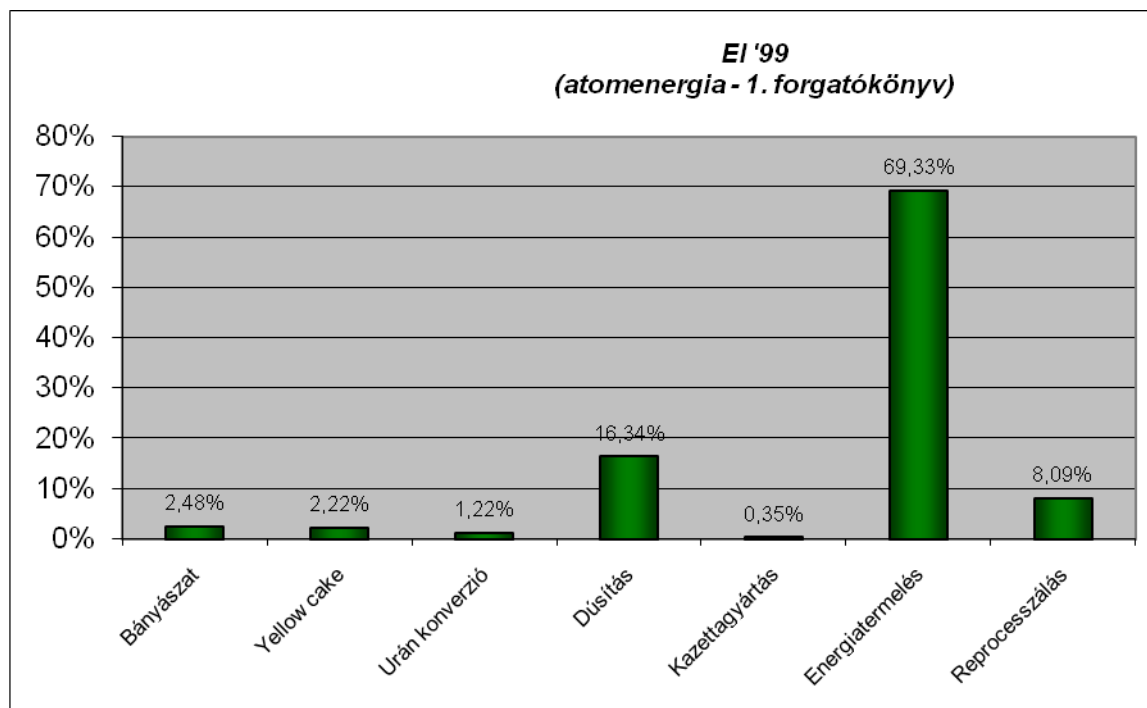
		HA	EA	II
Emberi egészség	sugárzás	6%	0%	0%
	ózonréteg-csökkenés	0%	0%	0%
	klímaváltozás	26%	20%	46%
	szerves a-ok belégzés	0%	0%	0%
	szervetlen a-ok belégzése	11%	9%	10%
	karcinogén hatások	2%	2%	0%
	Összeg	45%	31%	56%
Erőforrások	fosszilis tüzelőanyag	20%	19%	0%
	ásványi anyagok	0%	1%	21%
	Összeg	20%	20%	21%
Ökoszisztéma	területhasználat	32%	37%	20%
	savasodás	3%	4%	2%
	ökotoxicitás	6%	8%	1%
	Összeg	41%	49%	23%

22. ábra A hatáskategóriák súlyának megoszlása az EI '99 három megközelítésének esetében

5.1.3.1 Az EI'99 módszer

1. Táblázat Az atomenergia részfolyamatainak EI '99 értékei

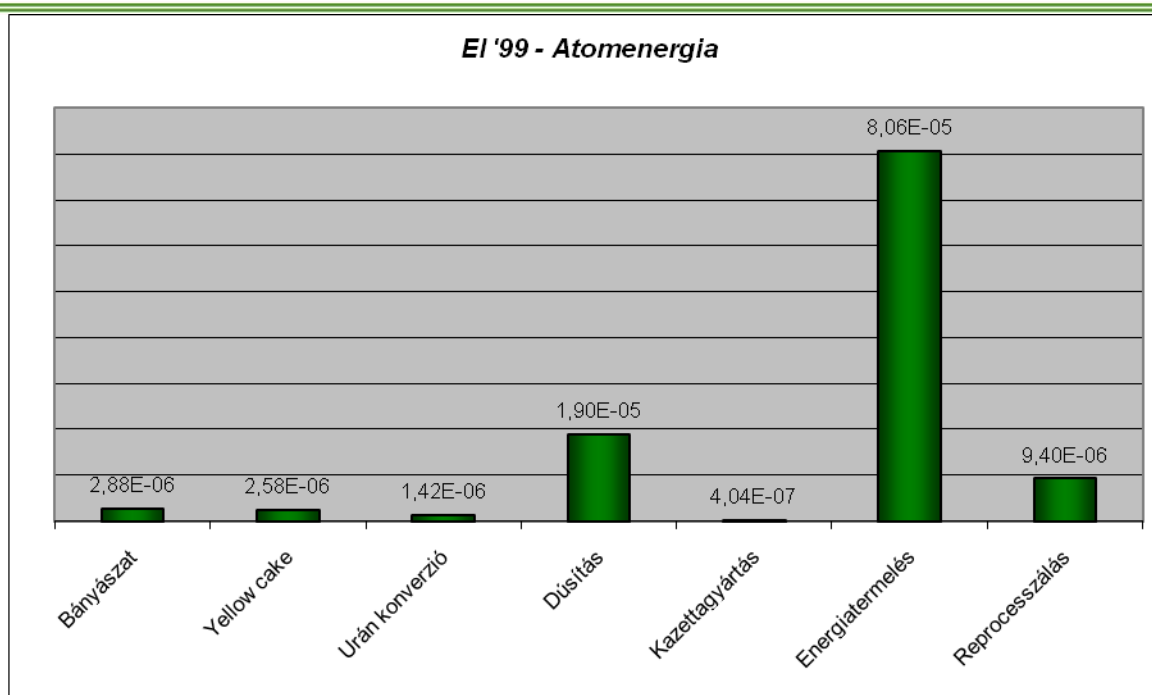
	Szumma	Dúsítás	Kazetta-gyártás	Energia-termelés	Urán konverzió	Bányászat	Repro-cesszálás	Yellow cake
EI '99	1,16E-04	1,90E-05	4,04E-07	8,06E-05	1,42E-06	2,88E-06	9,40E-06	2,58E-06



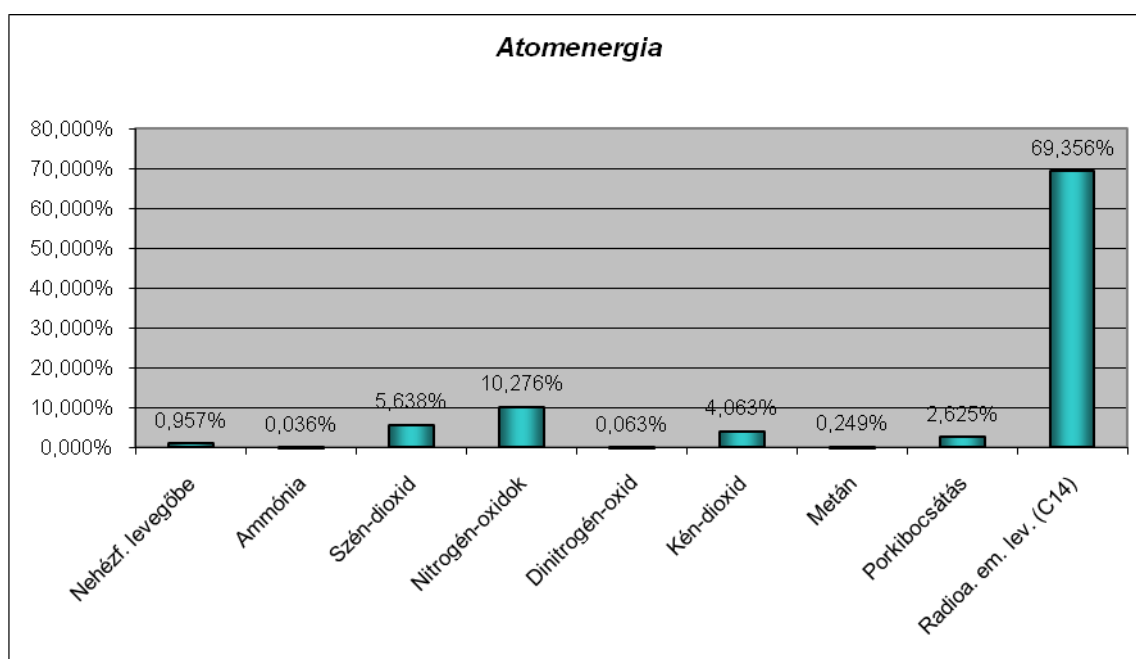
23. ábra EI'99 megoszlása az 1. forgatókönyv szerint-atomenergia

Az atomenergiában az energiatermelés terhelése a legmagasabb. Ezt a dúsítás, majd a reprocesszálás követi. Ez elsősorban a radioaktív emisszióknak tulajdonítható. A modellben az erőművi termelés okozza a legnagyobb C^{14} emissziót, amely 68 %-ban felel a magas indikátor értékért és szinte 100 %-ban az energiatermelés folyamatából származik.

További emissziók a szén-dioxid a nitrogén-oxidok és a kén-dioxid, amelyek 5, 10 és 4 %-os súllyal szerepelnek, nagy részük (60-70 %-uk) a dúsításból származik. Ennek ellenére ezek az indikátor értékek nagyon alacsonynak számítanak.



24. ábra Az EI '99 megoszlása az alrendszerek között (atomenergia)

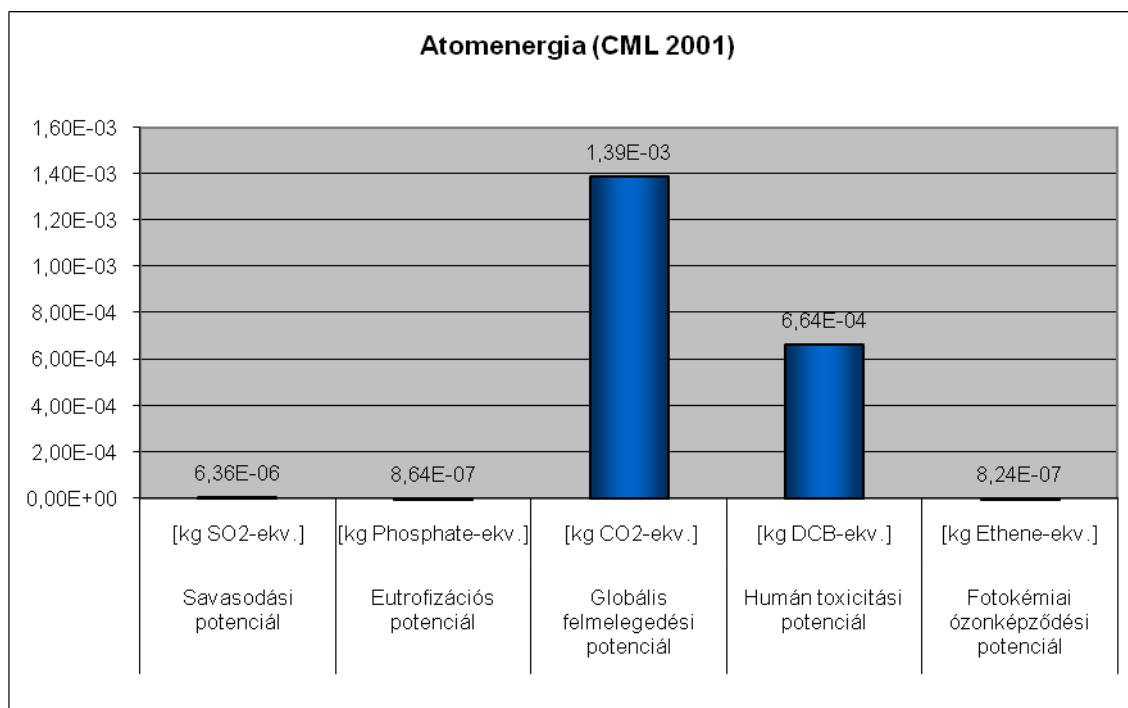


25. ábra Az EI '99 értékét jelentősen befolyásoló emissziók /atomenergia/ (98 %-ban légköri; Nehézf. = nehézfém, radioa. em. lev. = radioaktív emisszió levegőbe /90 %-ban C¹⁴)

5.1.3.2 A CML módszer

2. Táblázat CML 2001-es mutatók (atomenergia)

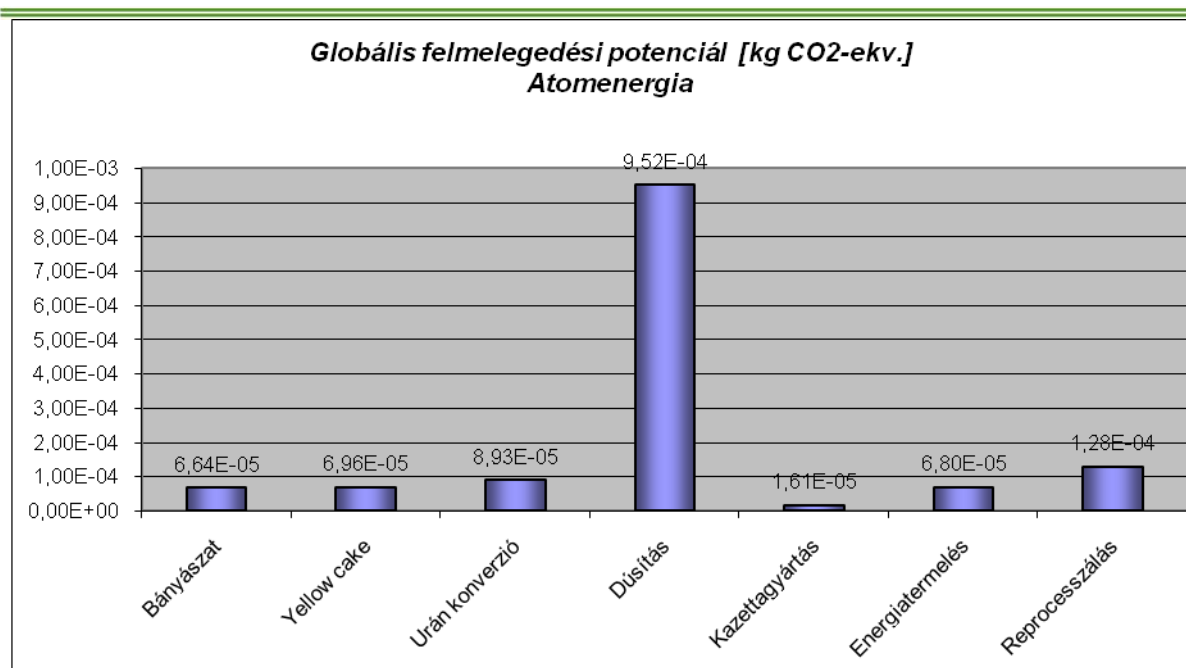
	Szumma	Bányászat	Yellow cake	Urán konverzió	Dúsítás	Kazetta-gyártás	Energia-termelés	Repro-cesszálás
Savasodási potenciál [kg SO ₂ -ekv.]	6,36E-06	2,89E-07	2,49E-07	2,91E-07	4,35E-06	1,04E-07	5,93E-07	4,87E-07
Eutrofizációs potenciál [kg Phosphate-ekv.]	8,64E-07	7,21E-08	9,70E-08	3,52E-08	5,13E-07	6,22E-08	2,60E-08	5,81E-08
Globális felmelegedési potenciál [kg CO ₂ -ekv.]	0,001389	6,64E-05	6,96E-05	8,93E-05	0,000952	1,61E-05	6,80E-05	0,00012772
Humán toxicitási potenciál [kg DCB-ekv.]	0,000664	0,0002585	0,000268	5,82E-06	0,000113	2,28E-06	4,87E-06	1,18E-05
Fotokémiai ózonképződési potenciál [kg Ethene-ekv.]	8,24E-07	4,49E-08	1,13E-07	1,48E-07	3,98E-07	7,52E-09	4,13E-08	7,09E-08



26. ábra Az atomerőművi villamosenergia-termelés CML diagramja

5.1.3.3 A „carbon footprint”

A „carbon footprint” tulajdonképpen az üvegházhatású gázok (ÜHG) kibocsátásának mértéke CO₂-ra normálva. Ezt a műveletet a CML 2001-es módszer GWP (100 év) indikátora hajtja végre, amelyet a 2. táblázatban is láthatunk.



27. ábra Az atomerőművi villamosenergia-termelés GWP diagramja

5.2 A kiterjesztett elemzés

A kiterjesztett elemzés során figyelembe vettük az atomerőművi termelés során keletkező KKA hulladékokat, valamint egy plusz egy további forgatókönyvben az építés és felhagyás CML 2001-es és EI '99-es mutatókkal értékelhető környezeti hatásait.

5.2.1 A rendszerhatárok

A hagyományos életciklus elemzések rendszerhatárain kívül esik a termelőeszköz felépítése és leszerelése. Az atomenergia vizsgálatához készítettünk további kettő plusz egy forgatókönyvet, így összesen három plusz egy eset áll rendelkezésünkre az összehasonlításban. A forgatókönyvek a rendszerhatárok definiálásában különböznek.

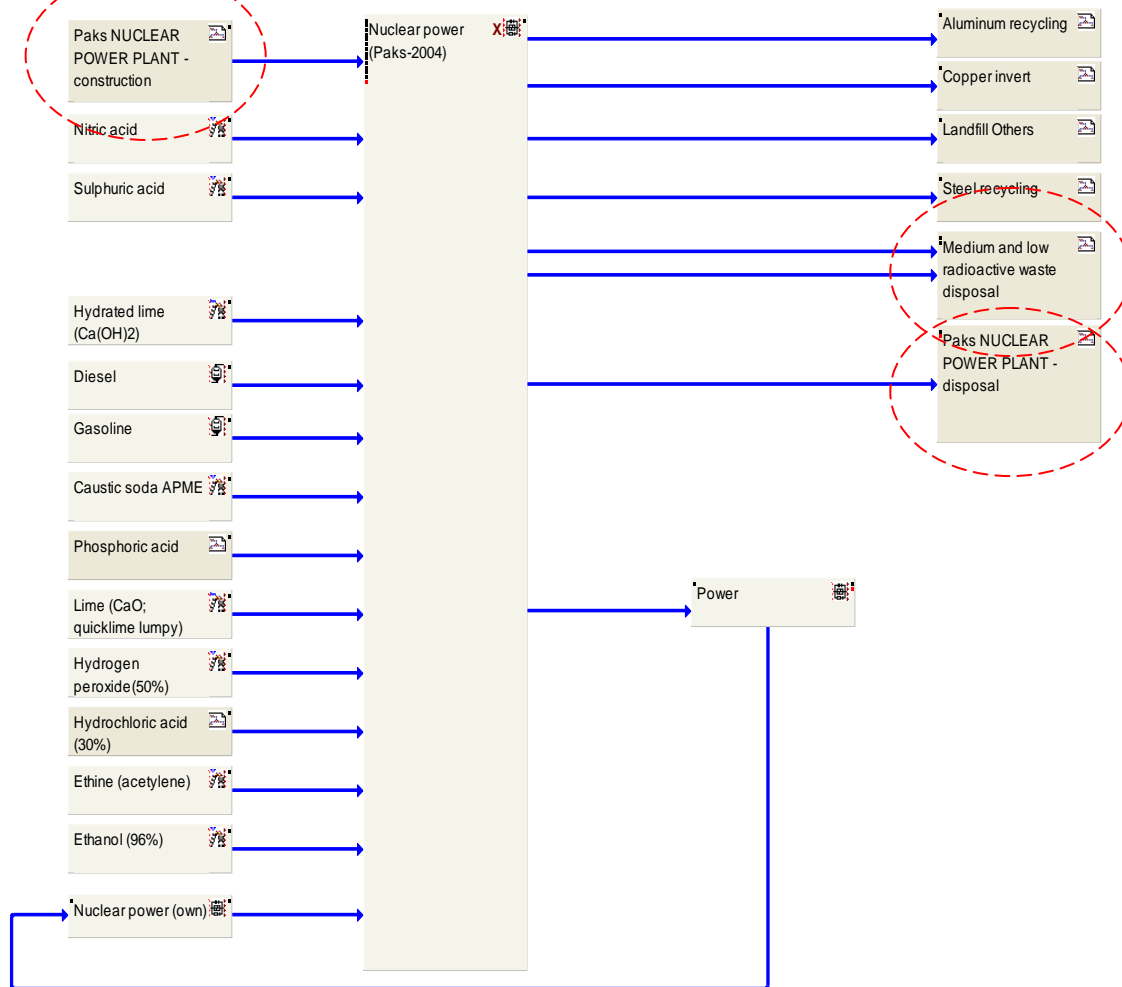
Az **első forgatókönyv** a más energiatermelő egységekkel történő összehasonlításban is szereplő rendszerhatár, azaz csak az üzemanyag előállítása és az elektromosáram-termelés.

A **második forgatókönyvben** már jelen van a keletkező kis és közepes radioaktivitású hulladékok kezelése is, a Pakson használt úgynevezett MOWA eljárás. A modell a Nukem GmbH cég elérhető adatai alapján történt. A cementáló berendezés energiafogyasztására adataink nincsenek, így csak a felhasznált acélhordók és a cement mennyiségét tudtuk beépíteni. Itt a fő környezetterhelést tehát ezek az elemek okozzák. Az eljárás után kerülnek a hordók a bátaapáti lerakóba, ahol a modell inert hulladékként kezeli azt, mivel semmilyen egyéb káros emisszióval nem kell itt számolni.

A folyékony hulladékokból körülbelül 250-270 m³ keletkezik évente, azaz alig 0,018 ml megtermelt kWh-ként, és 120 m³ szilárd KKA hulladék, ami pedig 0,0085 ml-t jelent kWh-ként.

Paks NUCLEAR POWER PLANT - electricity_built&disposal

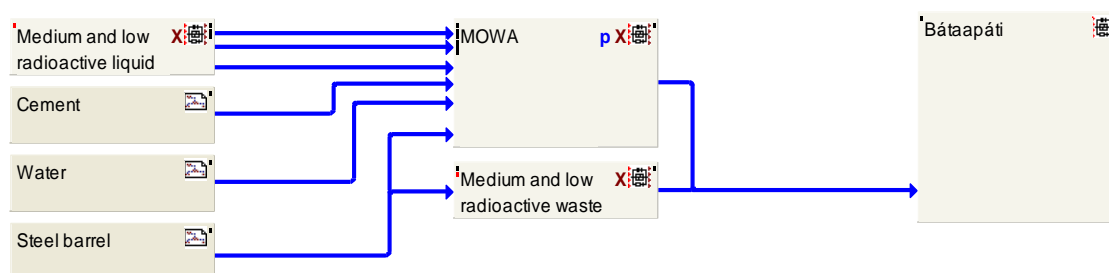
GaBi 4 process plan:Reference quantities



28. ábra Az atomerőművi termelés forgatókönyvei közötti különbségek

Medium and low radioactive waste disposal

GaBi 4 process plan:Reference quantities



29. ábra A KKA hulladék kezelésének modellje

Az építés és felhagyás modellezéséhez a KHT 9. fejezetében található épületmérleget tudtuk felhasználni (3. forgatókönyv). Itt tulajdonképpen a felhasznált acél és beton mennyisége volt kiolvasható. Ezek az adatok voltak irányadók az építéshez használt alapanyagok

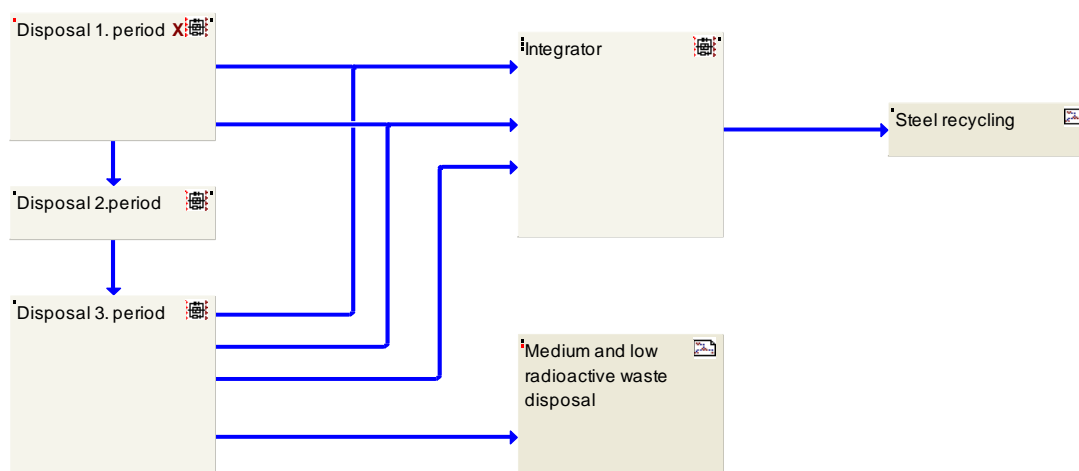
meghatározásában, továbbá a felhagyás során keletkező hasznosítható anyagok mennyiségének alapja is ez volt.

A német ProBas adatbázis is ezeket az alapanyagokat alkalmazza, mivel mennyiségük miatt ezeknek meghatározó a környezetterhelése.

Az építésnél 30 éves üzemidőt vettünk figyelembe, ezt azt jelenti, hogy az ezalatt megtermelt összes elektromos energiából becsülve 1 MJ elektromos energiatermeléséhez 0,033333 darab Paksi Atomerőmű legyártásához szükséges cement és acél szükséges, azaz ezek környezetterhelését lehet még internalizálni a termelés során keletkező emissziókba.

Paks NUCLEAR POWER PLANT - disposal

GaBi 4 process plan:Reference quantities



30. ábra A felhagyás modellje

Negyedik (plusz1) forgatókönyvként (amely az élettartamot kivéve, adatait tekintve lényegében megegyezik a 3. forgatókönyvvel) az erőmű élettartam hosszabbításának eredményeként plusz 20 év élettartamot vizsgáltunk az építés-felhagyás modelljeire.

5.2.2 A négy forgatókönyv leltáranalízise

A felhagyás során keletkező anyagok, valamint az építéshez felhasznált anyagok minőségi és mennyiségi jellemzői a Paksi Atomerőmű KHT-ának 9. fejezetéből származnak, míg a hulladékkezelés egyes adatai szintén a KHT-ból, valamint a Nukem cég jelentéseiből és becslésekből.

A magyar energiaszektor villamosenergia-termelésének életciklus-, és „carbon footprint” elemzése

Paks NUCLEAR POWER PLANT - building -- Plan instance

Local name: Paks NUCLEAR POWER PLANT - construction No image

Local settings: VF LCC

Scaling factor: 0,033333 Fixed Allocation: [no allocation]

Free parameters

Fixed parameters

Inputs					Outputs				
Alias	Flow	Quantity	Amount	Unit	Alias	Flow	Quantity	Amount	Unit
	Inert rock [Non renewable resources]	Mass	4,263E009	kg		Krypton (Kr85) [Radioactive emissions to air]	Activity	4,4827E014	Bq
	Water (surface water) [Water]	Mass	3,7148E009	kg		Hydrogen (H3) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	1,7723E013	Bq
	Air [Renewable resources]	Mass	3,2369E009	kg		Radon (Rn222) [Radioactive emissions to air]	Activity	6,5343E012	Bq
	Water (ground water) [Water]	Mass	2,066E009	kg		Radium (Ra226) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	1,9766E011	Bq
	Lignite Hungary [Lignite products]	Mass	3,4175E008	kg		Xenon (Xe133) [Radioactive emissions to air]	Activity	6,002E010	Bq
	Primary energy from hydro power [REnergy ren. (r)]	Energy ren. (r)	1,3188E008	MJ		Hydrogen (H3) [Radioactive emissions to air]	Activity	5,1743E010	Bq
	Water for industrial use [Operating r]	Mass	5,9727E007	kg		Argon (Ar41) [Radioactive emissions to air]	Activity	2,6565E010	Bq
	Stone from mountains [Non renewable]	Mass	5,613E007	kg		Xenon (Xe135) [Radioactive emissions to air]	Activity	1,9855E010	Bq
	Natural gas CIS [Natural gas (resourc)]	Mass	4,9814E007	kg		Carbon (C14) [Radioactive emissions to air]	Activity	1,221E010	Bq
	Water [Water]	Mass	3,584E007	kg		Waste heat [Other emissions to air]	Energy (net ce)	7,3608E009	MJ
	Water (river water) [Water]	Mass	1,358E007	kg		Cesium (Cs137) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	5,639E009	Bq
	Crude oil CIS [Crude oil (resource)]	Mass	1,254E007	kg		Overburden [Stockpile goods]	Mass	4,258E009	kg
	Process water [Operating materials]	Mass	1,021E007	kg		Water (river water) [Water]	Mass	4,1842E009	kg
	Primary energy from solar energy [REnergy ren. (s)]	Energy ren. (s)	5,256E006	MJ		Uranium (U238) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	3,4446E009	Bq
	Hard coal CIS [Hard coal products]	Mass	4,1002E006	kg		Exhaust [Other emissions to air]	Mass	2,6764E009	kg
	Cooling water [Operating materials]	Mass	3,727E006	kg		Cobalt (Co60) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	2,6145E009	Bq
	Natural gas Germany [Natural gas (r)]	Mass	3,5568E006	kg		Steam [Inorganic emissions to air]	Mass	1,9398E009	kg
	Hard coal Czech Republic [Hard coal]	Mass	3,2259E006	kg		Iodine (I129) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	1,7352E009	Bq
	Iron ore [Non renewable resources]	Mass	2,7892E006	kg		Waste heat [Other emissions to fresh water]	Energy (net ce)	1,0948E009	MJ
	Crude oil free customer Hungary [Cr]	Mass	2,4196E006	kg		Xenon (Xe138) [Radioactive emissions to air]	Activity	6,716E008	Bq
	Hard coal Poland [Hard coal (resourc)]	Mass	2,3237E006	kg		Cesium (Cs134) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	6,0998E008	Bq
	Limestone (calcium carbonate) [Non]	Mass	2,2174E006	kg		Carbon (C14) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	6,0731E008	Bq
	Natural Aggregate [Non renewable r]	Mass	2,0674E006	kg		Strontium (Sr90) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	5,794E008	Bq
	Hard coal Germany [Hard coal (resourc)]	Mass	2,0427E006	kg		Carbon dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass	5,6913E008	kg
	Primary energy from wind power [REnergy ren. (r)]	Energy ren. (r)	1,9354E006	MJ		Manganese (Mn54) [Radioactive emissions to fresh wa]	Activity	4,0532E008	Bq
	Natural gas France [Natural gas (res)]	Mass	1,8977E006	kg		Xenon (Xe131m) [Radioactive emissions to air]	Activity	3,6673E008	Bq
	Hard coal USA [Hard coal (resource)]	Mass	1,7848E006	kg		Uranium (U238) [Radioactive emissions to air]	Activity	1,41E008	Bq
	Water (processed) [Operating mater]	Mass	8,396E005	kg		Plutonium (Pu alpha) [Radioactive emissions to fresh w]	Activity	4,7756E007	Bq
	Heavy spar (barytes) [Non renewab]	Mass	7,9359E005	kg		Waste water [Other emissions to fresh water]	Mass	4,711E007	kg
	Methane [Organic intermediate prod]	Mass	7,232E005	kg		Uranium (U234) [Radioactive emissions to air]	Activity	2,8404E007	Bq
	Carbon dioxide [Renewable resource]	Mass	5,5538E005	kg		Iodine (I129) [Radioactive emissions to air]	Activity	2,6019E007	Bq
	Lignite Germany (Rheinisch) [Lignite]	Mass	5,4712E005	kg		non used primary energy from water power [Other en]	Energy ren. (n2)	2,31E007	MJ
	Hard coal South Africa [Hard coal (re)]	Mass	5,3969E005	kg		Curium (Cm alpha) [Radioactive emissions to fresh wa]	Activity	1,59E007	Bq
	Primary energy from geothermics [REnergy ren. (r)]	Energy ren. (r)	4,8074E005	MJ		Ruthenium (Ru106) [Radioactive emissions to fresh wa]	Activity	1,1998E007	Bq
	Soil [Non renewable resources]	Mass	4,7958E005	kg		Americium (Am241) [Radioactive emissions to fresh wa]	Activity	1,1998E007	Bq
	Crude oil Norway [Crude oil (resourc)]	Mass	3,8812E005	kg					

Data quality

Technique: No statement Location: No statement Time: No statement

Grouping

31. ábra A második forgatókönyv leltáranalízise 1

A magyar energiaszektor villamosenergia-termelésének életciklus-, és „carbon footprint” elemzése

Paks NUCLEAR POWER PLANT - disposal -- Plan instance

Local name: Paks NUCLEAR POWER PLANT - disposal No image

Local settings: VF LCC

Scaling factor: 0,0333333 Fixed Allocation: (no allocation)

Free parameters

Fixed parameters

Inputs					Outputs				
Alias	Flow	Quantity	Amount	Unit	Alias	Flow	Quantity	Amount	Unit
	Krypton (Kr85) [Radioactive emission]	Activity	9,5627E011	Bq		Krypton (Kr85) [Radioactive emissions to air]	Activity	2,1021E012	Bq
	Hydrogen (H3) [Radioactive emission]	Activity	3,2971E010	Bq		Hydrogen (H3) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	8,0619E010	Bq
	Radon (Rn222) [Radioactive emission]	Activity	1,0734E010	Bq		Radon (Rn222) [Radioactive emissions to air]	Activity	2,9749E010	Bq
	Xenon (Xe133) [Radioactive emission]	Activity	4,5691E008	Bq		Radium (Ra226) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	9,1381E008	Bq
	Radium (Ra226) [Radioactive emission]	Activity	3,7449E008	Bq		Xenon (Xe133) [Radioactive emissions to air]	Activity	3,2338E008	Bq
	Hydrogen (H3) [Radioactive emission]	Activity	2,4806E008	Bq		Water for industrial use [Operating materials]	Mass	2,9151E008	kg
	Xenon (Xe135) [Radioactive emission]	Activity	2,1277E008	Bq		Hydrogen (H3) [Radioactive emissions to air]	Activity	2,5908E008	Bq
	Carbon (C14) [Radioactive emission]	Activity	1,8843E008	Bq		Waste water [Other emissions to fresh water]	Mass	1,5706E008	kg
	Argon (Ar41) [Radioactive emission]	Activity	1,7345E008	Bq		Argon (Ar41) [Radioactive emissions to air]	Activity	1,3966E008	Bq
	Waste water [Other emissions to fresh water]	Mass	1,3254E008	kg		Xenon (Xe135) [Radioactive emissions to air]	Activity	1,0683E008	Bq
	Water (surface water) [Water]	Mass	9,3937E007	kg		Carbon (C14) [Radioactive emissions to air]	Activity	8,0009E007	Bq
	Water [Water]	Mass	7,3629E007	kg		Water [Water]	Mass	7,7654E007	kg
	Water for industrial use [Operating materials]	Mass	6,1604E007	kg		Water (surface water) [Water]	Mass	5,0508E007	kg
	Xenon (Xe135m) [Radioactive emission]	Activity	5,5564E007	Bq		Process water [Operating materials]	Mass	4,9798E007	kg
	Inert rock [Non renewable resources]	Mass	2,0368E007	kg		Waste heat [Other emissions to air]	Energy (net ca)	3,3296E007	MJ
	Air [Renewable resources]	Mass	2,0128E007	kg		Cesium (Cs137) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	2,5672E007	Bq
	Overburden [Stockpile goods]	Mass	1,7327E007	kg	*	Inert rock [Non renewable resources]	Mass	2,3294E007	kg
	Waste heat [Other emissions to air]	Energy (net ca)	1,4015E007	MJ		Overburden [Stockpile goods]	Mass	1,9383E007	kg
	Xenon (Xe138) [Radioactive emission]	Activity	1,2884E007	Bq		Air [Renewable resources]	Mass	1,765E007	kg
	Uranium [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	1,0215E007	Bq		Xenon (Xe135m) [Radioactive emissions to air]	Activity	1,7611E007	Bq
	Exhaust [Other emissions to air]	Mass	9,9594E006	kg		Exhaust [Other emissions to air]	Mass	1,5343E007	kg
	Carbon dioxide [Inorganic emissions]	Mass	9,8649E006	kg		Uranium [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	1,3302E007	Bq
	Cesium (Cs137) [Radioactive emission]	Activity	9,2668E006	Bq		Iron ore [Non renewable resources]	Mass	1,2031E007	kg
	Tailings [Stockpile goods]	Mass	8,1656E006	kg	*	Cobalt (Co60) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	1,1908E007	Bq
	Cooling water [Waste for recovery]	Mass	6,853E006	kg	*	Steam [Inorganic emissions to air]	Mass	1,1301E007	kg
	Krypton (Kr85m) [Radioactive emission]	Activity	5,2082E006	Bq		Concrete (normal) [Flows]	Mass	8,8744E006	kg
	Xenon (Xe133m) [Radioactive emission]	Activity	5,1619E006	Bq		Iodine (I129) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	8,1364E006	Bq
	Steam [Inorganic emissions to air]	Mass	4,8647E006	kg		Waste heat [Other emissions to fresh water]	Energy (net ca)	7,8364E006	MJ
	Cesium (Cs134) [Radioactive emission]	Activity	4,8329E006	Bq		Cooling water [Operating materials]	Mass	6,853E006	kg
	Cobalt (Co60) [Radioactive emission]	Activity	4,3315E006	Bq		Carbon dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass	5,3569E006	kg
	Iodine (I129) [Radioactive emission]	Activity	3,7009E006	Bq		Xenon (Xe138) [Radioactive emissions to air]	Activity	4,7567E006	Bq
	Waste heat [Other emissions to fresh water]	Energy (net ca)	3,4414E006	MJ		Water (river water) [Water]	Mass	4,5541E006	kg
	Used air [Other emissions to air]	Mass	3,0839E006	kg		Cesium (Cs134) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	3,8438E006	Bq
	Xenon (Xe131m) [Radioactive emission]	Activity	2,8611E006	Bq		Uranium (U238) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	3,7491E006	Bq
	Strontium (Sr90) [Radioactive emission]	Activity	2,6541E006	Bq		Strontium (Sr90) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	3,1119E006	Bq
	Cooling water [Operating materials]	Mass	2,3229E006	kg					

Data quality

Technique: No statement Location: No statement Time: No statement

Grouping

32. ábra A második forgatókönyv leltáranalízise 2

A magyar energiaszektor villamosenergia-termelésének életciklus-, és „carbon footprint” elemzése

Medium and low radioactive waste disposal -- Plan instance

Local name: Medium and low radioactive waste disposal

Local settings: VF LCC

Scaling factor: 1 Fixed Allocation: (no allocation)

Free parameters

Fixed parameters

Inputs					Outputs				
Alias	Flow	Quantity	Amount	Unit	Alias	Flow	Quantity	Amount	Unit
Inert rock [Non renewable resources]	Mass	4,5259E007		kg	Krypton (Kr85) [Radioactive emissions to air]	Activity	4,7393E012		Bq
Water (surface water) [Water]	Mass	4,0161E007		kg	Hydrogen (H3) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	1,873E011		Bq
Air [Renewable resources]	Mass	3,4412E007		kg	Radon (Rn222) [Radioactive emissions to air]	Activity	6,9038E010		Bq
Water (ground water) [Water]	Mass	2,1753E007		kg	Radium (Ra226) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	2,0891E009		Bq
Water for industrial use [Operating materials]	Mass	7,9246E006		kg	Xenon (Xe133) [Radioactive emissions to air]	Activity	6,391E008		Bq
Lignite Hungary [Lignite products]	Mass	3,5983E006		kg	Hydrogen (H3) [Radioactive emissions to air]	Activity	5,4895E008		Bq
Water [Water]	Mass	1,7162E006		kg	Argon (Ar41) [Radioactive emissions to air]	Activity	2,8247E008		Bq
Primary energy from hydro power [Renewable resources]	Energy	11,4307E006		MJ	Xenon (Xe135) [Radioactive emissions to air]	Activity	2,1224E008		Bq
Stone from mountains [Non renewable resources]	Mass	5,9099E005		kg	Carbon (C14) [Radioactive emissions to air]	Activity	1,3134E008		Bq
Natural gas CIS [Natural gas (resources)]	Mass	5,2668E005		kg	Waste heat [Other emissions to air]	Energy (net calorific value)	7,7794E007		MJ
Cooling water [Operating materials]	Mass	2,1286E005		kg	Cesium (Cs137) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	5,9579E007		Bq
Process water [Operating materials]	Mass	2,0858E005		kg	Overburden [Stockpile goods]	Mass	4,5124E007		kg
Iron ore [Non renewable resources]	Mass	1,9528E005		kg	Water (river water) [Water]	Mass	4,4056E007		kg
Water (river water) [Water]	Mass	1,7316E005		kg	Uranium (U238) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	3,6268E007		Bq
Crude oil CIS [Crude oil (resources)]	Mass	1,3238E005		kg	Exhaust [Other emissions to air]	Mass	2,836E007		kg
Hard coal Germany [Hard coal (resources)]	Mass	63608		kg	Cobalt (Co60) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	2,7624E007		Bq
Primary energy from solar energy [Renewable resources]	Energy	155340		MJ	Steam [Inorganic emissions to air]	Mass	2,0527E007		kg
Limestone (calcium carbonate) [Non renewable resources]	Mass	50361		kg	Iodine (I129) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	1,8345E007		Bq
Hard coal CIS [Hard coal products]	Mass	43171		kg	Waste heat [Other emissions to fresh water]	Energy (net calorific value)	1,1601E007		MJ
Natural gas Germany [Natural gas (resources)]	Mass	38694		kg	Xenon (Xe138) [Radioactive emissions to air]	Activity	7,2593E006		Bq
Hard coal Czech Republic [Hard coal (resources)]	Mass	35423		kg	Cesium (Cs134) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	6,4999E006		Bq
Hard coal Poland [Hard coal (resources)]	Mass	29332		kg	Carbon (C14) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	6,4207E006		Bq
Crude oil free customer Hungary [Crude oil (resources)]	Mass	25476		kg	Carbon dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass	6,1786E006		kg
Hard coal USA [Hard coal (resources)]	Mass	22981		kg	Strontium (Sr90) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	6,1461E006		Bq
Primary energy from wind power [Renewable resources]	Energy	122065		MJ	Manganese (Mn54) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	4,2824E006		Bq
Natural Aggregate [Non renewable resources]	Mass	21768		kg	Xenon (Xe131m) [Radioactive emissions to air]	Activity	3,906E006		Bq
Natural gas France [Natural gas (resources)]	Mass	19982		kg	Waste water [Other emissions to fresh water]	Mass	2,913E006		kg
Lignite Germany [Lignite (resources)]	Mass	18717		kg	Uranium (U238) [Radioactive emissions to air]	Activity	1,4861E006		Bq
Hard coal South Africa [Hard coal (resources)]	Mass	12556		kg	Xenon (Xe135m) [Radioactive emissions to air]	Activity	9,3203E005		Bq
Water (processed) [Operating materials]	Mass	8840,1		kg	Plutonium (Pu alpha) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	5,0568E005		Bq
Heavy spar (barites) [Non renewable resources]	Mass	8397,7		kg	Uranium (U234) [Radioactive emissions to air]	Activity	3,0011E005		Bq
Methane [Organic intermediate products]	Mass	7614,6		kg	Iodine (I129) [Radioactive emissions to air]	Activity	2,749E005		Bq
Lignite Germany (Rheinisch) [Lignite (resources)]	Mass	7520,5		kg	non used primary energy from water power [Other emissions to air]	Energy (net calorific value)	2,4153E005		MJ
Soil [Non renewable resources]	Mass	6049		kg	Uranium [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	2,3782E005		Bq
Carbon dioxide [Renewable resources]	Mass	5847,6		kg	Cooling water [Waste for recovery]	Mass	2,1238E005		kg
Primary energy from geothermics [Renewable resources]	Energy	15061,7		MJ					

Data quality

Technique: No statement Location: No statement Time: No statement

Grouping

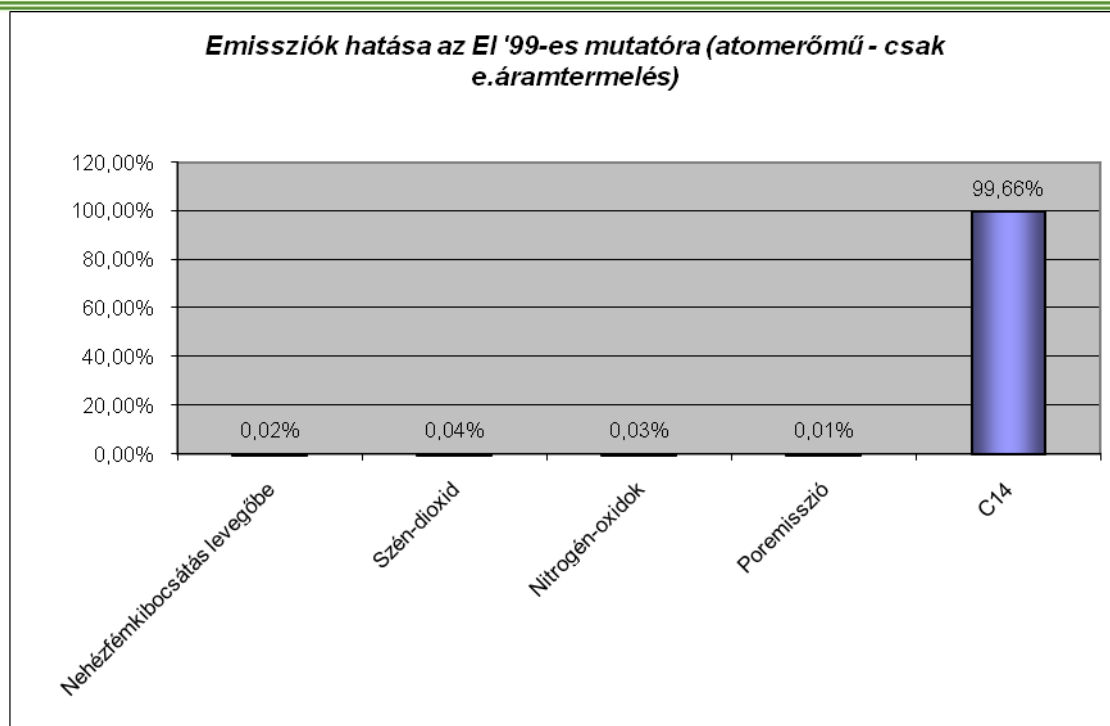
33. ábra A második forgatókönyv leltáranalízise 3

5.2.3 A második, harmadik és negyedik (plusz 1) forgatókönyv eredményei

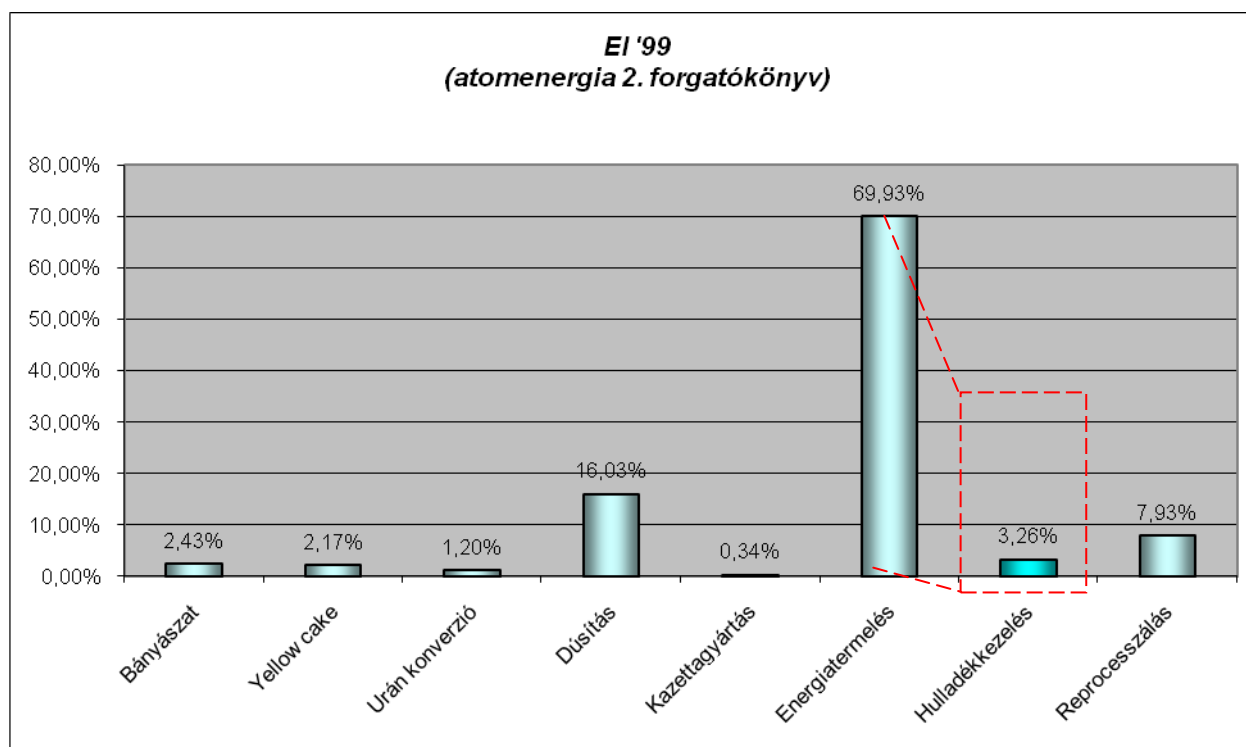
Kiértékeléshez CML 2001-es és EI '99 aggregált mutatóját használtuk.

5.2.3.1 Az EI'99 módszer (2. forgatókönyv)

Az EI '99-nél erős hangsúlyt kapnak a légköri emissziók, azok közül is a radioaktív kibocsátások. Esetünkben az energiatermelést, azaz a Paksi Atomerőmű termelését részletesen modelleztük, főként a 2004-es kibocsátási adatok alapján. Ebben az 1 MJ megtermelt energia esetében a C¹⁴ kibocsátása 14 Bq volt, ami ebben az életciklus szakaszban az EI '99 99 %-át okozza.



34. ábra Emissziók arány az EI'99 módszerben



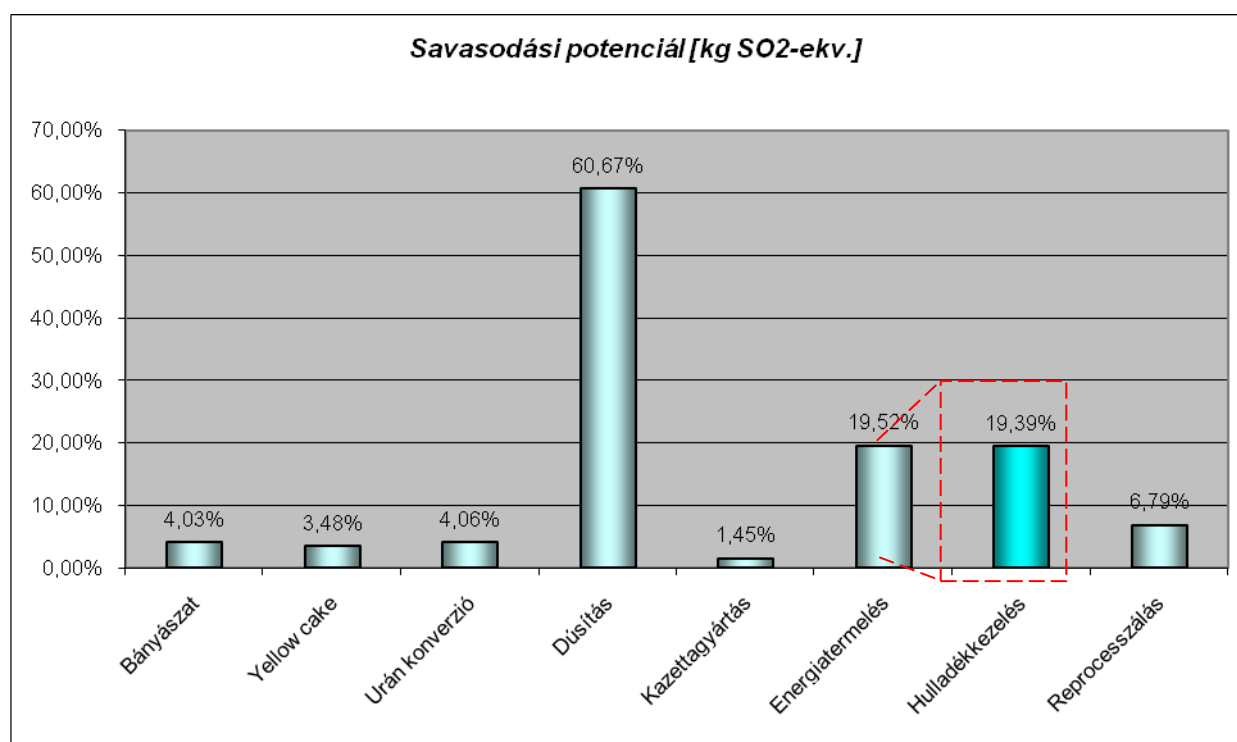
35. ábra A hulladékkezelés integrálása a rendszerhatárba

A hulladékkezelés beépítésével az energiatermelés környezetterhelés EI '99 szerint minimális 3,26 %-ban emelkedett csupán, ami az egész üzemanyag ciklushoz viszonyítva 0,3 %-os emelkedést jelent.

5.2.3.2 A CML módszer (2. forgatókönyv)

Az urán dúsítás ebben az esetben is magas **savasodási potenciállal** jár. A dúsításnak magas az energiaigénye, itt az orosz energiamixből nagy mennyiségű hidrogén-halogenid jut a légkörbe, mint a HCl vagy a HF, valamint ennél meghatározóbb a NO_x kibocsátás.

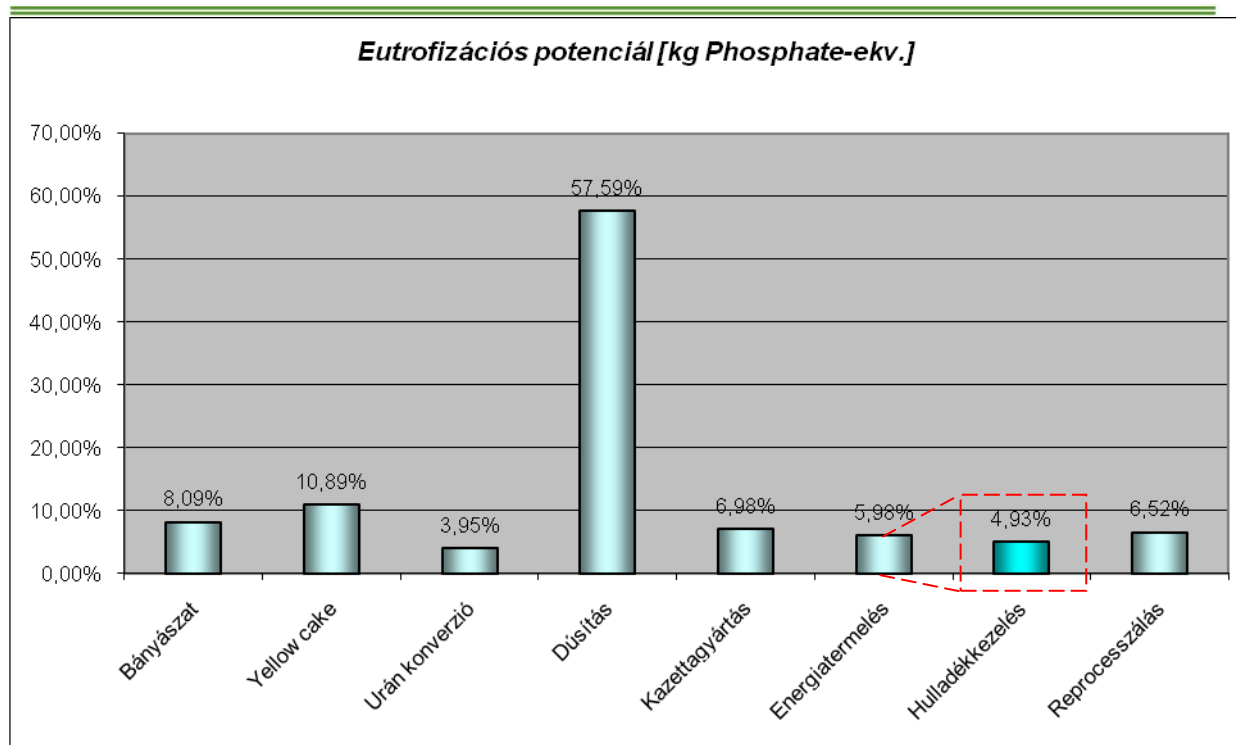
A termelés ebben az esetben 19,5 %-kal veszi ki a részét az atomenergia savasodási potenciáljából. Ebből is 19,4 % a hulladékkezelés során keletkezik, azaz e nélkül csak az energiatermelés alig 0,1 % lenne a többi részfolyamathoz viszonyítva.



36. ábra Savasodási potenciál a 2. forgatókönyvben

A **tápanyag-feldúsulás** esetében a bányászat és a „yellow cake” gyártás is kiemelkedik, míg a termelés alig 6 %-os teljesítményéből 5 %-ot a hulladékkezelés képvisel.

Durván fele-fele arányban légköri és vízi emissziók okozzák ezt a hatást. A légköri kibocsátások közül számottevő az orosz energiamixből származó NO_x, ami miatt a dúsítás teljesítménye ennyire alacsony, valamint a vízi emisszió közül az ammónia kibocsátás, amely nagy mennyiségben származik az uránbányászatból és a „yellow cake” gyártásból.

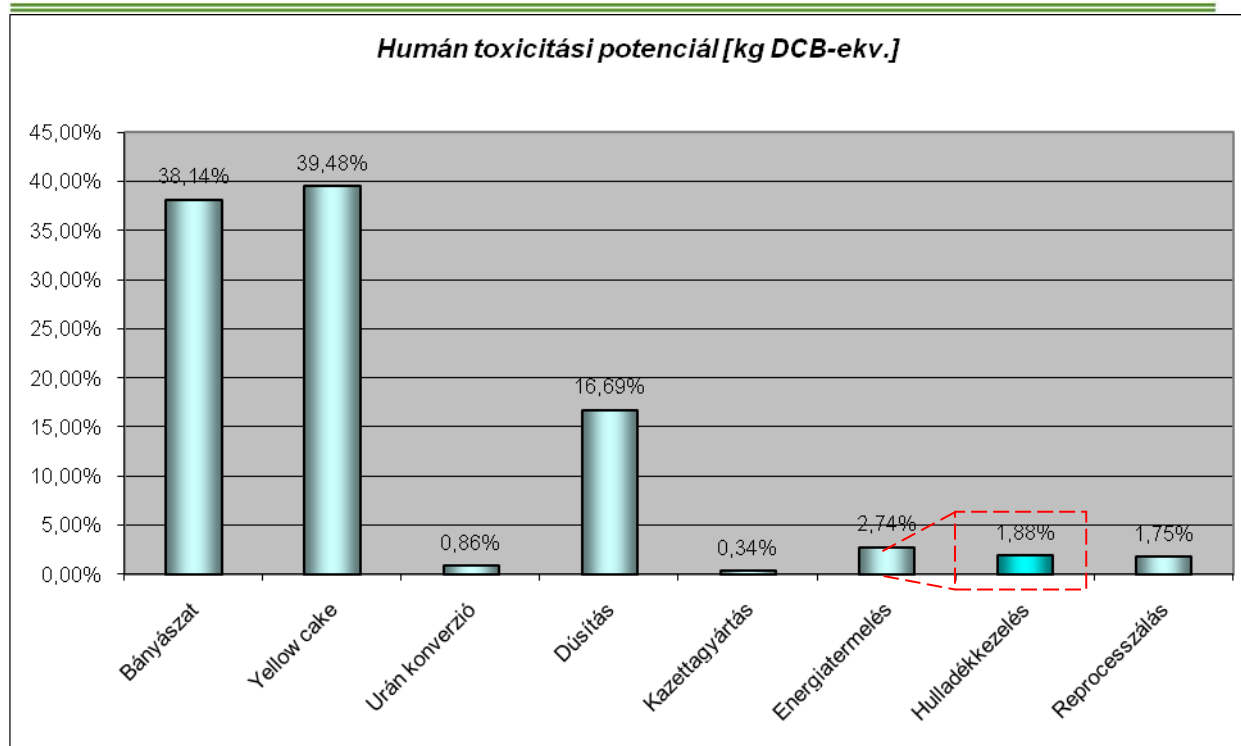


37. ábra Eutrofizációs potenciál a 2. forgatókönyvben

A **humán toxicitás** egy helyi problémára hívja fel a figyelmet, arra, hogy megközelítőleg mennyi, az emberi egészségre veszélyes anyag jut ki a környezetbe.

A bányászat, és a „yellow cake” gyártása állnak az első helyen. Légtöri emissziók esetében főként nehézfémek kibocsátása jön szóba. Ezek az energiafogyasztással vannak szoros kapcsolatban, ezért magas ebben a kategóriában is dúsítást jelölő oszlop. Itt az orosz energiatermésből a légkörbe bocsátott nehézfémek okoznak környezetterhelést.

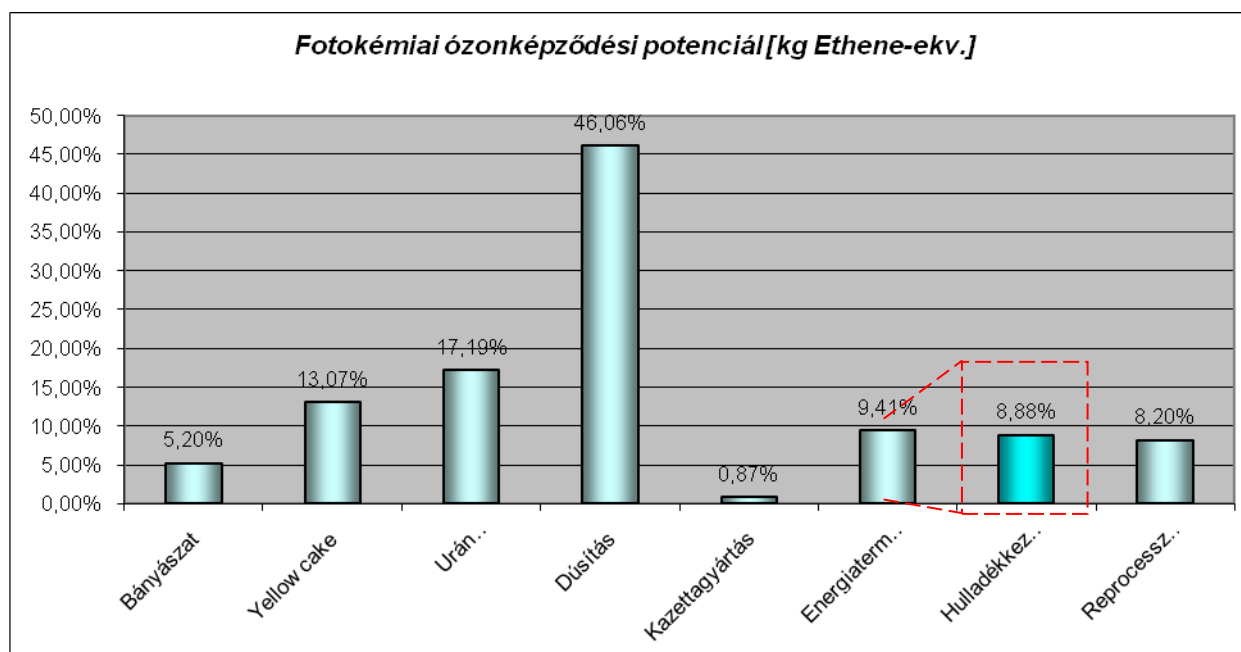
A nehézfémek kibocsátása a felszín alatti vizekbe is ilyen hatást okoz. Ez elsősorban a bányászat, és a „yellow cake” gyártás során következik be, így ez a hatás viszonylag könnyen lokalizálható.



38. ábra Humán toxicitási potenciál a 2. forgatókönyvben

A troposzférikus ózon képződésében elsősorban a szénhidrogén gázok vesznek részt, melyek az ózonnépződés kinetikájában előkelő helyet foglalnak el. Ide tartoznak az ún. NMVOC (nem metán tartalmú illékony szénhidrogének) vegyületek, és a metán. Ez az elektromos energiahasználat, valamint az üzemanyag használatával függ össze.

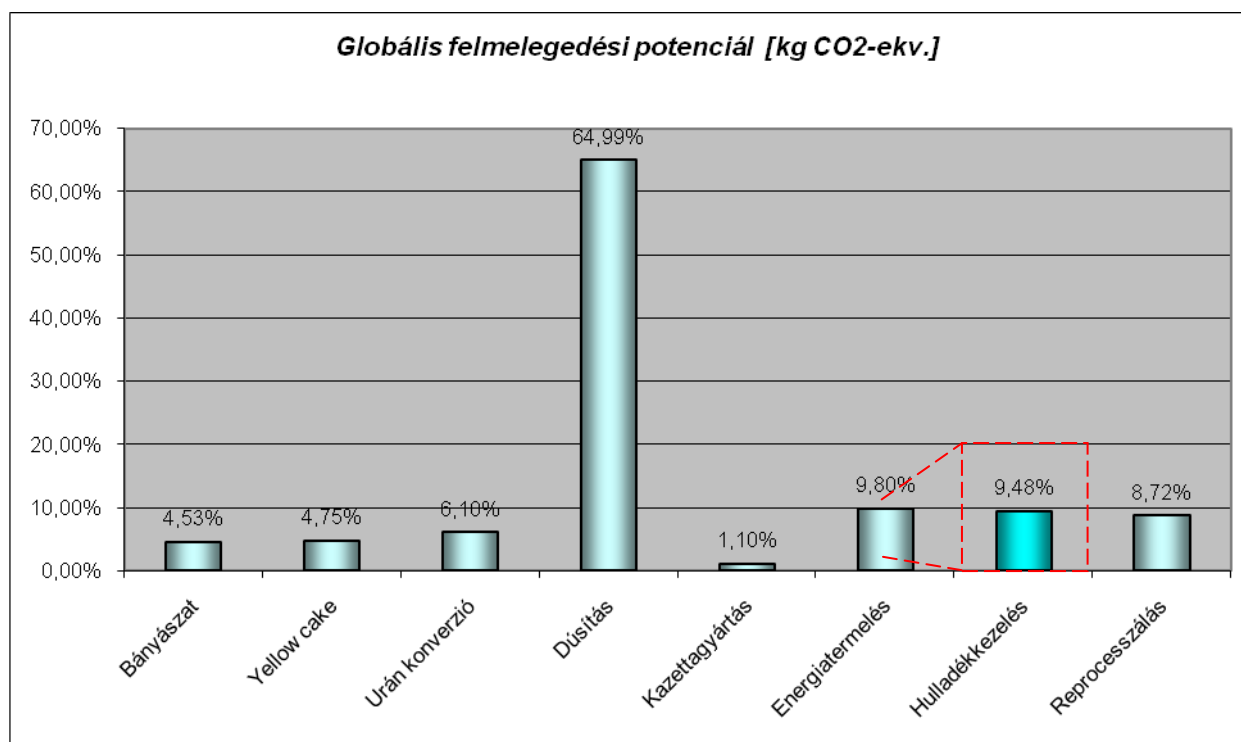
Az energiatermelésben a hulladékkezelés teszi ki a kibocsátások legnagyobb hányadát, a cementgyártáshoz használt tüzelőanyagok kibocsátása és magas energiaigény miatt.



39. ábra „nyári szmog” a 2. forgatókönyvben

5.2.3.3 A „carbon footprint” (2. forgatókönyv)

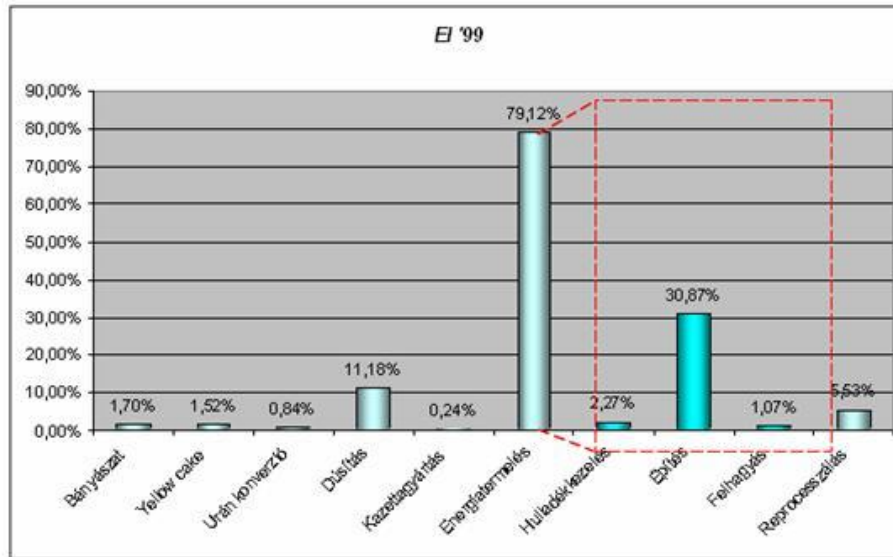
A Globális felmelegedési potenciál (GWP) egyértelmű okozói az üvegházhatású gázok (ÜHG). Ezek externáliaként az energiafogyasztás során kerülnek a légkörbe, így a nagy energiafogyasztású részfolyamatok ÜHG kibocsátása mindig is nagyobb lesz, mint a többié. Az energiatermelés ÜHG kibocsátásában a hulladékkezelésnek több mint 90 %-os részesedése van, ha a rendszerhatárokból azt kivennénk, akkor ez kevesebb, mint 0,32 %-ban részesedne a GWP-ből.



40. ábra Üvegház potenciál a 2. forgatókönyvben

5.2.3.4 Az EI '99 módszer (3. forgatókönyv)

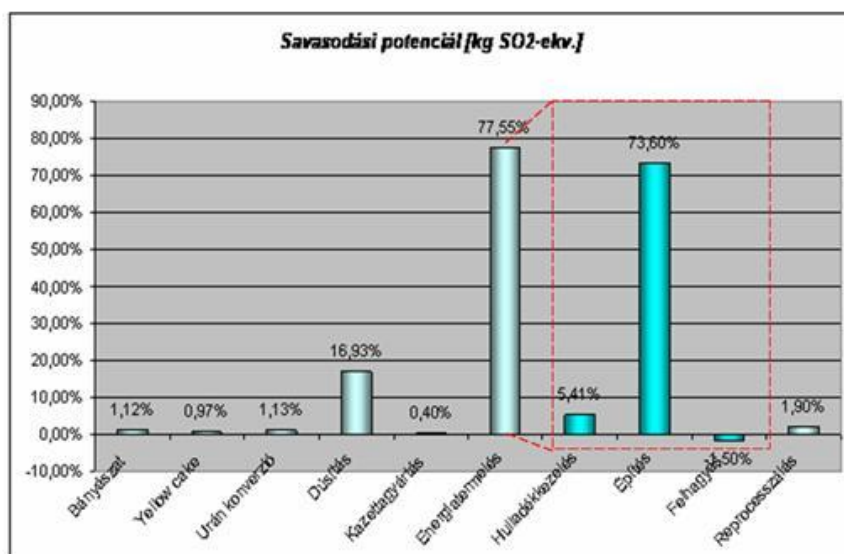
Az EI '99, mint már az ismeretes, erősen súlyozza a közvetlen radioaktív kibocsátásokat, ami a részletes paksi modellben 1 MJ esetében körülbelül 14 Bq C¹⁴-et jelent. A fosszilis energiatermelés, amely a cement és acélgyártásban mint elektromos áram szerepel, valamint az olaj és gáz előállítása, felhasználása a cementgyártásban szintén olyan emissziókkal (NO_x, CO₂, stb.) jár, amit az EI '99 jobban figyelembe vesz, ezért magas itt az építés hatása (75 %)



41. ábra Az építés-felhagyás integrálása a rendszerhatárba

5.2.3.5 A CML módszer (3. forgatókönyv)

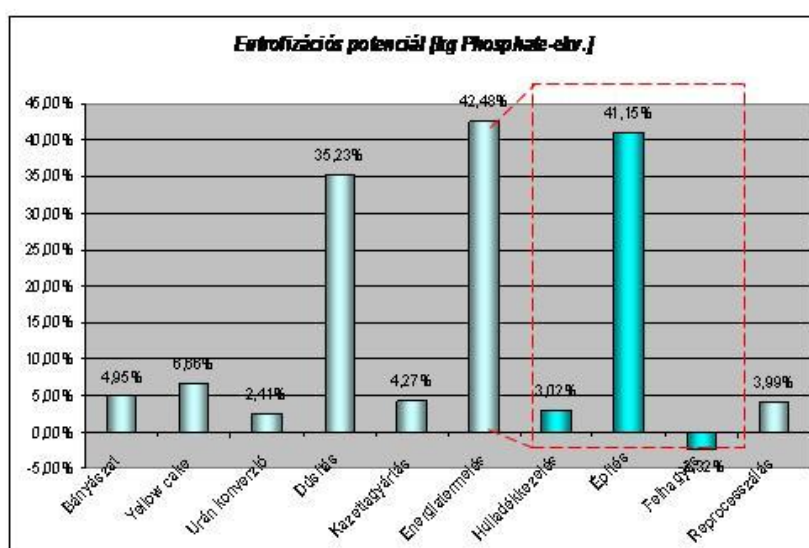
A **savasodási potenciálnál** (AP) máris szembevetendő, hogy az energiatermelésbe épített építés az AP 95 %-áért felelős. E mellett a hulladékkezelés, sőt az előzőekben magas értékekkel bíró dúsítás is eltörpül.



42. ábra Savasodási potenciál a 3. forgatókönyvben

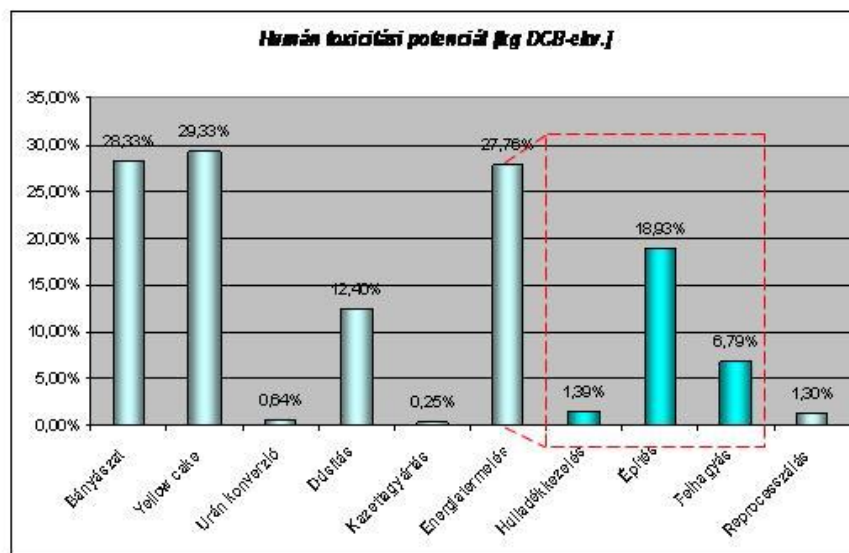
Az **eutrofizációnál** szintén megfigyelhető ez a trend, ami az építkezés definiálásával kialakult, bár nem olyan drasztikus mértékben, mint azt a savasodásnál láthattuk.

A felhagyásnál itt már megjelenik egy olyan, a környezet szempontjából pozitív hatás, ami környezetteljesítményben javulást okoz. Ez a másodlagos nyersanyagok feldolgozásából következik. Ezeket a másodlagos nyersanyagokat nem kell aztán megtermelni, ill. az életciklusba visszaforgatva néhány környezetterhelő életciklus szakasz kihagyható, amelyeknek környezetterhelése jóváírható a kiértékelés során.



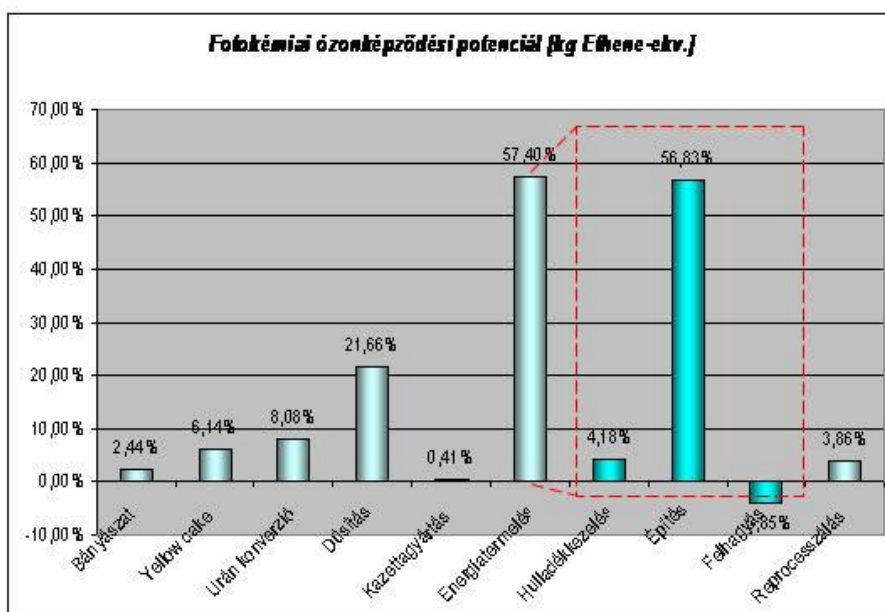
43. ábra Eutrofizációs potenciál a 3. forgatókönyvben

A **humán toxicitás**nál szintén a cement mennyisége, és előállításának energiaigénye okozza a magas értékeket, úgy körülbelül 80 %-ban. Ez mellett még a bányászat, és a „yellow cake” gyártás hatása marad egyértelműen erős.



44. ábra Humán toxicitási potenciál a 3. forgatókönyvben

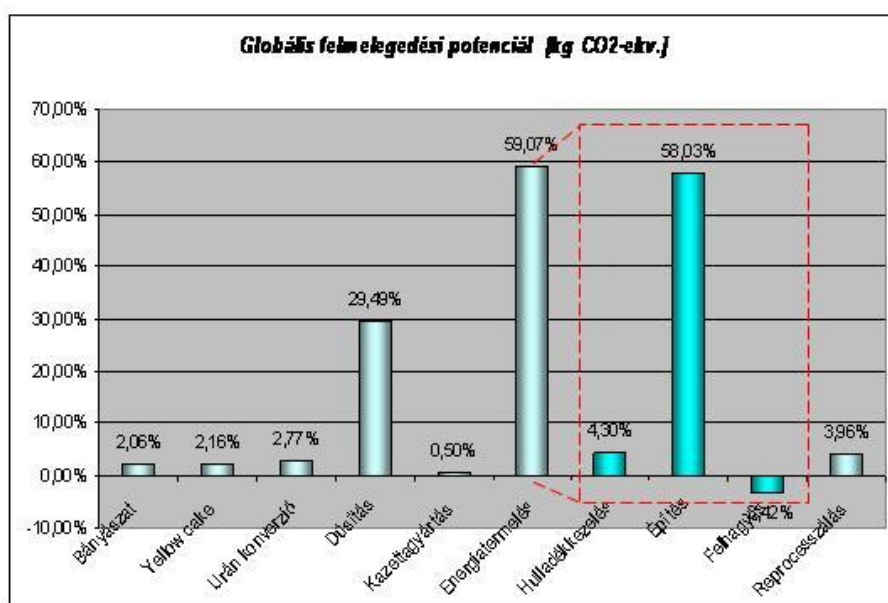
Az **ózonképződési potenciál**, mint lokális hatás, szintén az építésnél lép fel a legmagasabb mértékben. Ez az energiatermelés, ill. a cementgyártás, és az ahhoz szükséges üzemanyagok előállítása során bekövetkezett szénhidrogén kibocsátásból következik. A további hatássorrend megegyezik az előző forgatókönyvvel.



45. ábra Ózonképződési potenciál a 3. forgatókönyvben

5.2.3.6 A „carbon footprint” (3. forgatókönyv)

A **globális felmelegedés (GWP)** hatást vizsgálva is a nagy mennyiségű cement és acél magas energiaigénye okozza azt, hogy az építés környezeti mutatójának értéke vette át az első helyet a GWP esetében.



46. ábra Üvegház potenciál a 3. forgatókönyvben

5.2.3.7 A negyedik (plusz 1) forgatókönyv

A 4. forgatókönyv tulajdonképpen a 3. forgatókönyv újra vizsgálata az erőmű plusz 20 év élettartam hosszabbítása figyelembevételével, tehát ugyanazok a környezeti hatások nem a 3. forgatókönyvben vizsgált 30 évre, hanem plusz 20 évre „osznak el”, tehát a hatások nagyságrendje is kedvezőbb.

5.2.3.8 A forgatókönyvek összegzése

A 47. ábrán összegezve láthatók a környezeti indikátorok. 100 %-nak vettük az eredeti, csak az üzemanyagcikluson alapuló energiatermelést, amit a KKA hulladék kezelése, és az építés/leszerelés forgatókönyve követ.

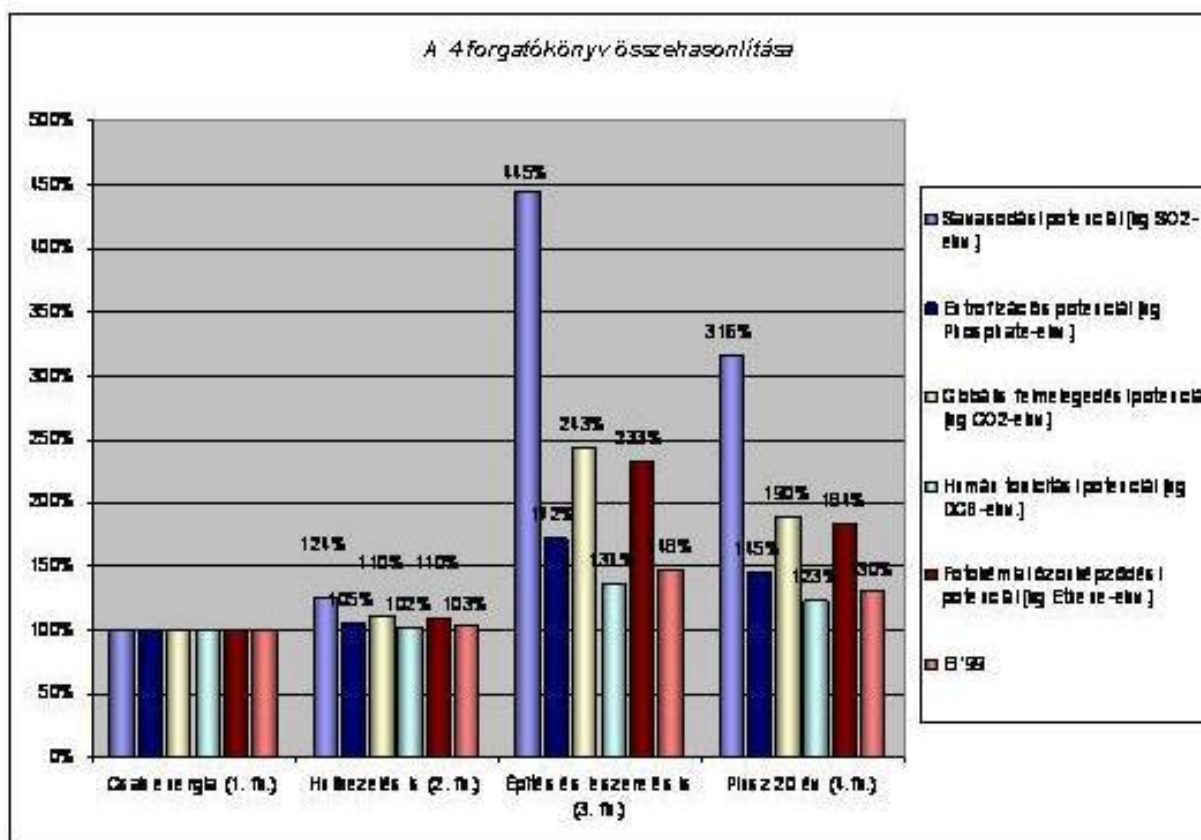
A savasodási potenciál negyedével nőtt az alaphoz képest, ami a cementfelhasználás energiaigényéből következik. Tulajdonképpen majd’ minden érték növekedése a megnövekedett nyersanyag, és energiaszükségletre vezethető vissza. Ez az érték az építésnél már egy nagyságrenddel nagyobb, ami a nagymértékű cementhasználatból ered.

A környezet tápanyag-feldúsulása alig változik a beépített hulladékkezelés hatására, és az építéssel is csupán 5-szörösére emelkedik.

Az üvegházhatású gáz kibocsátás, és az ózonképződést elősegítő hatások is csupán 10 %-kal emelkednek, és hasonló mértékű az emelkedés (10-szeres) az építés figyelembevételével.

Ha megvizsgáljuk a trendeket, a hulladékkezelésben és az építésben észrevehető, hogy jó közelítéssel azonos, azaz a környezetterhelés változása a felhasznált cement mennyiségével arányos.

A 3. és 4. (plusz 1) forgatókönyv esetében a plusz 20 év élettartam hosszabbítás azokat a mutatókat javítja leginkább, amelyek a felhasznált cement mennyiségéhez köthetők.



47. ábra A rendszerhatárok vizsgálati eredményeinek összetétele az atomenergia esetében

A következő táblázatokban látható az atomenergia kibővített forgatókönyveinek összehasonlítása a többi energiatermelési módszerrel, ahol a funkcionális egység 1 MJ elektromos áram. Ez annyit jelent, hogy mindegyik alternatíva 1 MJ-ra vonatkozó környezetterhelését egymáshoz viszonyítottuk.

A KKAHK (kis és közepes aktivitású hulladékok kezelése), valamint az építés jelöli azt a forgatókönyvet, amelyekben az építőanyagot is figyelembe vettük.

Fontos az, hogy a hulladékkezelést és építést nem vettük figyelembe semelyik másik fosszilis alapú energiatermelésnél, ill. a fatüzelésnél és biogáz valamint bioetanol alkalmazásánál sem.

A hulladékkezelés figyelembevételével is az atomenergia áll a savasodási potenciál esetében az élen, mint a legkisebb emissziójú eljárás. Az építés figyelembevételével is a második helyet őrzi.

Az eutrofizációnál a napenergia az, ami hasonló tartományban mozog, de itt is az atomenergiáé a legjobb hely, míg az építés figyelembevételével visszacsúszik a második helyre a napenergiához képest.

A globális felmelegedési potenciálnál már a napenergia és a biomassza is jobban teljesít, ha az építést a rendszerhatárokon belülré toljuk, viszont csak a hulladékkezelést szemlélve messzemenően a legalacsonyabb üvegházhatású gáz kibocsátással jár.

A HTP esetében a földgáz után következik, az építés figyelembevételével a 4. helyre csúszik vissza. POCP esetében a legjobb a teljesítménye, ami a 2. helyre kerül a 3. forgatókönyv esetében a napenergia mögé hajszálnyival.

Teljes EcoIndicator '99 (HA) mutatója a hulladékkezeléses forgatókönyvnél a földgázéval azonos, a háromnál együtt viszont megelőzi a napenergia, de így is jóval a többi alatt marad a mutató értéke.

A magyar energiaszektor villamosenergia-termelésének életciklus-, és „carbon footprint” elemzése

		KKAHK	BioEtOH	Biomassza	Barnaszén	Napenergia	Feketszén	Olaj	Biogáz	Vízenergia	Lignit	Földgáz	Hulladék	Szélenergia
Savasodási potenciál	[kg SO2-ekv.]	0,08%	12,40%	4,33%	2,65%	1,17%	3,80%	5,10%	12,92%	18,04%	3,73%	20,49%	3,77%	11,53%
Eutrofizációs potenciál	[kg Phosphate-ekv.]	0,12%	17,82%	9,18%	11,03%	0,49%	12,44%	14,77%	13,63%	6,77%	4,68%	2,86%	1,88%	4,32%
Globális felmelegedési potenciál	[kg CO2-ekv.]	0,06%	5,44%	0,22%	10,75%	0,51%	12,34%	10,26%	4,10%	6,59%	14,02%	15,38%	16,12%	4,20%
Humán toxicitási potenciál	[kg DCB-ekv.]	0,43%	1,83%	0,84%	4,65%	0,73%	5,98%	5,63%	4,41%	9,51%	4,52%	0,41%	54,93%	6,14%
Fotokémiai ózonképződési potenciál	[kg Ethene-ekv.]	0,06%	9,05%	6,26%	0,99%	0,49%	2,26%	13,83%	5,25%	6,16%	1,64%	47,90%	2,01%	4,10%
EI '99		0,30%	21,54%	3,92%	5,46%	0,84%	6,98%	7,37%	7,16%	11,54%	8,46%	0,30%	18,75%	7,38%

		Építés	BioEtOH	Biomassza	Barnaszén	Napenergia	Feketszén	Olaj	Biogáz	Vízenergia	Lignit	Földgáz	Hulladék	Szélenergia
Savasodási potenciál	[kg SO2-ekv.]	1,49%	12,22%	4,26%	2,61%	1,15%	3,75%	5,03%	12,73%	17,78%	3,68%	20,20%	3,72%	11,37%
Eutrofizációs potenciál	[kg Phosphate-ekv.]	0,65%	17,73%	9,13%	10,97%	0,49%	12,37%	14,70%	13,56%	6,74%	4,65%	2,85%	1,87%	4,29%
Globális felmelegedési potenciál	[kg CO2-ekv.]	0,58%	5,42%	0,21%	10,69%	0,51%	12,27%	10,21%	4,08%	6,56%	13,95%	15,30%	16,04%	4,18%
Humán toxicitási potenciál	[kg DCB-ekv.]	1,22%	1,82%	0,84%	4,61%	0,73%	5,93%	5,58%	4,38%	9,43%	4,48%	0,40%	54,50%	6,09%
Fotokémiai ózonképződési potenciál	[kg Ethene-ekv.]	0,54%	9,01%	6,23%	0,98%	0,49%	2,25%	13,76%	5,22%	6,13%	1,63%	47,67%	2,00%	4,08%
EI '99		1,20%	21,34%	3,88%	5,41%	0,83%	6,92%	7,30%	7,10%	11,44%	8,38%	0,29%	18,58%	7,32%

Fosszilis energiahordozók - lignit

Évszázadok óta alkalmazott energiatermelésre használt anyagok a fosszilis energiahordozók. A Föld energiaszükségletének túlnyomó részét még mindig ezek felhasználásával állítják elő. Kialakulásuk évmillióig tartó folyamatok eredménye, éppen ezért megújulásukra nincs esély, tartalékuk véges.

6.1 Az elemzés lépései

Elsődleges cél ma a világon, bármiről is legyen szó, a fenntarthatóság kialakítása. Ez az iparban az ipari ökológia kialakításával lehetséges. A természet utánzásával, zárt rendszerek alkalmazásával, és hatékony energiafelhasználással ökoipari parkok kialakítása lehetséges. Másik lehetőség zöld technológiák kifejlesztése, ami inkább a tisztább termelést tartja szem előtt, mint az ún. csővégi technológiákat. A fenntarthatóság szükségessége az energiatermelésre is vonatkozik. Ennek kialakításában segít a „Design for Environment” (DfE). Egyértelmű, hogy az energiatermelés csupán fosszilis bázisra telepítve nem fenntartható, mivel az üzemanyag életciklusa nem zárható be, és alkalmazásával olyan széndioxid jut a légkörbe, ami nem vesz részt a Föld, mint hatalmas ökoszisztéma kronologikusan megfelelő körforgásaiban

Mindebből egyértelmű, hogy szén alapú energiahordozók elégetése nem felel meg a DfE, a környezettudatosság kívánalmainak, többek között a körforgásban részt nem vevő szén kijuttatása miatt, és a fenntarthatónak sem mondható készleteink végeessége miatt.

Az LCA-val lehetőség nyílik különböző energiahordozókból nyert elektromosáram-termelésének összehasonlítása. Jelen tanulmány tartalmazza az energiahordozók termelésének I/O (input-output) adatait is. Ez a feltétel elengedhetetlen, mivel az energiaszektor életciklus elemzése klasszikus értelemben tulajdonképpen az üzemanyag „bölcsőtől a sírig” elemzése, ahol a funkcionális egység a termelt elektromos energia.

Az energiatermelés összehasonlítására egy olyan parametrizált folyamat áll rendelkezésünkre, amelyben a tüzelőanyag és a tüzeléstechnika egyes paramétereinek, például energiatartalom, kén-tartalom, vagy friss hűtővíz felhasználás megadásával, és hazai erőművek kibocsátásaiból nyert adatok értékelésével kapjuk az eredményeket.

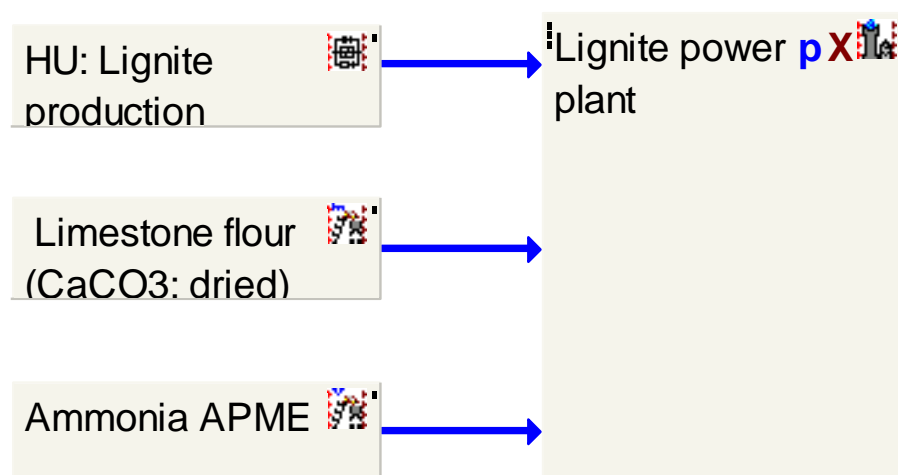
További segédfolyamatok a füstgáz tisztításához szükséges mészkő és ammóniagyártás. A rendszer nem tartalmazza a keletkező hamu és gipsz feldolgozásának, kezelésének folyamatait, tehát az értékelés főleg a termelésre vonatkozik. A rendszerhatárokat horizontálisan szemlélve, az minden szükséges, nagy mennyiségben felhasznált (főként a tüzelőanyag) anyag termelését az energiatermelésen keresztül az elektromos energiáig tartalmazza, és magával az energiatermeléssel zárul.

6.1.1 A rendszerhatárok

A **lignittüzelést** elsősorban a Mátrai Erőműnél alkalmazzák, jelenleg is fut egy projekt, amely a magyar lignitvagyon nagyobb kiaknázását, és ezzel a gázfüggőség csökkentését célozza meg. Különlegessége, hogy az erőmű vízgazdálkodását a vízzel való takarékoság jellemzi, mivel nagyobb hozamú vízfolyás nincs a közelben. Ezért az erőmű technológiai vízigényének ellátását elsősorban recirkulációval oldják meg (gőztermelés, blokkok gőzkondenzációja stb.), amely az erőmű teljes vízfelhasználásának kb. 99%-át jelenti. Így az erőmű teljes vízhasználatához képest a frissvíz használat kevesebb, mint 1 százalék.

LIGNITE_(fuel cycle)

GaBi 4 process plan: Reference quantities



47. ábra Lignites energiatermelés rendszerhatárai

6.1.2 A leltár

A következő ábra a lignites energiatermelés I/O (input/output) tábláját szemlélteti.

Energiatermelő rendszer neve	
LIGNITE	
Funcionális egység:	1 MJ Elektromos áram
Év:	2005
Forrás:	ProBas GEMIS
A rendszer különleges ismertetőjegyei:	A modell tartalmazza a barnaszénbányászat folyamatát is Szállítás nincs beépítve, feltételezzük, hogy az erőmű a bánya szállítószalaggal elérhető övezetében van A szén energitartalma 8 MJ/kg. Az erőmű termikus hatásfoka 35 %. A gázmosó 92 %-os hatásfokon működik. A porszűrő hatékonysága 99,5 %.
Inputok	
Tüzelőanyag:	barnaszén - 0,33 kg/MJ elektromos áram
Segédanyagok:	ammonia és mészkő a gázmosáshoz
Outputok	
Hasznos áramok:	megtermelt elektromos áram
Hulladék áramok:	hulladékhő vízbe és levegőbe hamu (kazánból és a szűrőből) gipsz a gázmosóból

48. ábra Egységes adattábla

A magyar energiaszektor villamosenergia-termelésének életciklus-, és „carbon footprint” elemzése

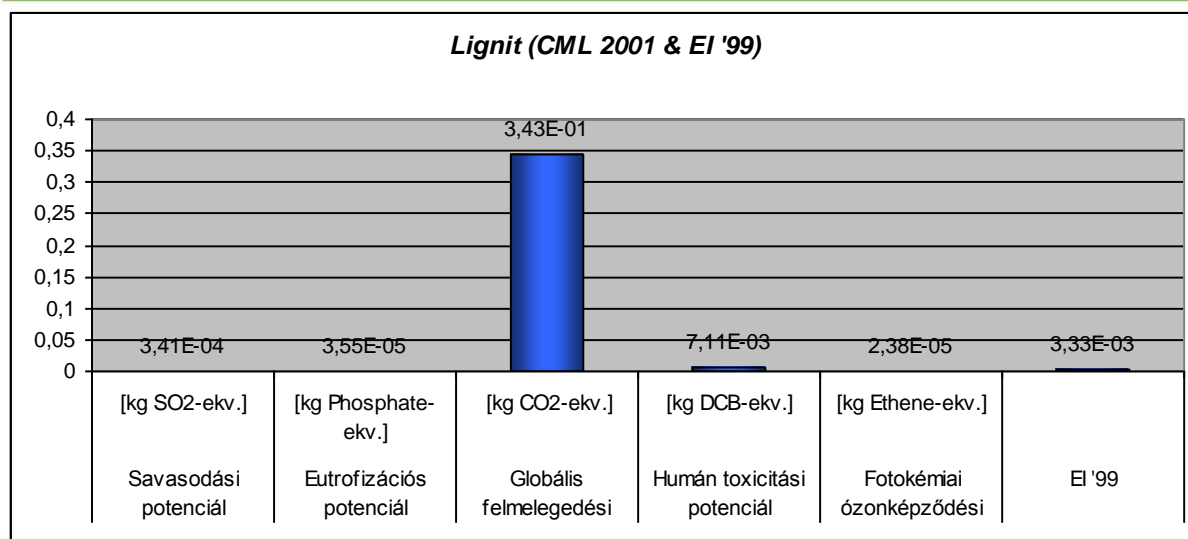
The screenshot shows the 'LIGNITE_(fuel cycle) -- Plan instance' window. It features a 'Local settings' section with 'VF' and 'LCC' options, a 'Scaling factor' of 1, and an 'Allocation' dropdown set to '(no allocation)'. Below these are 'Free parameters' and 'Fixed parameters' sections. The main area is divided into 'Inputs' and 'Outputs' tables, both with 'Show all flows' options. The 'Inputs' table lists various resources like Inert rock, Water, Air, Lignite, and Coal from different regions, along with their quantities and units. The 'Outputs' table lists emissions and waste products such as Krypton, Hydrogen, Waste water, Ash, and various radioactive emissions, also with their quantities and units. At the bottom, there is a 'Data quality' section with dropdowns for 'Technique', 'Location', and 'Time', all currently set to 'No statement'.

Inputs		Outputs	
Alias	Flow	Alias	Flow
Inert rock [Non renewable resources]	Mass 2,8536 kg	Krypton (Kr85) [Radioactive emissions to air]	Activity 3437,2 Bq
Water [Water]	Mass 2,6752 kg	Hydrogen (H3) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity 69,043 Bq
Air [Renewable resources]	Mass 1,5583 kg	Waste water [Other emissions to fresh water]	Mass 3,2631 kg
Water (surface water) [Water]	Mass 1,0246 kg	Overburden [Stockpile goods]	Mass 2,8531 kg
Lignite Germany [Lignite (resource)]	Mass 0,33031 kg	Waste heat [Other emissions to air]	Energy (net ca) 1,8423 MJ
Limestone (calcium carbonate) [Non renewable resources]	Mass 0,0051344 kg	Exhaust [Other emissions to air]	Mass 1,3006 kg
Water (feed water) [Water]	Mass 0,0022432 kg	Ash [Stockpile goods]	Mass 1,0002 kg
Primary energy from hydro power [REnergy ren. (re)]	Energy (net ca) 0,0021444 MJ	Lignite power plant [Flows]	Number of piec1 pcs.
Lignite Germany (Rheinisch) [Lignite]	Mass 0,0020569 kg	Power (from lignite) [Electric power]	Energy (net ca) 1 MJ
Hard coal Germany [Hard coal (resource)]	Mass 0,00072894 kg	Radium (Ra226) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity 0,77767 Bq
Crude oil North Africa [Crude oil (resource)]	Mass 0,00022433 kg	Stream [Inorganic emissions to air]	Mass 0,67202 kg
Crude oil Norway [Crude oil (resource)]	Mass 0,00021238 kg	Radon (Rn222) [Radioactive emissions to air]	Activity 0,66063 Bq
Crude oil CIS [Crude oil (resource)]	Mass 0,00020739 kg	Carbon dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass 0,33895 kg
Crude oil Middle East [Crude oil (resource)]	Mass 0,00020541 kg	Uranium [Radioactive emissions to fresh water]	Activity 0,070368 Bq
Natural gas (APME) [Natural gas (resource)]	Mass 0,00015642 kg	Cesium (Cs134) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity 0,059886 Bq
Crude oil United Kingdom [Crude oil (resource)]	Mass 0,00014421 kg	Strontium (Sr90) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity 0,026616 Bq
Hard coal South Africa [Hard coal (resource)]	Mass 0,00013091 kg	Carbon (C14) [Radioactive emissions to air]	Activity 0,016355 Bq
Hard coal United Kingdom [Hard coal (resource)]	Mass 0,00010651 kg	Waste heat [Other emissions to fresh water]	Energy (net ca) 0,014857 MJ
Crude oil Central Africa [Crude oil (resource)]	Mass 9,9358E-005 kg	Iodine (I129) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity 0,013305 Bq
Nuclear energy (APME) [Uranium (resource)]	Energy (net ca) 6,5255E-005 MJ	Gypsum (FDI) [Waste for recovery]	Mass 0,0073734 kg
Crude oil Central America [Crude oil (resource)]	Mass 6,4457E-005 kg	Fly ash (unspecified) [Waste for recovery]	Mass 0,0067983 kg
Natural gas [Natural gas (resource)]	Mass 6,0509E-005 kg	Boiler ash (unspecified) [Waste for recovery]	Mass 0,0060778 kg
Iron ore (65%) [Non renewable resources]	Mass 4,44E-005 kg	Carbon (C14) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity 0,0045466 Bq
Hard coal [Hard coal (resource)]	Mass 4,3E-005 kg	Tailings [Stockpile goods]	Mass 0,0012627 kg
Lignite [Lignite (resource)]	Mass 3,8626E-005 kg	Plutonium (Pu alpha) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity 0,0012198 Bq
Hard coal Australia [Hard coal (resource)]	Mass 3,7719E-005 kg	Sulphate [Inorganic emissions to fresh water]	Mass 0,001179 kg
Crude oil Germany [Crude oil (resource)]	Mass 3,5381E-005 kg	Uranium (total) [Radioactive emissions to air]	Activity 0,0010261 Bq
Crude oil [Crude oil (resource)]	Mass 3,1173E-005 kg	Chloride [Inorganic emissions to fresh water]	Mass 0,00088674 kg
Renewable fuels [Renewable energy]	Mass 2,8259E-005 kg	Sodium [Inorganic emissions to fresh water]	Mass 0,00061051 kg
Natural gas CIS [Natural gas (resource)]	Mass 2,7248E-005 kg	Iron [Heavy metals to fresh water]	Mass 0,00057093 kg
Natural gas Netherlands [Natural gas (resource)]	Mass 2,603E-005 kg	Nitrogen oxides [Inorganic emissions to air]	Mass 0,00026684 kg
Natural gas Germany [Natural gas (resource)]	Mass 2,291E-005 kg	Uranium (U238) [Radioactive emissions to air]	Activity 0,00020641 Bq
Natural gas Norway [Natural gas (resource)]	Mass 1,1949E-005 kg	Sludge [Hazardous waste]	Mass 0,000158 kg
Iron ore [Non renewable resources]	Mass 1,0574E-005 kg	Sulphur dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass 0,00014843 kg
Heavy spar (barytes) [Non renewable resources]	Mass 8,8793E-006 kg	Dust (unspecified) [Particles to air]	Mass 0,00014259 kg
Hard coal (APME) [Hard coal (resource)]	Mass 4,8432E-006 kg	Gypsum [Waste for recovery]	Mass 8,732E-005 kg
Pit gas [Natural gas (resource)]	Mass 4,7203E-006 kg		

49. ábra A lignites erőmű leltár-táblája

6.1.3 Az elemzések eredményei

A lignittüzelés során az üvegházhatású gázok (ÜHG) keletkezése a meghatározó, ez az érték nagyságrendekkel nagyobb, mint más környezeti mutatók értékei. 1 MJ lignites elektromos áram előállításakor 0,343 kg CO₂-nak megfelelő ÜHG keletkezik. Emellett még a mérgezőség értékelhető, ami 0,00711 kg dikloro-bifenil képződésének felel meg megtermelt MJ elektromos áram egységként.



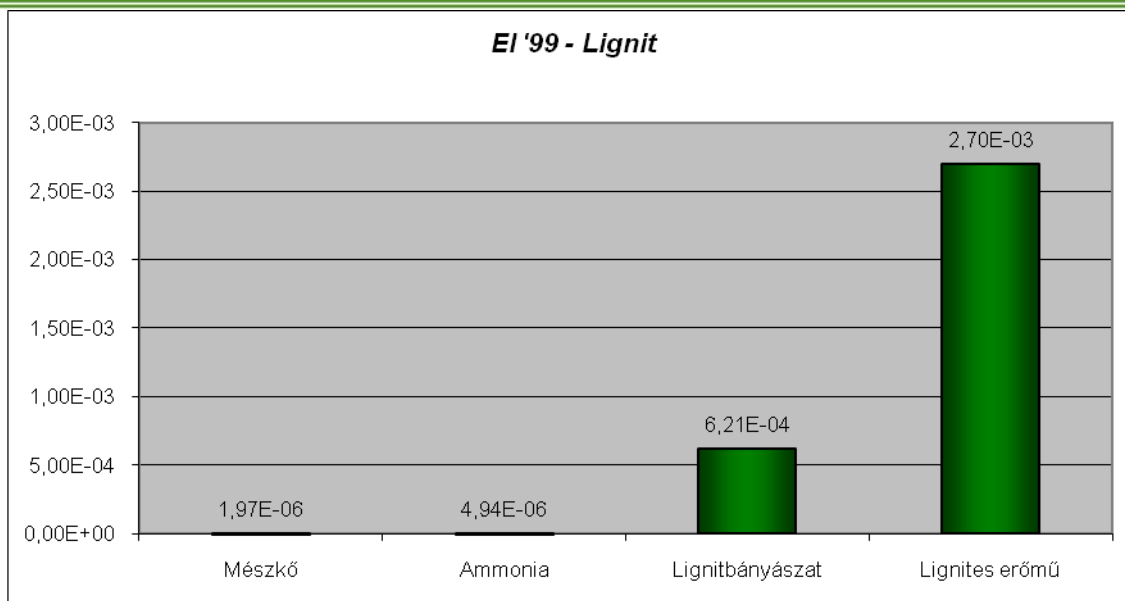
50. ábra A lignites energiatermelés környezeti indikátorainak (CML 2001 & EI '99) értékei

6.1.3.1 Az EI '99 módszer

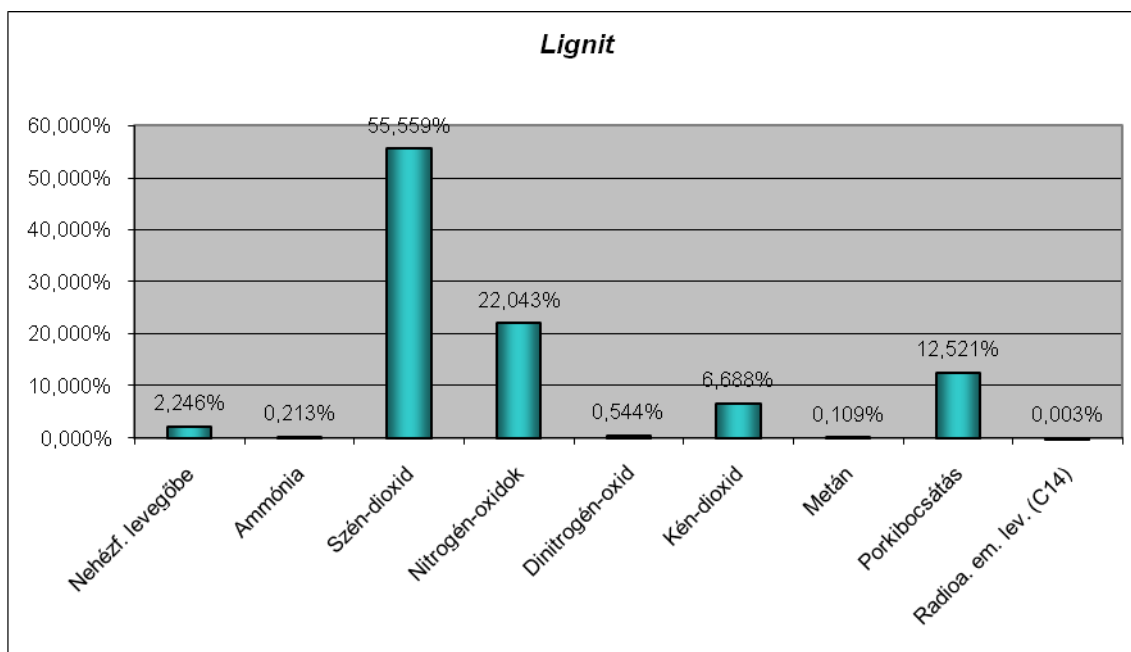
A lignittüzelésnél a legmagasabb érték az áramtermelésnél adódott, ennek ötöde maga a lignit bányászat. Az energiatermelés esetében 66 %-ban a szén-dioxid emisszió adja az indikátor értéket, a bányászatnál ez csak 10 %, az egész folyamatot tekintve így is 55 %-ban a CO₂ a felelős. A nitrogén-oxidok további 22 %-át adják a környezetterhelésnek, 80 %-ban az erőműből, 20 %-ban a lignit termeléskor kerülnek a levegőbe. További emissziók, amelyek befolyásolják az indikátor alakulását:

- ammónia (0,2 %-ban, 2:98 – lignittermelés : erőmű)
- N₂O (0,5%-ban, 1:99 – lignittermelés : erőmű)
- kén-dioxid (6,5 %-ban, 6:94 – lignittermelés : erőmű)
- nehézfémek (2,25 %-ban, 20:80 – lignittermelés : erőmű)
- por (12,5 %-ban, 95:5 – lignittermelés : erőmű)
- metán (0,1 %-ban, 75:15 – lignittermelés : erőmű)

A felsorolás szerint tehát a lignittermelés hátránya a magas por emisszió, amit az erőműnél zsákos porszűrőkkel, vagy elektrosztatikus leválasztókkal meg lehet oldani, a külszíni bányászat esetében már nem. Másik hátrány a metán emisszió, ami a szénülés első fázisában lévő ásvány pórusaiból szabadul fel a bolygatás hatására.

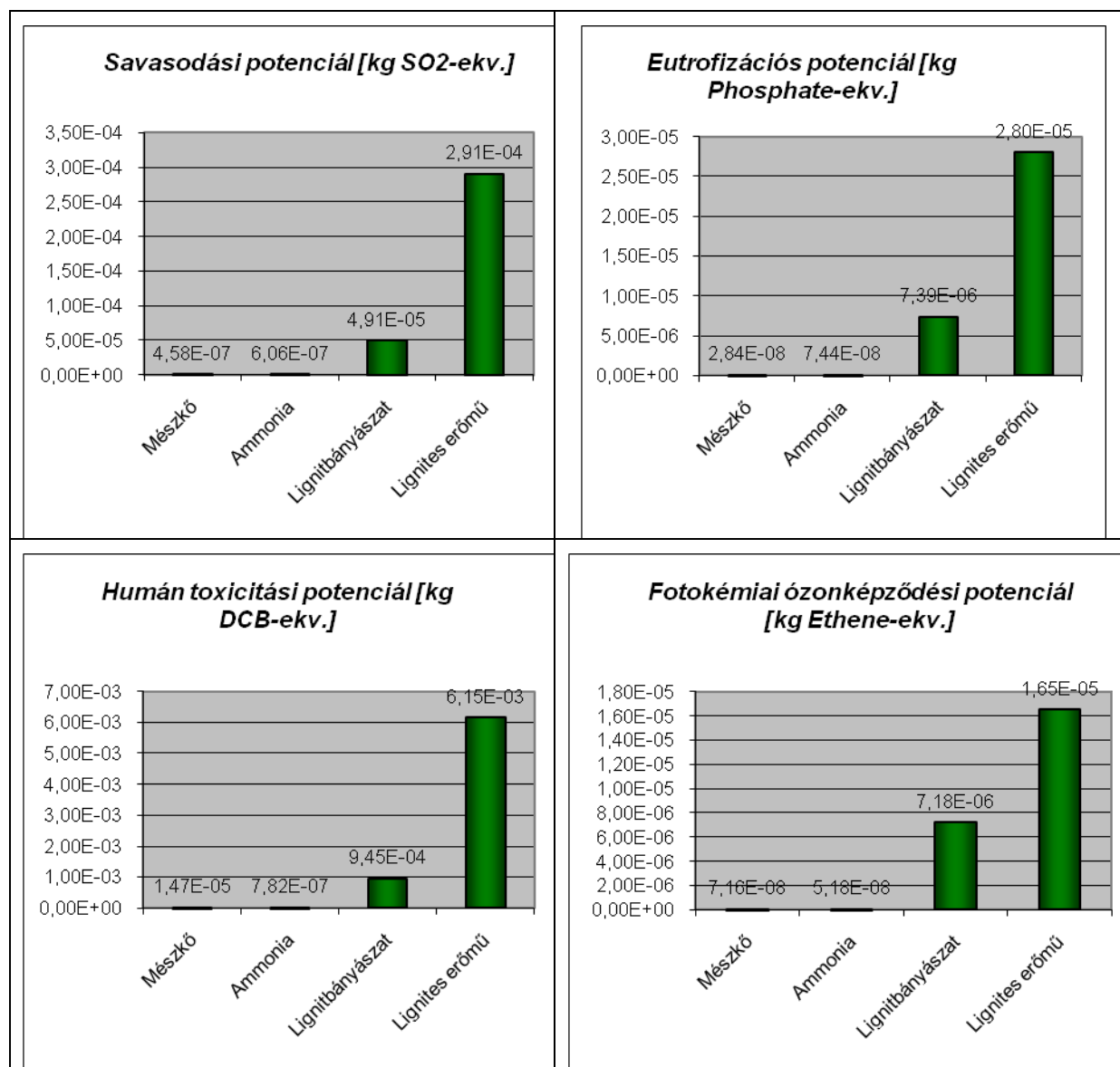


51. ábra Az EI '99 megoszlása az alrendszerek között (lignit)



52. ábra Az EI '99 értékét jelentősen befolyásoló emissziók /lignit/

6.1.3.2 A CML módszer



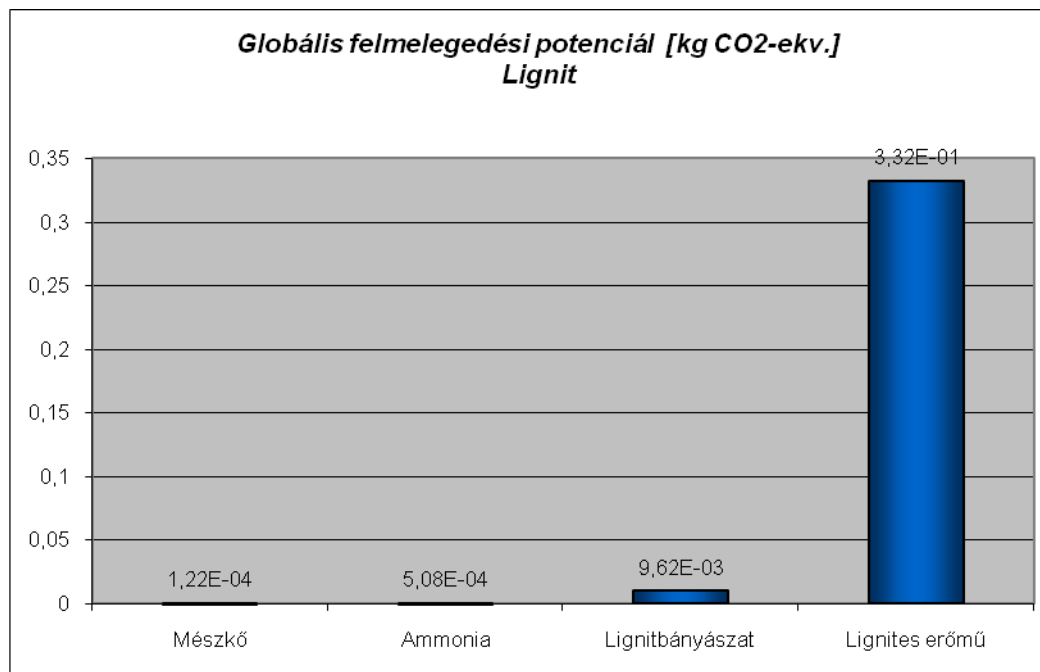
53. ábra A termelési mód CML diagramjai

A savasodás főszereplői a kén-dioxid és a nitrogén-oxidok. A lignit kitermelésnél a nitrogén-oxidok, az energiatermelésnél a kén-dioxid a domináns. A tápanyag-feldúsulás elsődleges okozója a nitrogén-oxid, aminek fő emittálója az energiatermelés. További szereplő az erőműből származó víz kémiai oxigénigénye.

A humán toxicitási potenciálnál a terhelést a nehézfémek okozzák elsősorban, a szervesetlen emissziók közül a nitrogén-oxid és a hidrogén-halogenidek. A fotokémiai ózonképződési potenciált olyan szervesetlen emissziók okozzák, mint a NO_x, SO₂ vagy a szén-monoxid, míg a tüzeléskor és főként a bányászatkor a légkörbe jutó NMVOC vegyületek.

6.1.3.3 A „carbon footprint”

A fosszilis energiahordozókból előállított energia fő kibocsátója mindenképpen maga az erőmű lesz. A lignitbányászat esetében a felszíni műveléskor felszabadulhat némi metán, ami a többi szénhez képest magasabb globális felmelegedési potenciált okoz ennél az energiahordozónál.



54. ábra Globális felmelegedési potenciál (lignit)

Fosszilis energiahordozók - barnaszén

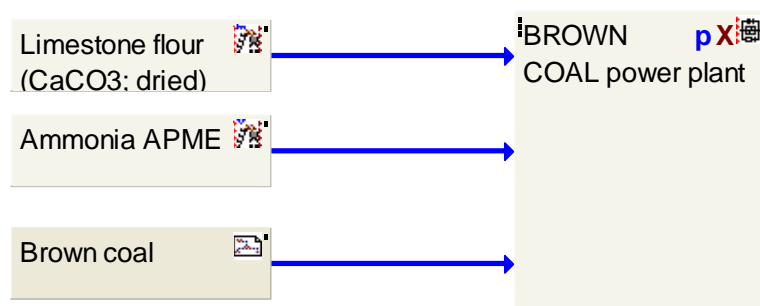
6.2 Az elemzés lépései

6.2.1 A rendszerhatárok

A **barnaszenes erőmű** modellje hasonló a ligniteshez, azzal a különbséggel, hogy a használt tüzelőanyag energiatartalma durván a kétszerese a lignitnek, és egyéb anyag tartalma, mint hamutartalom, fém- és kéntartalom is különböznek.

BROWN COAL

GaBi 4 process plan:Reference quantities



55. ábra Barnaszenes energiatermelés rendszerhatárai

6.2.2 A leltár

Következő ábra a barnaszenes energiatermelés modelljének I/O tábláját mutatja.

The screenshot shows the 'BROWN COAL -- Plan instance' window. At the top, there are fields for 'Local name' (BROWN COAL) and 'No image'. Below that are 'Local settings' (VF, LCC) and a 'Scaling factor' (1) with a 'Fixed' checkbox. The main area is divided into 'Inputs' and 'Outputs' sections, both with 'Show all flows' options. The 'Inputs' table lists various resources like water, air, limestone, and different types of coal and energy sources, with columns for Alias, Flow, Quantity, Amount, and Unit. The 'Outputs' table lists emissions and products such as radioactive emissions, waste water, hydrogen, radon, waste heat, exhaust, and electric power, also with columns for Alias, Flow, Quantity, Amount, and Unit. At the bottom, there are 'Data quality' dropdowns for 'Technique', 'Location', and 'Time', and a 'Grouping' section with 'Nation', 'Type', 'Enterprise', and 'User defined' options.

Inputs		Outputs	
Alias	Flow	Quantity	Amount / Unit
Water (surface water)	[Water]	Mass	10,482 kg
Air	[Renewable resources]	Mass	1,2598 kg
Water (river water)	[Water]	Mass	0,099459 kg
Water	[Water]	Mass	0,0036653 kg
Limestone (calcium carbonate)	[Non]	Mass	0,0024892 kg
Water (feed water)	[Water]	Mass	0,0017862 kg
Inert rock	[Non renewable resources]	Mass	0,0016414 kg
Water (ground water)	[Water]	Mass	0,00069698 kg
Natural gas (APME)	[Natural gas (resour)]	Mass	0,00012455 kg
Lignite Hungary	[Lignite products]	Mass	0,00011529 kg
Primary energy from hydro power	[REnergy ren. (r5,4528E-005	REnergy ren.	(r5,4528E-005 MJ
Nuclear energy (APME)	[Uranium (re Energy (net c5,1962E-005	REnergy ren.	(r5,1962E-005 MJ
Cooling water	[Operating materials]	Mass	3,3747E-005 kg
Natural gas CIS	[Natural gas (resour)]	Mass	1,6956E-005 kg
Lignite Germany (Rheinisch)	[Lignite]	Mass	1,3647E-005 kg
Crude oil CIS	[Crude oil (resource)]	Mass	6,0457E-006 kg
Hard coal Germany	[Hard coal (resour)]	Mass	4,1946E-006 kg
Hard coal (APME)	[Hard coal (resour)]	Mass	3,8566E-006 kg
Primary energy from hydro power	[REnergy ren. (r3,2476E-006	REnergy ren.	(r3,2476E-006 MJ
Crude oil Norway	[Crude oil (resour)]	Mass	1,996E-006 kg
Primary energy from solar energy	[REnergy ren. (r1,7731E-006	REnergy ren.	(r1,7731E-006 MJ
Crude oil North Africa	[Crude oil (resour)]	Mass	1,5596E-006 kg
Crude oil Middle East	[Crude oil (resour)]	Mass	1,4286E-006 kg
Crude oil United Kingdom	[Crude oil (resour)]	Mass	1,39E-006 kg
Hard coal CIS	[Hard coal products]	Mass	1,3832E-006 kg
Natural gas Germany	[Natural gas (resour)]	Mass	1,33E-006 kg
Hard coal Czech Republic	[Hard coal (resour)]	Mass	1,0688E-006 kg
Sodium chloride (rock salt)	[Non renewable resources]	Mass	1,0232E-006 kg
Hard coal South Africa	[Hard coal (resour)]	Mass	8,2135E-007 kg
Crude oil free customer Hungary	[Crude oil (resour)]	Mass	8,1626E-007 kg
Sulphur (APME)	[Non renewable resources]	REnergy ren.	(r8,119E-007 MJ
Hard coal Poland	[Hard coal (resour)]	Mass	7,221E-007 kg
Natural Aggregate	[Non renewable resources]	Mass	6,9746E-007 kg
Crude oil Central Africa	[Crude oil (resour)]	Mass	6,9061E-007 kg
Primary energy from wind power	[REnergy ren. (r6,784E-007	REnergy ren.	(r6,784E-007 MJ
Natural gas France	[Natural gas (resour)]	Mass	6,4018E-007 kg

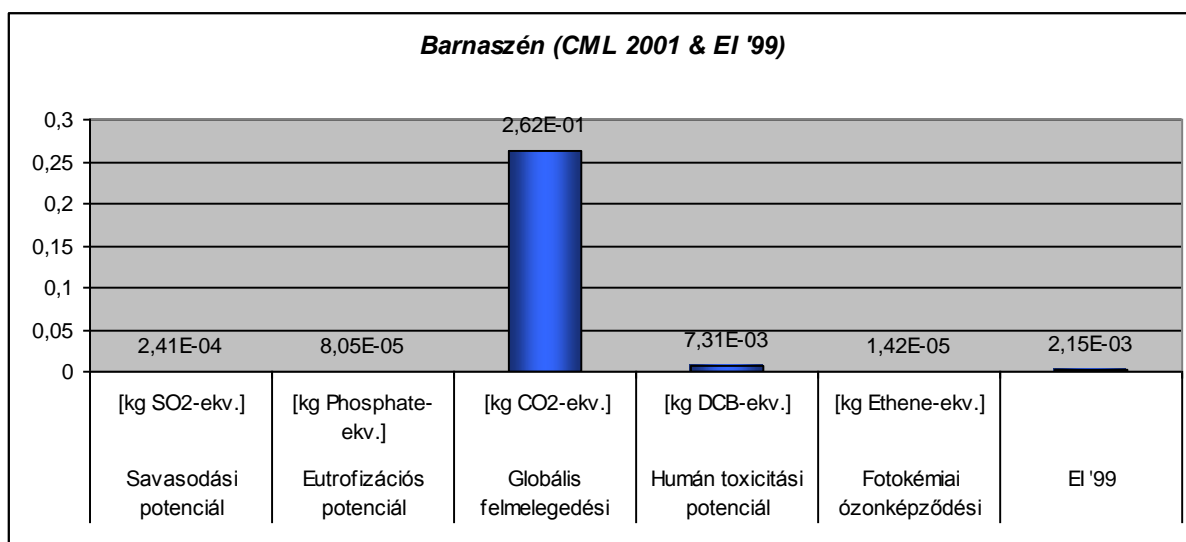
56. ábra A barnaszenes erőmű leltár-táblája

<i>Energiatermelő rendszer neve</i>	
BROWN COAL	
Funcionális egység:	1 MJ Elektromos áram
Év:	
Forrás:	ProBas GEMIS
A rendszer különleges ismertetőjegyei:	A modell tartalmazza a barnaszénbányászat folyamatát is Szállítás nincs beépítve, feltételezzük, hogy az erőmű a bánya szállítószalaggal elérhető övezetében van A szén energitartalma 15 MJ/kg. Az erőmű termikus kapacitása 35 %. A gázmosó 92 %-os határfokon működik. A porszűrő hatékonysága 99,5 %.
Inputok	
Tüzelőanyag:	barnaszén - 0,19 kg/MJ elektromos áram
Segédanyagok:	ammonia és mészkő a gázmosáshoz
Outputok	
Hasznos áramok:	megtermelt elektromos áram
Hulladék áramok:	hulladékhő vízbe és levegőbe hamu (kazánból és a szűrőből) gipsz a gázmosóból

57. ábra Egységes adattábla

6.2.3 Az elemzések eredményei

A barnaszéntüzelésnél is hasonló az eset, mint azt a lignitnél láthattuk, annyi különbséggel, hogy itt az üvegházhatású gázok kibocsátása „csak” 0,262 kg CO₂-nak felel meg, míg a „mérgezőség” 0,00731 kg DCB-nek.

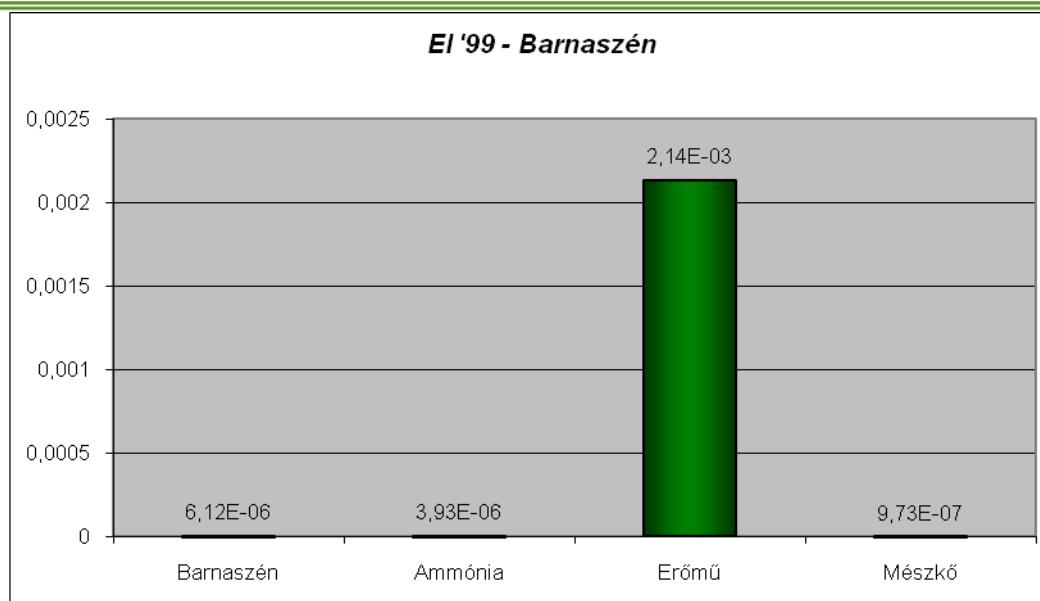


58. ábra A barnaszenes energiatermelés környezeti indikátorainak (CML 2001 & EI '99) értékei

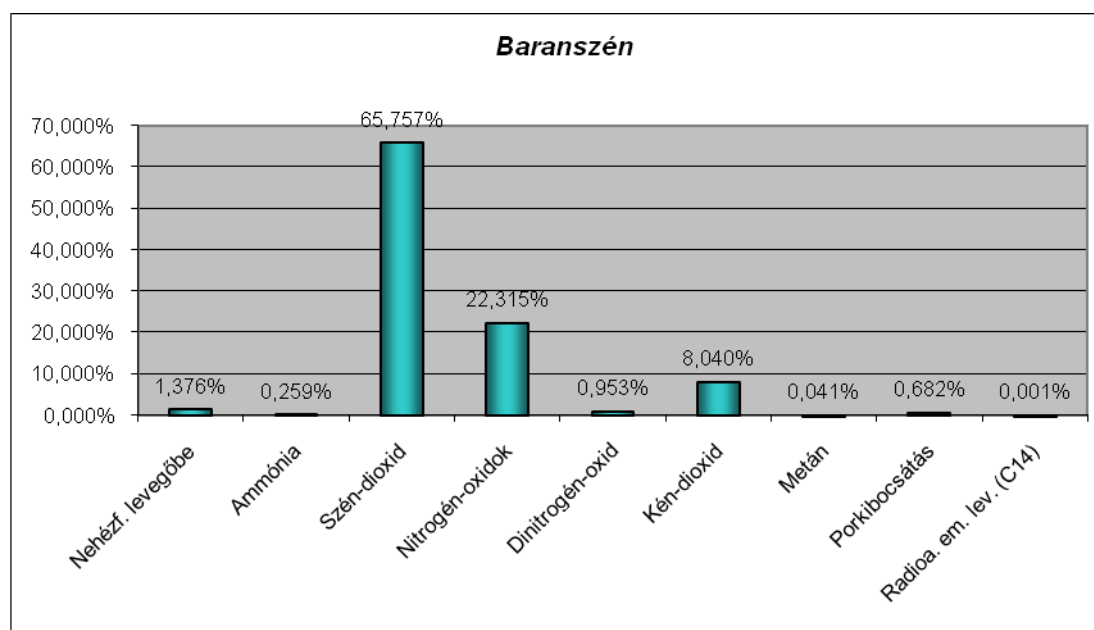
6.2.3.1 Az EI '99 módszer

Az EcoIndicator '99 szerint barnaszéntüzelés esetén az erőmű folyamatának szinte 100 %-ában jelentkezik környezeti hatás. A bányászat itt már mélységi, így olyan légköri emissziókkal, mint a külszíni jövesztésnél, nem találkozhatunk.

A CO₂ emisszió a legjelentősebb, 66,5 %-ban ez adja az EI '99 értékét, szinte 100 %-ban az erőműből származik. További emissziók a nitrogén-oxidok és a kén-dioxid, 22 %-ban és 8 %-ban, a nehézfémek pedig ~2 %-ban adják az indikátorértéket. Mindegyik emisszió 99%-ban az erőműből származik. Metán emisszió is megfigyelhető, de hatása elhanyagolható, fele az erőműből, egy része az ammóniagyártásból, a maradék 10 % pedig a bányászatból származik, de csupán 0,05 %-os súllyal szól bele az indikátor alakulásába.

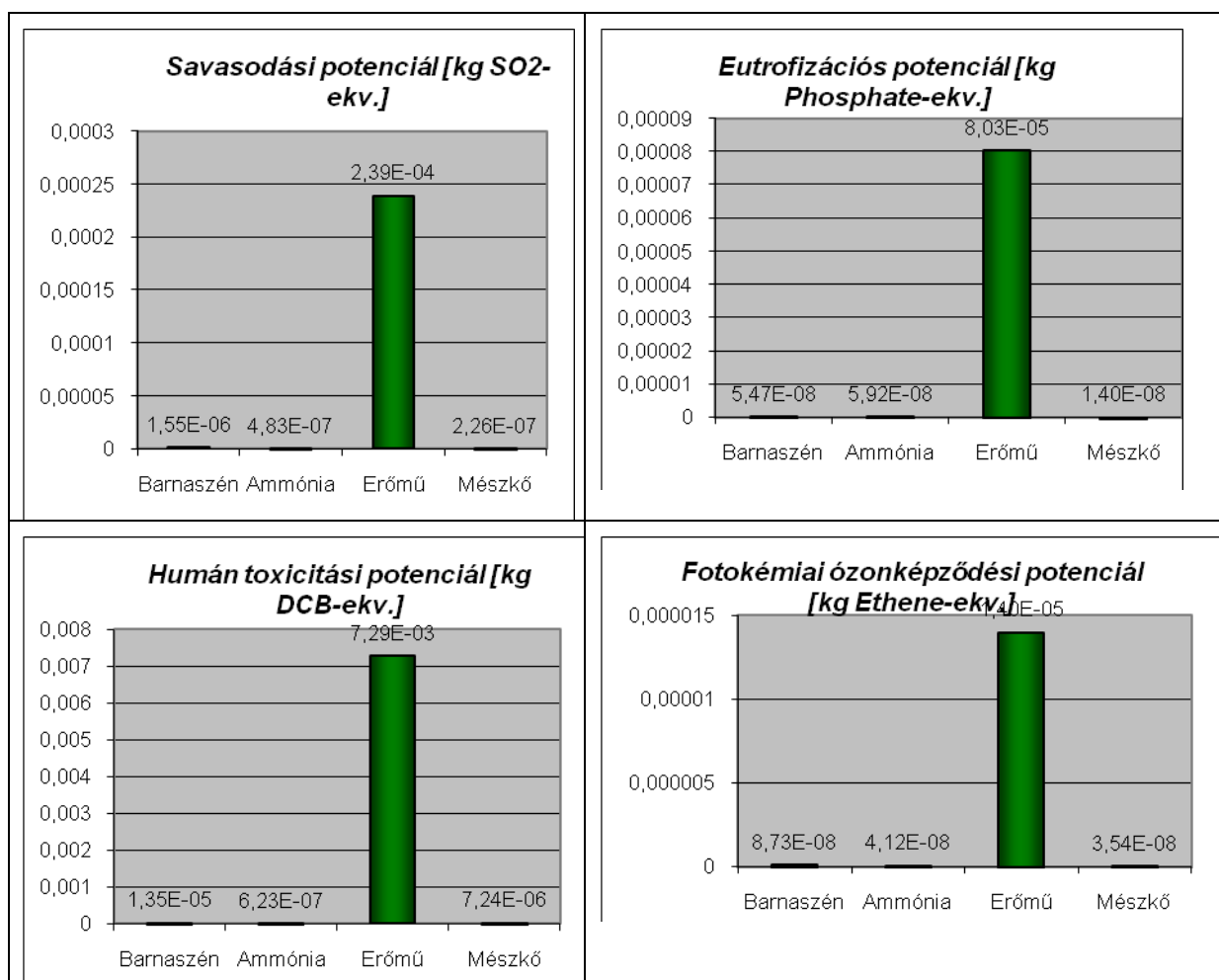


59. ábra Az EI '99 megoszlása az alrendszerek között (barnaszén)



60. ábra Az EI '99 értékét jelentősen befolyásoló emissziók /barnaszén/

6.2.3.2 A CML módszer



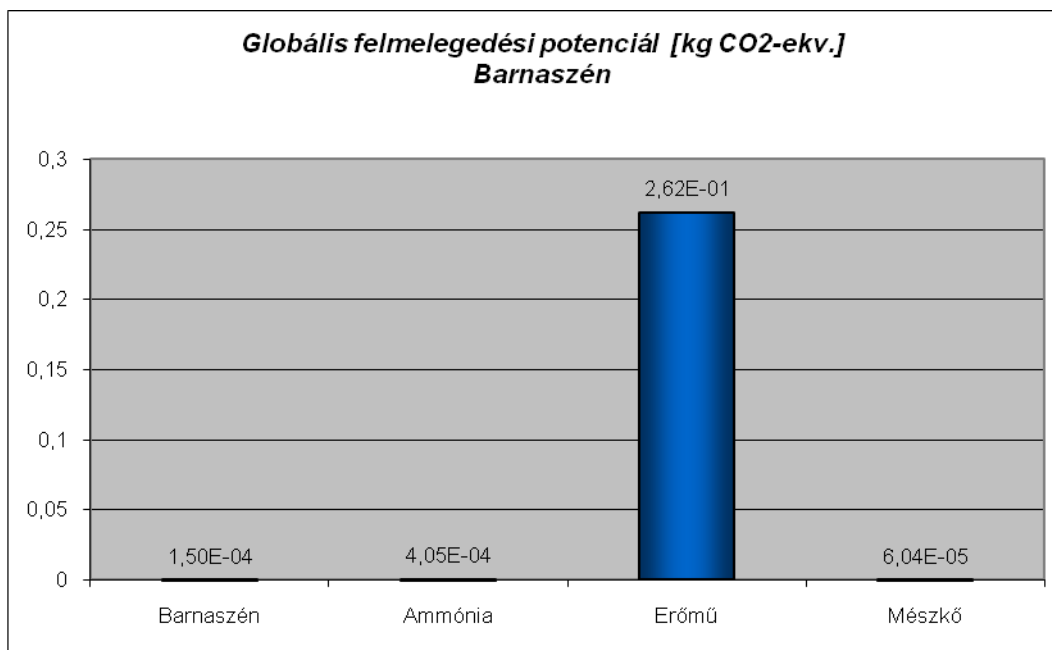
61. ábra A barnaszenes erőmű CML ábrái

A kibocsátott nitrogén-oxidok és kén-dioxid szinte 100 %-a ennél a technológiánál az energiatermelésből származik, ezért ennek kiemelkedő a savasodási potenciál mutatója. Az erőműből származó víz kémiai oxigénigénye okozza az energiatermelés tápanyag-feldúsulásban játszott kiemelkedő szerepét.

A humán toxicitási potenciál (HTP) szinte teljes egészében az energiatermelésből származik. A HTP-hez hasonlóan az ózonnépződést elősegítő anyagok kibocsátása is az energiatermeléshez tartozik.

6.2.3.3 A „carbon footprint”

A barnaszéntüzelés esetében a kibocsátások 99,8 %-a az erőművi termelésből származik, ezen belül 98,6 % a CO₂ és 1,7 % a dinitrogén-oxid.



62. ábra Globális felmelegedési potenciál (barnaszén)

Fosszilis energiahordozók - feketeszen

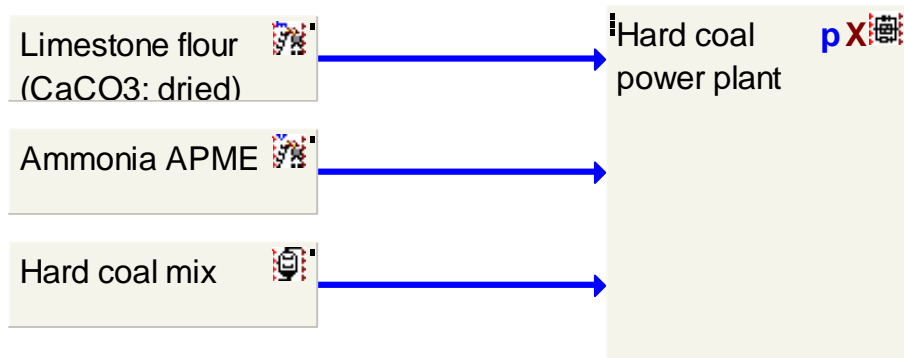
6.3 Az elemzés lépései

6.3.1 A rendszerhatárok

A **feketeszenes erőmű** modellje tartalmazza a szállítást is. Az előző kettőnél nem építettünk be ilyen folyamatot, mivel feltételeztük, hogy a termelőegység (erőmű) a bánya közelében van, a szállítás futószalaggal, vagy csillében történik, környezeti hatása elenyésző a rendszer egészét tekintve. A feketeszen esetében viszont a Lengyelországból érkező szenet modelleztük.

HARD COAL

GaBi 4 process plan: Reference quantities



63. ábra A feketeszenes energiatermelés rendszerhatárai

6.3.2 A leltár

A következő ábra a feketeszenes elektromos áramtermelés ki- és bemenő anyagárait mutatja.

Inputs						Outputs					
Alias	Flow	Quantity	Amount	Unit	Tr	Alias	Flow	Quantity	Amount	Unit	Tr
	Water (surface water) [Water]	Mass	9,915	kg			Krypton (Kr85) [Radioactive emissions to air]	Activity	4577,3	Bq	
	Air [Renewable resources]	Mass	1,2587	kg			Hydrogen (H3) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	91,683	Bq	
	Water [Water]	Mass	1,013	kg			Waste water [Other emissions to fresh water]	Mass	10,524	kg	
	Inert rock [Non renewable resources]	Mass	0,20854	kg			Waste heat [Other emissions to air]	Energy (net ca)	1,3623	MJ	
	Hard coal Germany [Hard coal (resou)	Mass	0,067755	kg			Radium (Ra226) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	1,0761	Bq	
	Hard coal South Africa [Hard coal (re)	Mass	0,011207	kg			Exhaust [Other emissions to air]	Mass	1,0504	kg	
	Hard coal Poland [Hard coal (resourc)	Mass	0,0079486	kg			Power (from hardcoal) [Electric power]	Energy (net ca)	1	MJ	
	Hard coal USA [Hard coal (resource)]	Mass	0,0067633	kg			Lignite power plant [Flows]	Number of pie	1	pcs.	
	Primary energy from hydro power [REner	ren. (r)	0,0033023	MJ			Steam [Inorganic emissions to air]	Mass	0,42687	kg	
	Limestone (calcium carbonate) [Non	Mass	0,0026327	kg			Waste heat [Other emissions to fresh water]	Energy (net ca)	0,34057	MJ	
	Lignite Germany (Rheinisch) [Lignite	Mass	0,0025601	kg			Carbon dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass	0,27467	kg	
	Hard coal Czech Republic [Hard coal	Mass	0,0023805	kg			Overburden [Stockpile goods]	Mass	0,15665	kg	
	Hard coal Colombia [Hard coal (resou)	Mass	0,0023633	kg			Uranium [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,12365	Bq	
	Water (feed water) [Water]	Mass	0,0017863	kg			Radon (Rn222) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,1101	Bq	
	Hard coal Australia [Hard coal (resou)	Mass	0,0017186	kg			Cesium (Cs134) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,079632	Bq	
	Pit gas [Natural gas (resource)]	Mass	0,0011705	kg			Tailings [Stockpile goods]	Mass	0,06084	kg	
	Crude oil [Crude oil (resource)]	Mass	0,0006597	kg			Strontium (Sr90) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,035397	Bq	
	Hard coal CIS [Hard coal (resource)]	Mass	0,00054078	kg			Carbon (C14) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,021926	Bq	
	Hard coal Indonesia [Hard coal (reso)	Mass	0,00048252	kg			Iodine (I129) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,017718	Bq	
	Hard coal Venezuela [Hard coal (resc)	Mass	0,00045841	kg			Carbon (C14) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,006055	Bq	
	Hard coal Canada [Hard coal (resour)	Mass	0,00027771	kg			Fly ash (unspecified) [Waste for recovery]	Mass	0,0059189	kg	
	Hard coal United Kingdom [Hard coal	Mass	0,00022383	kg			Gypsum (FDI) [Waste for recovery]	Mass	0,0036434	kg	
	Crude oil Norway [Crude oil (resourc)	Mass	0,00021794	kg			Chemical oxygen demand (COD) [Analytical measures]	Mass	0,002576	kg	
	Hard coal China [Hard coal (resource)	Mass	0,00021732	kg			Plutonium (Pu alpha) [Radioactive emissions to fresh w	Activity	0,0016225	Bq	
	Crude oil CIS [Crude oil (resource)]	Mass	0,00021127	kg			Boiler ash (unspecified) [Waste for recovery]	Mass	0,0015275	kg	
	Crude oil United Kingdom [Crude oil	Mass	0,0001728	kg			Uranium (total) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,0013672	Bq	
	Natural gas (APME) [Natural gas (res)	Mass	0,00012455	kg			Methane [Organic emissions to air (group VOC)]	Mass	0,0010218	kg	
	Lignite [Lignite (resource)]	Mass	0,00010087	kg			Xenon (Xe133) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,00097885	Bq	
	Hard coal [Hard coal (resource)]	Mass	9,3391E-005	kg			Hydrogen (H3) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,00085114	Bq	
	Iron ore (65%) [Non renewable resc]	Mass	9,2239E-005	kg			Chloride [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	0,00076413	kg	
	Crude oil North Africa [Crude oil (res)	Mass	8,1378E-005	kg			Argon (Ar41) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,00043681	Bq	
	Crude oil Libya [Crude oil (resource)]	Mass	7,5369E-005	kg			Ash [Stockpile goods]	Mass	0,00031367	kg	
	Crude oil Middle East [Crude oil (resc)	Mass	7,4818E-005	kg			Nitrogen oxides [Inorganic emissions to air]	Mass	0,00027754	kg	
	Crude oil Saudi Arabia [Crude oil (res)	Mass	6,169E-005	kg			Xenon (Xe135) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,0002775	Bq	
	Natural gas [Natural gas (resource)]	Mass	5,8305E-005	kg			Fluoride [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	0,00019549	kg	
	Nuclear energy (APME) [Uranium (re)	Energy (net c)	5,1962E-005	MJ							

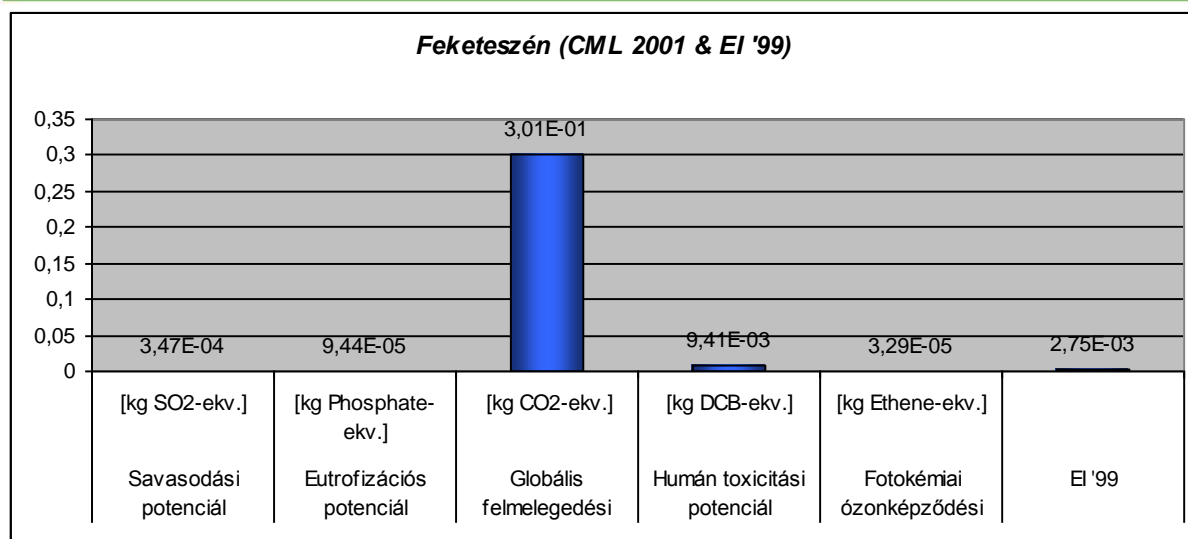
64. ábra A feketeszenes erőmű leltár-táblája

<i>Energiatermelő rendszer neve</i>	
HARD COAL	
Funcionális egység:	1 MJ Elektromos áram
Év:	
Forrás:	ProBas GEMIS
A rendszer különleges ismertetőjegyei:	A modell tartalmazza a kőszénbányászat folyamatát is (Lengyelország) Szállítás vasúton dízelüzemű mozdonyal átlag 1000 km távolságból. A szén energitartalma 29 MJ/kg. Az erőmű termikus hatásfoka 37 %. A gázmosó 92 %-os hatásfokon működik. A porszűrő hatékonysága 99,5 %.
Inputok	
Tüzelőanyag:	felekőszén - átlag 0,093 kg/MJ
Segédanyagok:	ammonia és mészkő a gázmosáshoz
Outputok	
Hasznos áramok:	megtermelt elektromos áram
Hulladék áramok:	hulladékhő vízbe és levegőbe hamu (kazánból és a szűrőből) gipsz a gázmosóból

65. ábra egységes adattábla

6.3.3 Az elemzések eredményei

A feketeszen üvegházhatású gáz kibocsátása 0,301 kg CO₂-nek felel meg MJ elektromos energiánként. Itt egy viszonylag hosszabb szállítási folyamatot is beépítettünk, amelynek következtében a saját energiafelhasználás némileg megnövekedett, ez okozhat változásokat a globális felmelegedési potenciál mutatójában.



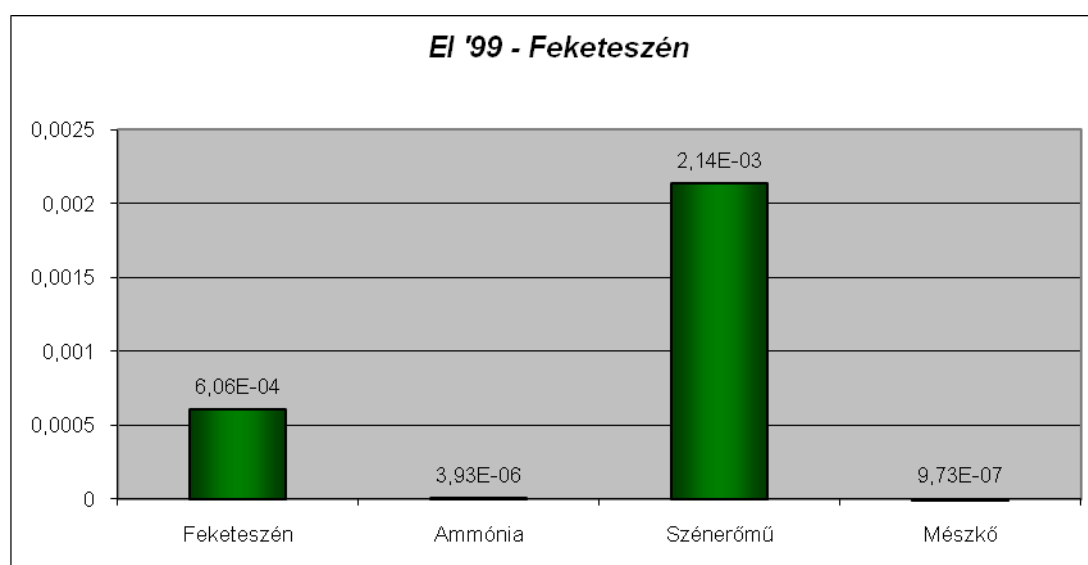
66. ábra A feketeszemes energiatermelés környezeti indikátorainak (CML 2001 & EI '99) értékei

6.3.3.1 Az EI '99 módszer

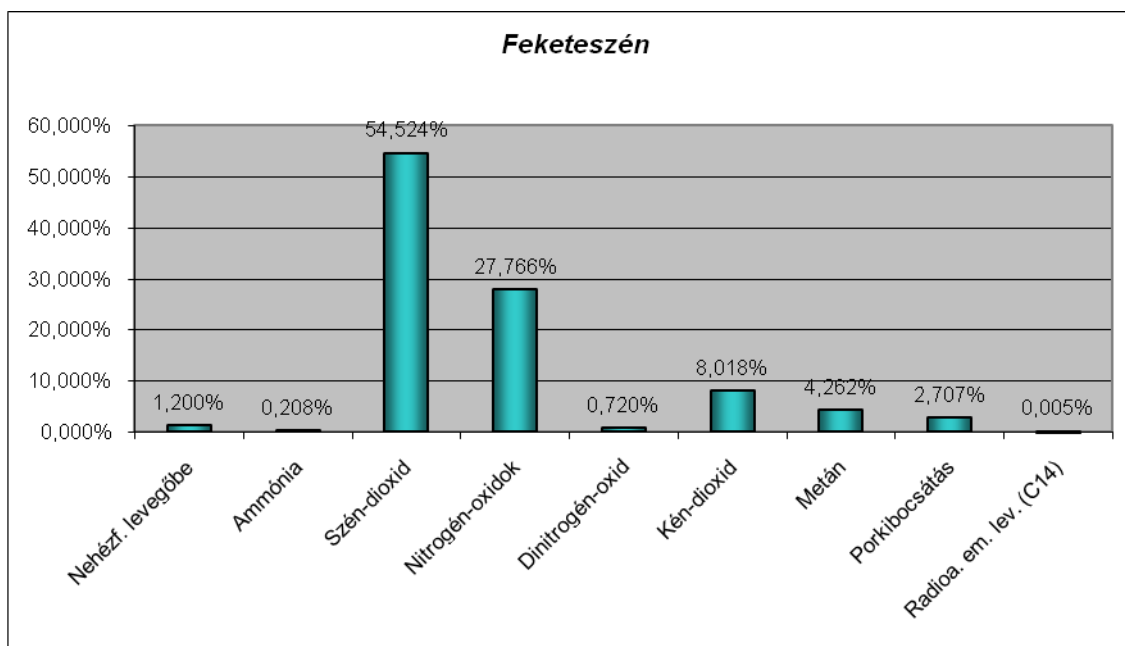
A feketeszén esetében szintén az erőművi termelés a fő környezetterhelő folyamat, de itt indikátor értékének negyedére rúg a feketeszén bányászat.

Az indikátor értékek kialakításában 99,5 %-ban légköri emissziók vesznek részt, 50 %-ban a szén-dioxid, ami nagyrészt (95 %) az erőműből származik. Az NO_x és SO₂ szintén meghatározók 28%-kal és 8 %-kal. 37 %-uk és 23 %-uk származik a bányászatból, azon belül is 12%-uk és 1 %-uk a szállításhoz köthető emissziókból.

Fontos megemlíteni még a metán emissziót és a por kibocsátást. Ezek 4,3 %-ban és 2,7 %-ban járulnak hozzá az indikátor kialakításához. Nagy részük a bányászatból származik (98 %-ban és 80 %-ban).

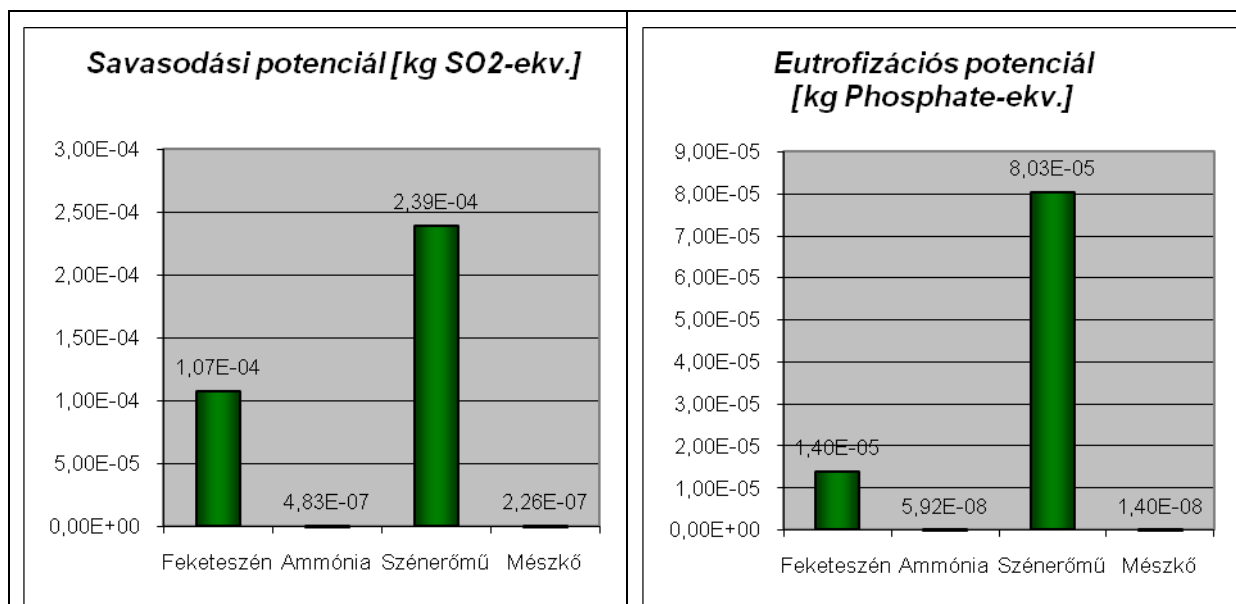


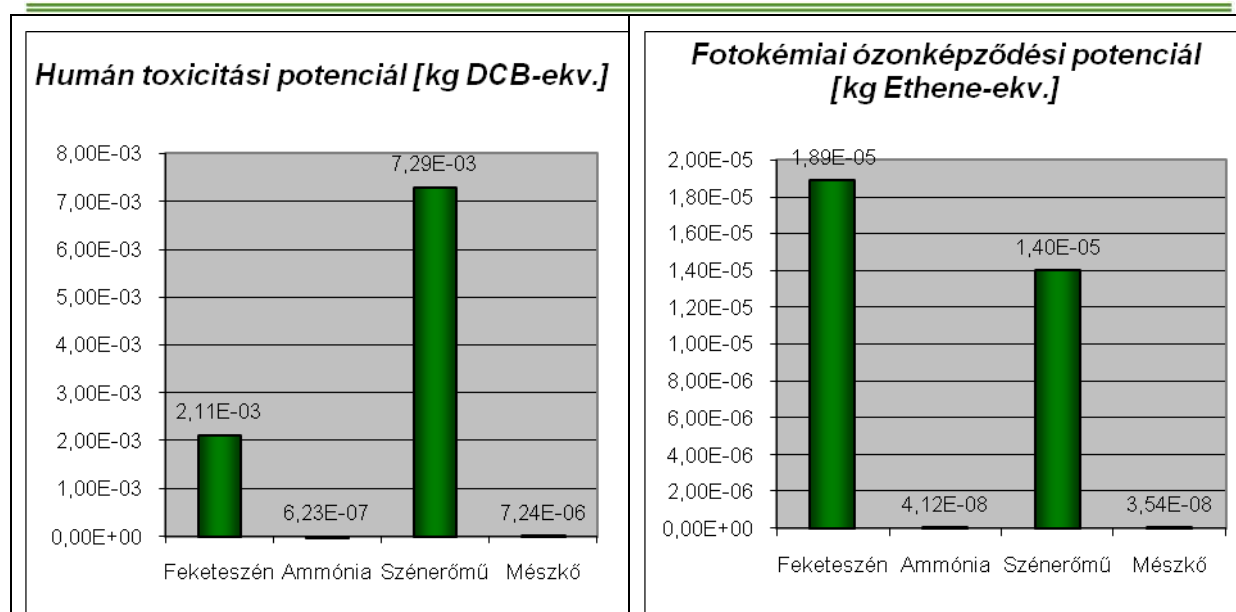
67. ábra Az EI '99 megoszlása az alrendszerek között (feketeszen)



68. ábra Az EI '99 értékét jelentősen befolyásoló emissziók /feketeszen/

6.3.3.2 A CML módszer





69. ábra A feketeszén erőmű CML eredményei

A savasodási potenciál a feketeszén beszerzésénél/szállításánál a dízelmozdony használata, ill. a dízelolaj előállítása miatt adja a 0,000107 kg SO₂-ekv-nak megfelelő értéket, míg az erőműnél a tüzelésből származó emissziók.

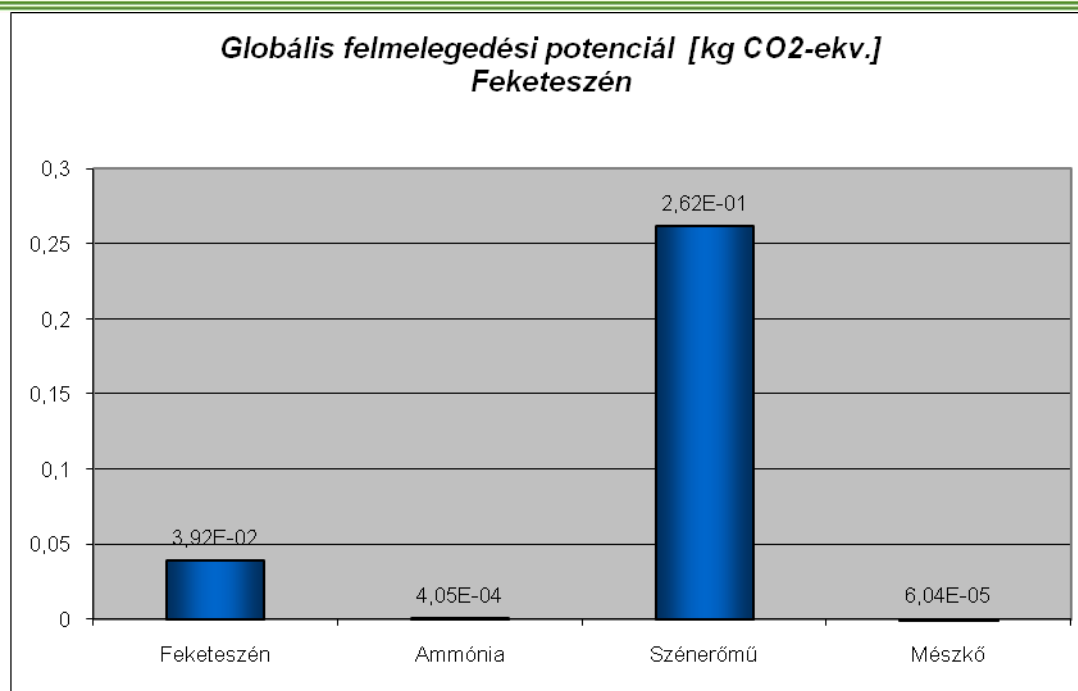
Az erőműből származó víz kémiai oxigénigénye okozza az energiatermelés tápanyag-feldúsulásban játszott kiemelkedő szerepét.

A nehézfémek kibocsátása a tüzelés során a szén nehézfémtartalmára jellemző, ugyanakkor a bányászat során is számolni kell ilyen anyagok emissziójával. Ez okozza a feketeszén technológia humán toxicitási potenciálját.

A szénhidrogének kibocsátása leginkább a bányászati tevékenységekre jellemző, jól mutatja ezt a feketeszén technológia fotokémiai ózontképződési mutatójának eloszlása.

6.3.3.3 A „carbon footprint”

A feketeszén tüzelés üzemanyaga, a feketeszén a modell szerint Lengyelországból érkezik dízelmozdony vontatású vasúti szerelvényen. Ezért a feketeszén alrendszer (bányászat és szállítás) a tüzeléssel összemérhető globális felmelegedési potenciállal rendelkezik (91 % a CO₂, 1,08 % a N₂O, és van további 7,9 %-nyi szerves anyag légköri emisszió is). Ennek alig 0,2 %-a a szállításból és a maradék pedig a bányászatból származik.



70. ábra Globális felmelegedési potenciál (feketeszén)

Fosszilis energiahordozók – földgáz

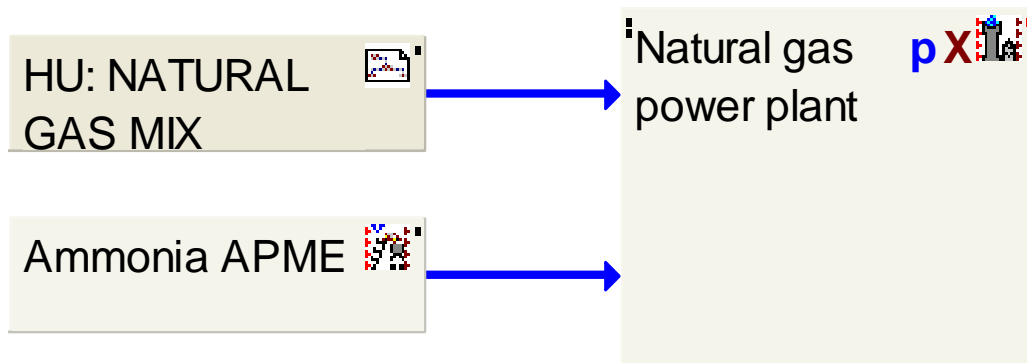
6.4 Az elemzés lépései

6.4.1 A rendszerhatárok

Legfontosabb energiahordozónk, pontosabban az energiatermelésben felhasznált energiahordozó a **földgáz**, amelyet több mint 90 %-ban Oroszországból importálunk. Éppen ezért a modellben szerepel az orosz gázkitermelés és a csővezetékes gázzállítás folyamata is. Ehhez a folyamathoz tartozó adatlapon látható, hogy a szállítás mintegy 0,2 %-os veszteséggel számol. Mivel a földgáz java része metán, aminek a globális felmelegedéshez és ezzel a klímaváltozáshoz hozzájáruló, a CO₂-ra vetített hatása 23-szoros (100 éves viszonylatban), jelentős hatással kel számolnunk a 4500 km-es szállítási út alatt.

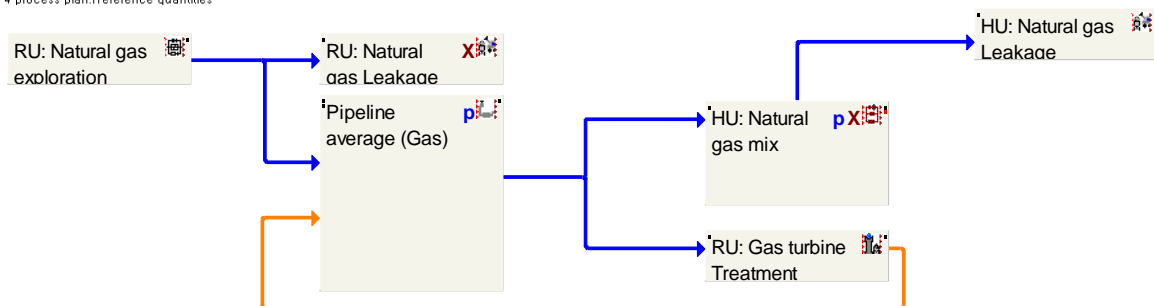
NATURAL GAS_(fuel cycle)

GaBi 4 process plan:Reference quantities



71. ábra A földgáztüzelés rendszerhatárai

HU: NATURAL GAS MIX
GaBi 4 process plan:Reference quantities



72. ábra Földgázkitermelés és szállítás

6.4.2 A leltár

A következő ábra a földgázból előállított elektromos áram rendszerének input-output leltárát mutatja.

NATURAL GAS_(fuel cycle) -- Plan instance

Local name: NATURAL GAS_(fuel cycle) No image

Local settings: VF, LCC

Scaling factor: 1 Fixed Allocation: [no allocation]

Free parameters

Fixed parameters

Inputs						Outputs					
Alias	Flow	Quantity	Amount	Unit	Trade	Alias	Flow	Quantity	Amount	Unit	Trade
	Air [Renewable resources]	Mass	0,85858	kg			Radon (Rn222) [Radioactive emissions to air]	Activity	8,1854	Bq	
	Water (surface water) [Water]	Mass	0,412	kg			Krypton (Kr85) [Radioactive emissions to air]	Activity	2,6486	Bq	
	Natural gas CIS [Natural gas (resource)]	Mass	0,05047	kg			Waste heat [Other emissions to air]	Energy (net ca1		MJ	
	Water [Water]	Mass	0,0022825	kg			Power (from natural gas) [Electric power]	Energy (net ca1		MJ	
	Inert rock [Non renewable resources]	Mass	0,0021519	kg			Exhaust [Other emissions to air]	Mass	0,69278	kg	
	Water (feed water) [Water]	Mass	0,0010122	kg			Steam [Inorganic emissions to air]	Mass	0,39289	kg	
	Crude oil [Crude oil (resource)]	Mass	0,00019531	kg			Carbon dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass	0,12076	kg	
	Heavy spar (barites) [Non renewable resources]	Mass	0,00012612	kg			Waste water [Other emissions to fresh water]	Mass	0,11356	kg	
	Natural gas (APME) [Natural gas (resource)]	Mass	7,058E-005	kg			Hydrogen (H3) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,049585	Bq	
	Nuclear energy (APME) [Uranium (resource)]	Energy (net ca1	2,9445E-005	MJ			Methane [Organic emissions to air (group VOC)]	Mass	0,011053	kg	
	Natural gas [Natural gas (resource)]	Mass	8,8756E-006	kg			Tailings [Stockpile goods]	Mass	0,0021541	kg	
	Bentonite [Non renewable resources]	Mass	8,2102E-006	kg			Ethane [Group NMVOC to air]	Mass	0,0014855	kg	
	Primary energy from hydro power [Renewable resources]	Energy (net ca1	2,3928E-006	MJ			Propane [Group NMVOC to air]	Mass	0,00099282	kg	
	Hard coal (APME) [Hard coal (resource)]	Mass	2,1854E-006	kg			Hydrogen sulphide [Inorganic emissions to air]	Mass	0,00090103	kg	
	Primary energy from hydro power [Renewable resources]	Energy (net ca1	1,8403E-006	MJ			Sludge [Hazardous waste]	Mass	0,00082102	kg	
	Lignite [Lignite (resource)]	Mass	5,6396E-007	kg			NMVOC (unspecified) [Group NMVOC to air]	Mass	0,00072769	kg	
	Sulphur (APME) [Non renewable resources]	Energy (net ca1	4,6008E-007	MJ			Radium (Ra226) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,00059927	Bq	
	Sodium chloride (rock salt) [Non renewable resources]	Mass	3,3126E-007	kg			Nitrogen oxides [Inorganic emissions to air]	Mass	0,0001629	kg	
	Crude oil (APME) [Crude oil (resource)]	Mass	2,8551E-007	kg			Sulphur dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass	6,1931E-005	kg	
	Nitrogen [Renewable resources]	Mass	1,4723E-007	kg			Uranium [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	5,4215E-005	Bq	
	Limestone (calcium carbonate) [Non renewable resources]	Mass	1,4147E-007	kg			Cesium (Cs134) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	4,6143E-005	Bq	
	Sulphur [Non renewable elements]	Mass	3,0365E-008	kg			Overburden [Stockpile goods]	Mass	3,3289E-005	kg	
	Lignite (APME) [Lignite (resource)]	Mass	2,9875E-008	kg			Chloride [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	2,323E-005	kg	
	Renewable fuels [Renewable resources]	Mass	2,3603E-008	kg			Sodium [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	2,218E-005	kg	
	Sulphur (bonded) [Non renewable resources]	Mass	1,5643E-008	kg			Strontium (Sr90) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	2,0504E-005	Bq	
	Hard coal [Hard coal (resource)]	Mass	1,1185E-008	kg			Carbon monoxide [Inorganic emissions to air]	Mass	1,4725E-005	kg	
	Iron ore [Non renewable resources]	Mass	9,0449E-009	kg			Carbon (C14) [Radioactive emissions to air]	Activity	1,26E-005	Bq	
	Iron [Non renewable elements]	Mass	7,3613E-010	kg			Iodine (I129) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	1,0254E-005	Bq	
	Uranium natural [Uranium (resource)]	Mass	9,0089E-011	kg							

Data quality

Technique: No statement Location: No statement Time: No statement

73. ábra A földgáztüzelés leltár-táblája

<i>Energiatermelő rendszer neve</i>	
NATURAL GAS	
Funcionális egység:	1 MJ Elektromos áram
Év:	
Forrás:	ProBas GEMIS
A rendszer különleges ismertetőjegyei:	A modell tartalmazza a földgáz termelés folyamatát is (Oroszország) Szállítás vezetéken történik átlag 4500 km távolságból. A gáz energitartalma 40 MJ/kg. Az erőmű termikus hatásfoka 50 %. A gázmosó 92 %-os hatásfokon működik. A porszűrő hatékonysága 99,5 %. A vezeték vesztesége 0,2 %.
Inputok	
Tüzelőanyag:	földgáz - átlag 0,04 kg/MJ
Segédanyagok:	ammónia a füstgáz deNOxálásához
Outputok	
Hasznos áramok:	megtermelt elektromos áram
Hulladék áramok:	hulladékhő vízbe és levegőbe hamu (kazánból és a szűrőből)

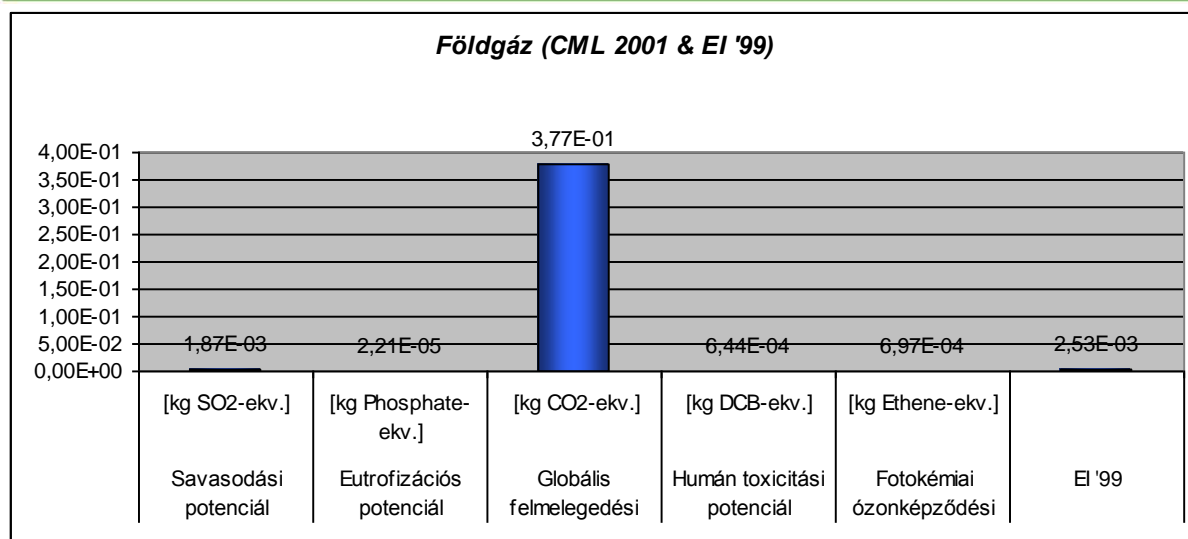
74. ábra egységes adattábla

6.4.3 Az elemzések eredményei

A földgáztüzelés egyik nagy hátránya csővezetékes szállítás, ahol óhatatlanul is kell veszteségekkel számolnunk. A modellben 0,2%-os a földgázvesztesség 4500 km vezetékhozzon, így az üvegházhatású gázok kibocsátása 0,377 kg / MJ termelt elektromos áram fajlagos mennyiségnek adódott.

Ez a veszteség megnöveli a globális felmelegedési potenciál (GWP) értéket (nemzetközileg elfogadott adat szerint a metán GWP-je 20-25-ször magasabb a szén-dioxidénál, szoros összefüggésben van a hőkapacitással, a légkörben eltöltött maximális idővel, és egyéb fizikai tulajdonságokkal).

A földgáz esetében más környezeti mutatók értéke nagyon alacsonyan maradt, kivétel a savasodási potenciál, ami a nagyobb NOx kibocsátás következménye lehet. A magas NOx pedig tüzeléstechnikai okokra, a láng hőmérséklet nagyobb értékére vezethető vissza. Tehát ennek a technológiának egyik hátránya a gázszállítás, és a nagyobb hatás a környezet pH-jára.



75. ábra A földgáztüzeléses technológia környezeti indikátorainak (CML 2001 & EI '99) értékei

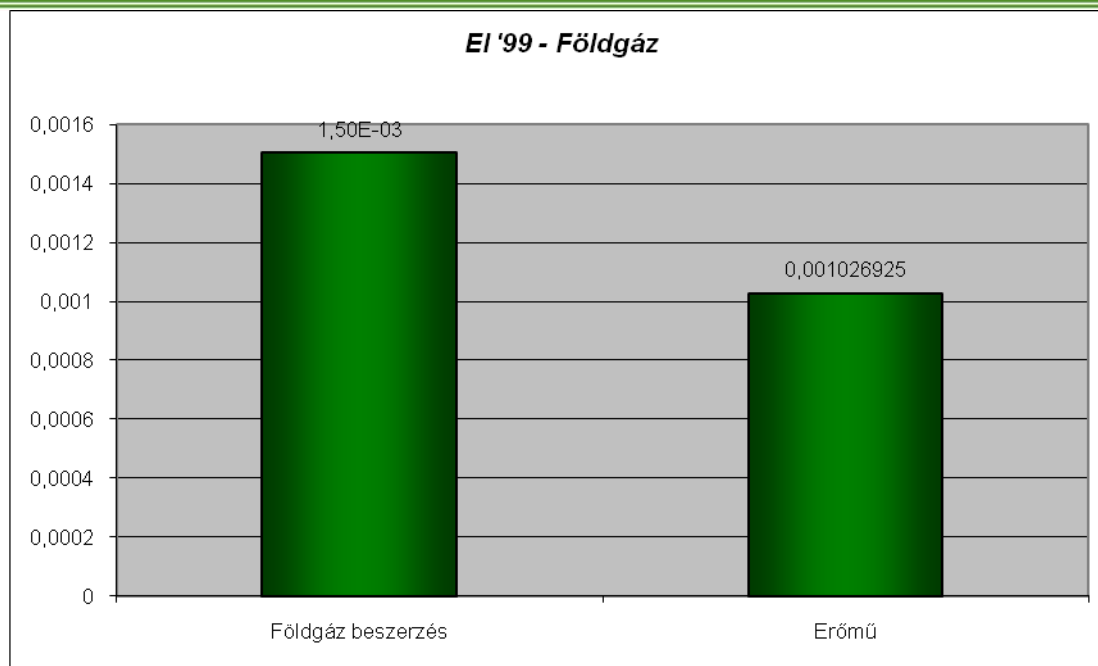
6.4.3.1 Az EI '99 módszer

A földgáztüzelés az első olyan technológia a vizsgáltak között, ahol az energiahordozó kitermelése és előkészítése az EcoIndicator '99 kiértékelése szerint rosszabb környezeti teljesítménnyel rendelkezik, mint maga az energia-előállítás.

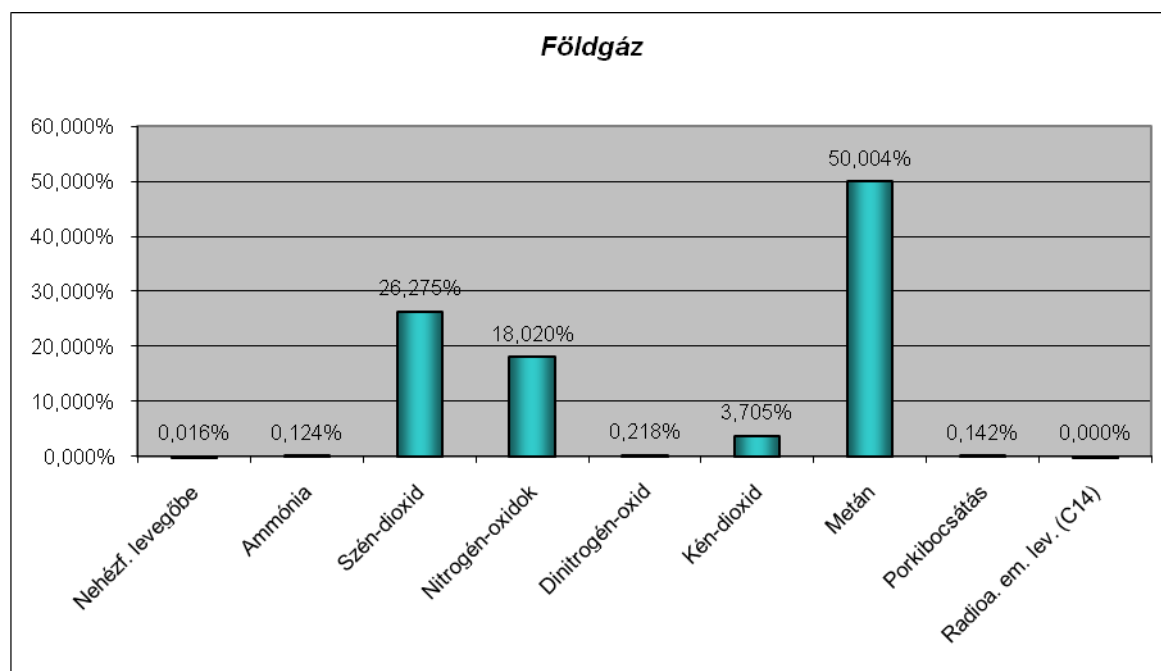
A környezetterhelésért fele-fele arányban felelősek szerves és szervesetlen légköri emissziók, méghozzá úgy, hogy a szerves emissziók 80 %-a földgáztermelésből, és szállításból, míg a szervesetlenek 80 %-a az energiatermelésből származik.

NO_x és N₂O az energiatermeléshez kapcsolódik (égés-kinetikai okok), kis mennyiségű SO₂ kibocsátás is jellemző 100%-ban a kitermelésből. A CO₂ emisszió csak 26 %-ban meghatározó az indikátorban, 96 %-ban a tüzelésből származik.

A szerves emisszió esetében főként metán, de egyéb a földgázt alkotó szénhidrogének is megtalálhatók, ahogy az a gyengepont analízisben is látható volt.

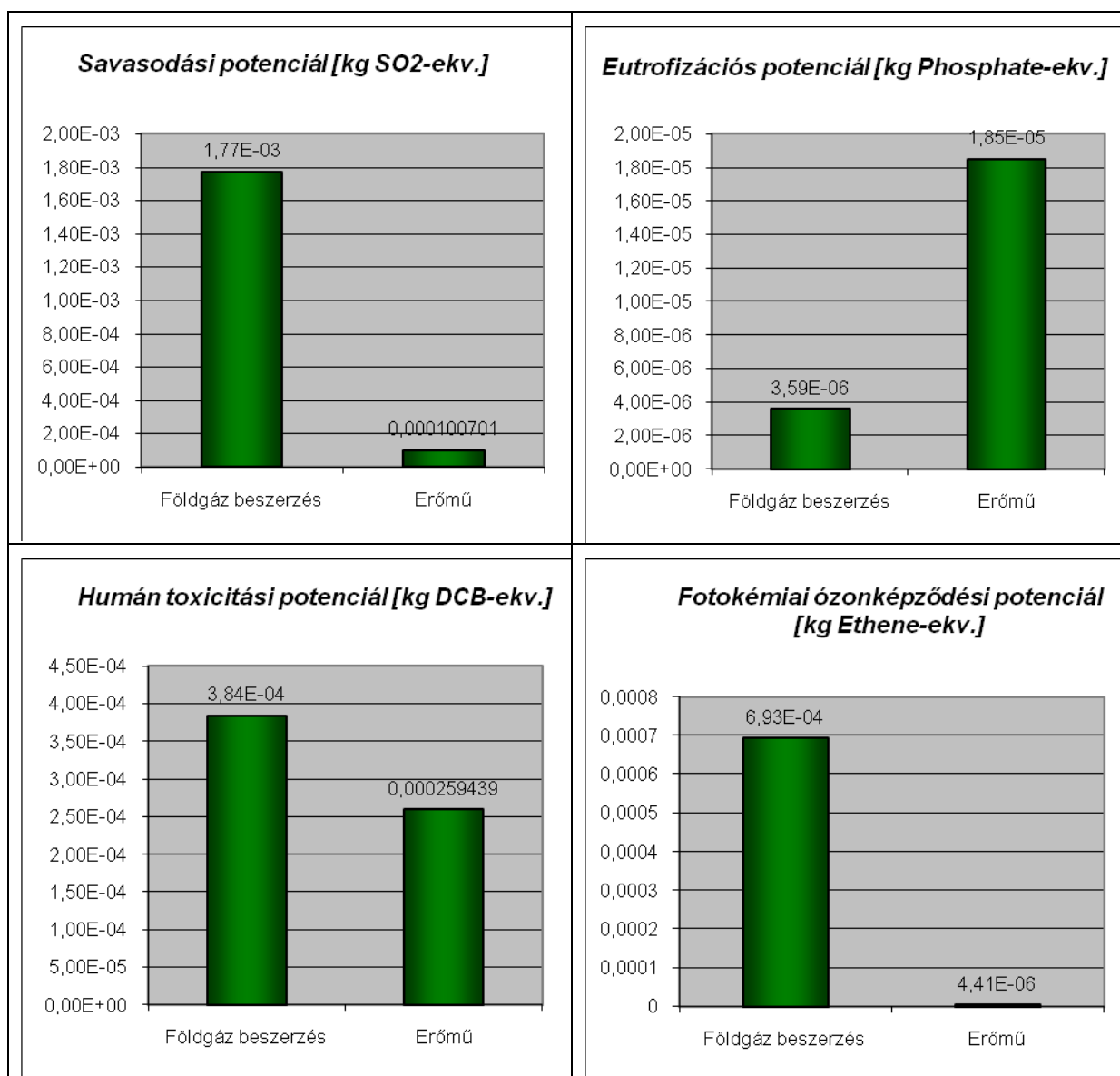


76. ábra Az EI '99 megoszlása az alrendszerek között (földgáz)



77. ábra Az EI '99 értékét jelentősen befolyásoló emissziók /földgáz/

6.4.3.2 A CML módszer



78. ábra A földgáztüzelés CML táblái

A földgáz bányászatkor a modell szerint nagyobb mennyiségű kénhidrogén jut a levegőbe, ami a savasodási potenciál 90 %-át okozza, míg a maradék 10 %-ot az erőmű NO_x emissziója. A tápanyag-feldúsulásnál ez az arány megfordul, mivel az NO_x ilyen hatása erősebb, mint a bányászat légköri emissziói.

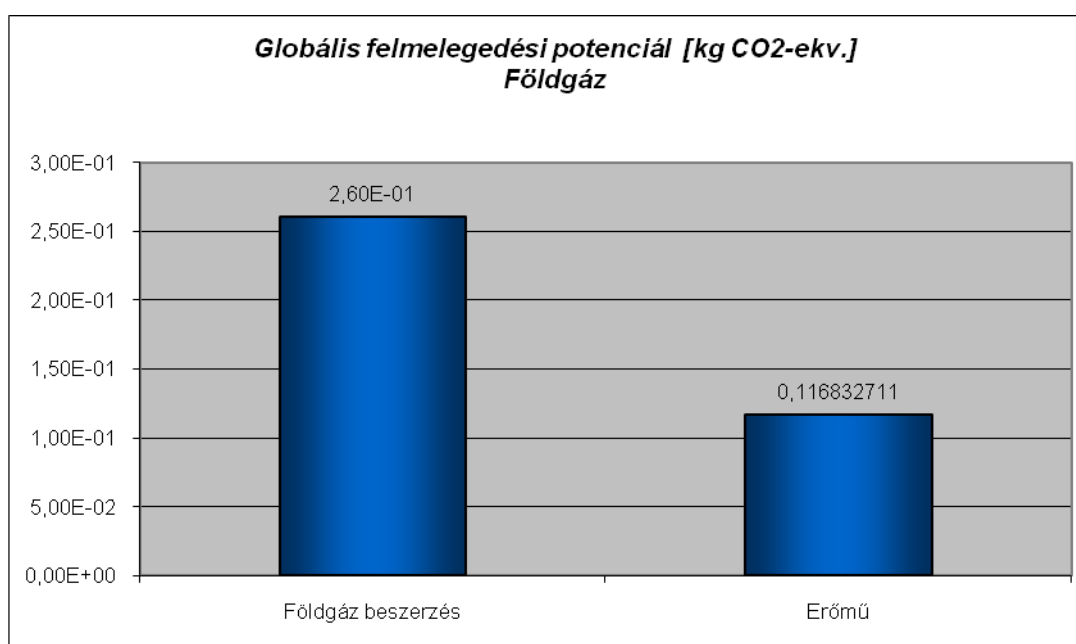
A kénhidrogén, amely a savasodási potenciálban is szerepet játszik, hatással van a toxicitási potenciálra (HTP), ezért a földgáz kitermelése megemeli a HTP-mutatót a földgáz beszerzésének folyamatánál.

A fotokémiai ózontképződési potenciálban az NMVOC vegyületeknek, az etánnak, propánnak és más földgázt alkotó vegyületnek nagy szerepe van, a bányászatkor keletkező veszteségek így növelik a földgáztüzeléses technológiájának ezt a mutatóját.

6.4.3.3 A „carbon footprint”

Eddig is láthattuk, hogy a földgáztüzelésnél a földgáz kitermelésének környezetterhelése mindig nagyobbak adódott, mint maga az energiatermelés. A földgáz kitermelésekor kiszabaduló szénhidrogének (főként a metán), magas hőkapacitásuk miatt a CO₂-höz hasonlóan megemelik a légkör hőtartalmát.

Az energiatermelés globális felmelegedési potenciáljában (GWP) a szén-dioxid 99,2 %-ban (kb. 0,11 kg) vesz részt, a dinitrogén-oxid 0,003 g-mal nem éri el az 1 %-ot. A bányászat esetében a szerves emissziók 98 %-ban alkotják a GWP-t, ezen belül is a metán foglalja el a legelőkelőbb helyet.



79. ábra Globális felmelegedési potenciál (földgáz)

Fosszilis energiahordozók – olaj

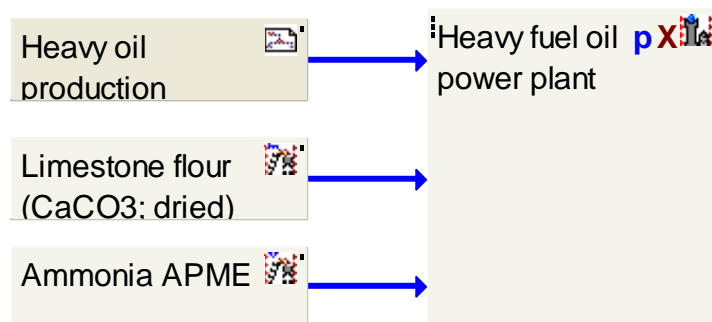
6.5 Az elemzés lépései

6.5.1 A rendszerhatárok

A **kőolaj** szintén vezetéken érkezik Oroszországból. Ez egy magasabb kén-tartalmú olaj, mint a szaúdi, így az energiatermelés során magasabb kén-dioxid kibocsátással is kell számolnunk. A vezetéken nem számoltunk veszteséggel, így abból a működtetésen kívül más emisszió nem származik.

HEAVY FUEL OIL_(fuel cycle)

GaBi 4 process plan:Reference quantities



80. ábra Az olajtüzeléses technológia rendszerhatárai

6.5.2 A leltár

A következő ábra az olajos elektromos áramtermelés folyamatának I/O tábláját szemlélteti.

The screenshot shows the 'HEAVY FUEL OIL (fuel cycle) -- Plan instance' window. It features a 'Local settings' bar with 'VF' and 'LCC' icons, a 'Scaling factor' of 1, and an 'Allocation' dropdown set to '(no allocation)'. Below this are sections for 'Free parameters' and 'Fixed parameters'. The main area contains two tables: 'Inputs' and 'Outputs', both with 'Show all flows' options. The 'Inputs' table lists various resources like water, air, crude oil, and natural gas from different regions. The 'Outputs' table lists emissions and products such as radioactive emissions, waste, and electric power. At the bottom, there is a 'Data quality' section with dropdowns for 'Technique', 'Location', and 'Time', all set to 'No statement'.

Inputs						Outputs					
Alias	Flow	Quantity	Amount	Unit	Tr	Alias	Flow	Quantity	Amount	Unit	Tr
	Water (surface water) [Water]	Mass	9,9239	kg			Krypton (Kr85) [Radioactive emissions to air]	Activity	1245,7	Bq	
	Air [Renewable resources]	Mass	1,1225	kg			Hydrogen (H3) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	47,779	Bq	
	Crude oil CIS [Crude oil (resource)]	Mass	0,064913	kg			Radon (Rn222) [Radioactive emissions to air]	Activity	17,307	Bq	
	Water [Water]	Mass	0,051399	kg			Waste water [Other emissions to fresh water]	Mass	9,5633	kg	
	Inert rock [Non renewable resources]	Mass	0,042859	kg			Waste heat [Other emissions to air]	Energy (net ca)	1,3815	MJ	
	Water (ground water) [Water]	Mass	0,0054115	kg			Ash [Stockpile goods]	Mass	1	kg	
	Crude oil [Crude oil (resource)]	Mass	0,003899	kg			Power (from oil) [Electric power]	Energy (net ca)	1	MJ	
	Natural gas CIS [Natural gas (resource)]	Mass	0,002383	kg			Heavy fuel oil power plant [Flows]	Number of pie	1	pcs.	
	Limestone (calcium carbonate) [Non]	Mass	0,002341	kg			Exhaust [Other emissions to air]	Mass	0,90878	kg	
	Heavy spar (barytes) [Non renewab	Mass	0,0018474	kg			Radium (Ra226) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,56928	Bq	
	Water (feed water) [Water]	Mass	0,0015752	kg			Steam [Inorganic emissions to air]	Mass	0,46047	kg	
	Lignite Hungary [Lignite products]	Mass	0,00089514	kg			Waste heat [Other emissions to fresh water]	Energy (net ca)	0,34341	MJ	
	Primary energy from hydro power [REnergy ren.	(r)	0,00040098	MJ			Carbon dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass	0,24225	kg	
	Natural gas [Natural gas (resource)]	Mass	0,0001776	kg			Xenon (Xe133) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,15696	Bq	
	Bentonite [Non renewable resources]	Mass	0,00012047	kg			Hydrogen (H3) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,1354	Bq	
	Natural gas (APME) [Natural gas (res)	Mass	0,00010984	kg			Argon (Ar41) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,069487	Bq	
	Nuclear energy (APME) [Uranium (re	Energy (net ca)	4,5823E-005	MJ			Xenon (Xe135) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,051893	Bq	
	Lignite Germany (Rheinisch) [Lignite	Mass	1,3884E-005	kg			Carbon (C14) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,032222	Bq	
	Primary energy from solar energy [REnergy ren.	(r)	1,3767E-005	MJ			Tailings [Stockpile goods]	Mass	0,031593	kg	
	Lignite [Lignite (resource)]	Mass	1,1456E-005	kg			Uranium [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,029555	Bq	
	Hard coal CIS [Hard coal products]	Mass	1,074E-005	kg			Cesium (Cs137) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,014765	Bq	
	Natural gas Germany [Natural gas (r	Mass	9,2013E-006	kg			Overburden [Stockpile goods]	Mass	0,012144	kg	
	Hard coal Czech Republic [Hard coal	Mass	8,2805E-006	kg			Sludge [Hazardous waste]	Mass	0,012035	kg	
	Crude oil free customer Hungary [Cr	Mass	6,3376E-006	kg			Water (river water) [Water]	Mass	0,01096	kg	
	Hard coal Poland [Hard coal (resourc	Mass	5,5251E-006	kg			Uranium (U238) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,0090224	Bq	
	Natural Aggregate [Non renewable r	Mass	5,4151E-006	kg			Cobalt (Co60) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,0068457	Bq	
	Primary energy from wind power [REnergy ren.	(r)	5,0294E-006	MJ			Iodine (I129) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,0048216	Bq	
	Natural gas France [Natural gas (res)	Mass	4,9704E-006	kg			Gypsum (FDI) [Waste for recovery]	Mass	0,003418	kg	
	Hard coal Germany [Hard coal (resou	Mass	4,337E-006	kg			Cesium (Cs134) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,0028493	Bq	
	Hard coal USA [Hard coal (resource)]	Mass	4,1928E-006	kg			Chemical oxygen demand (COD) [Analytical measures	Mass	0,0026242	kg	
	Hard coal (APME) [Hard coal (resour)	Mass	3,401E-006	kg			Strontium (Sr90) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,0020736	Bq	
	Primary energy from hydro power (A	Energy ren.	(r)	2,8639E-006	MJ		Xenon (Xe138) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,0017522	Bq	
	Hard coal [Hard coal (resource)]	Mass	2,3731E-006	kg			Carbon (C14) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,0016853	Bq	
	Water (processed) [Operating water]	Mass	2,1991E-006	kg			Chloride [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	0,0010665	kg	
	Crude oil Norway [Crude oil (resourc	Mass	1,9084E-006	kg			Manganese (Mn54) [Radioactive emissions to fresh we	Activity	0,0010613	Bq	
	Methane [Organic intermediate prod	Mass	1,8943E-006	kg			Xenon (Xe131m) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,00095902	Bq	
	Crude oil North Africa [Crude oil (res	Mass	1,4625E-006	kg							

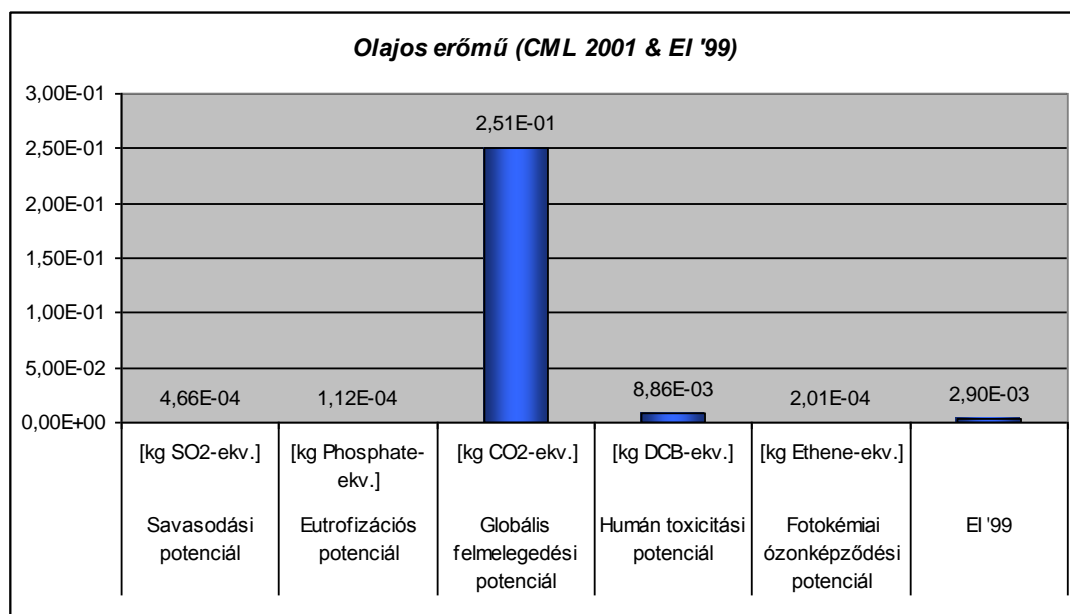
81. ábra Az olajtüzelés leltár-táblája

<i>Energiatermelő rendszer neve</i>	
HEAVY FUEL OIL	
Funcionális egység:	1 MJ Elektromos áram
Év:	
Forrás:	ProBas GEMIS
A rendszer különleges ismertetőjegyei:	A modell tartalmazza az olaj termelés folyamatát is (Oroszország) Szállítás vezetéken történik átlag 4500 km távolságból. A gáz energitartalma 40 MJ/kg. Az erőmű termikus hatásfoka 40 %. A gázmosó 92 %-os hatásfokon működik. A porszűrő hatékonysága 99,5 %. A vezeték vesztesége 0 %.
Inputok	
Tüzelőanyag:	földgáz - átlag 0,001 kg/MJ
Segédanyagok:	ammónia a füstgáz deNOxálásához mészke
Outputok	
Hasznos áramok:	megtermelt elektromos áram
Hulladék áramok:	hulladékhő vízbe és levegőbe hamu (kazánból és a szűrőből) gipsz

82. ábra egységes adattábla

6.5.3 Az elemzések eredményei

Az olajos tüzelés egyik hátránya a képződő nagyobb mennyiségű por, és az ahhoz kötődő emberi egészségre ártalmas anyagok, például nehézfémek, amelyek megemelik a humán toxicitási potenciál értékét. Az okokról részletesebben a gyengepont analízisnél lesz szó. A megtermelt 1 MJ elektromos energia ebben az esetben 0,251 kg CO₂-nak megfelelő üvegházhatású gáz kibocsátásával jár.



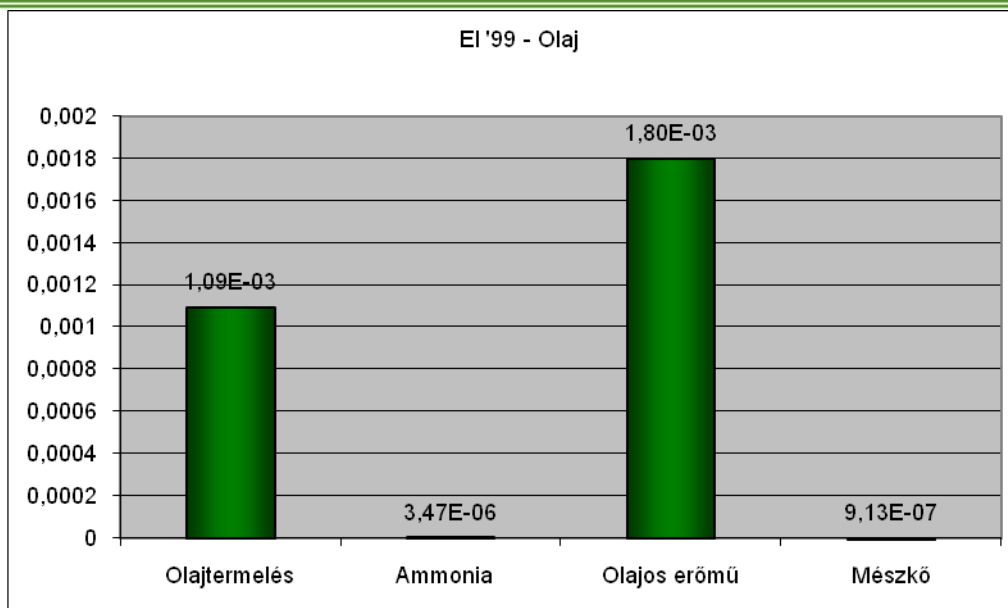
83. ábra Az olajtüzeléses technológia környezeti indikátorainak (CML 2001 & EI '99) értékei

6.5.3.1 Az EI '99 módszer

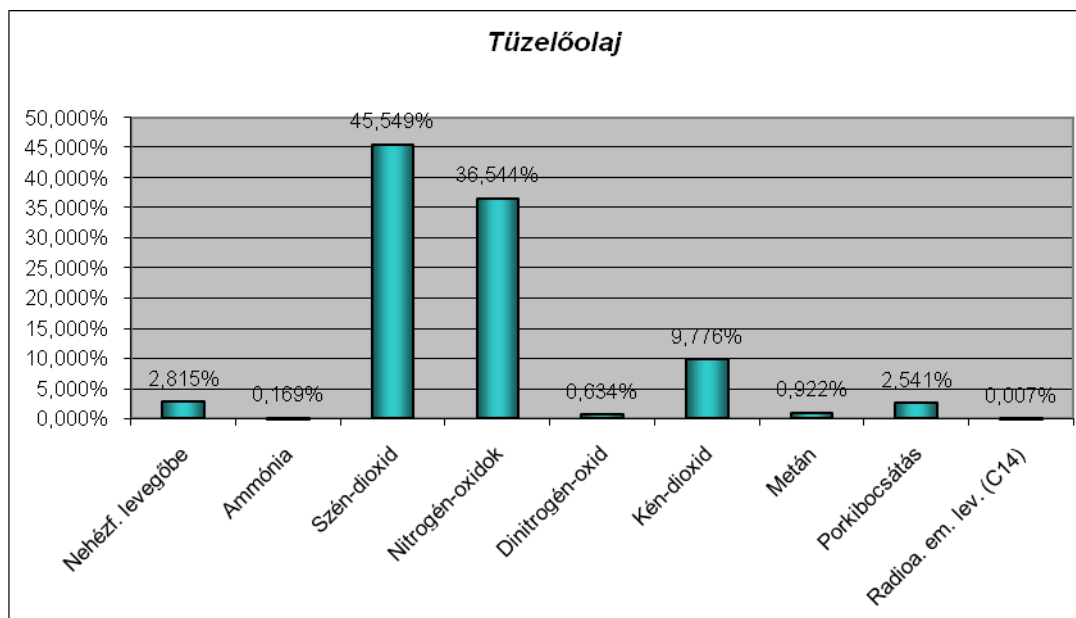
Az olajtüzelésű erőműnél az olajkitermelés hatása már igen jelentős az energiatermeléshez képest. A fő emisszió ismét a szén-dioxid, a nitrogén-oxidok és a kén-dioxid, csak az arány változik 45 : 36 : 10-re. A CO₂ 88%-ban származik az erőművi termelésből, a nitrogén-oxidoknál viszont az olaj kitermelése ad 62%-ot, míg a SO₂ kibocsátásban fele-fele arányban osztoznak.

A metán és egyéb illékony szénhidrogén emisszió 2%-ban járul hozzá a környezetterheléshez, és 100 %-ban az olaj kitermeléséhez, illetve előkészítéséhez kapcsolható.

A porkibocsátás (3%) 98%-ban a fűtőolaj termeléshez kapcsolódik. Az egyéb emissziók 1% alattiak, így nem okoznak jelentős környezetterhelést.

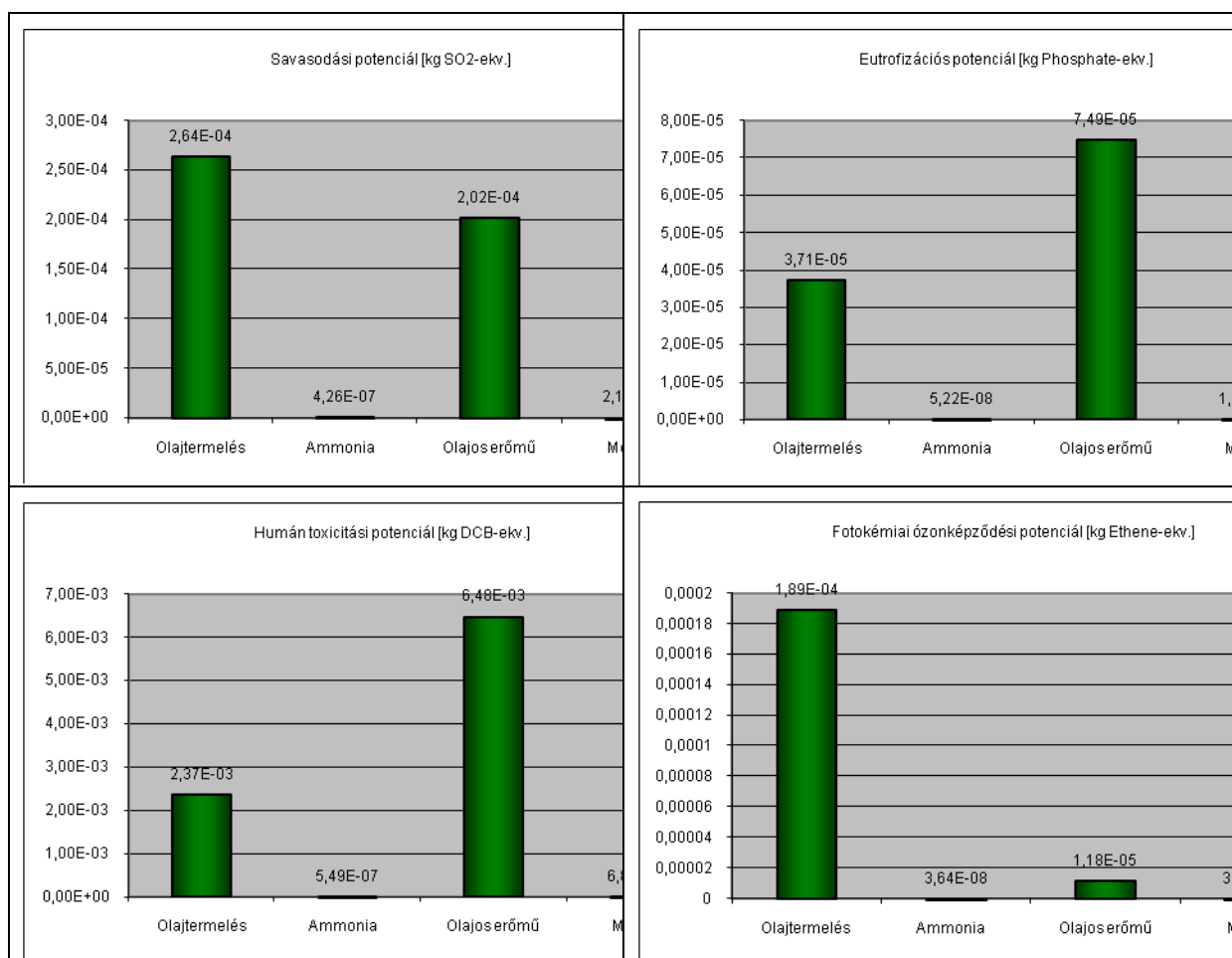


84. ábra Az EI '99 megoszlása az alrendszerek között (olaj)



85. ábra Az EI '99 értékét jelentősen befolyásoló emissziók /olaj/

6.5.3.2 A CML módszer



86. ábra Az olajtüzelés CML ábrái

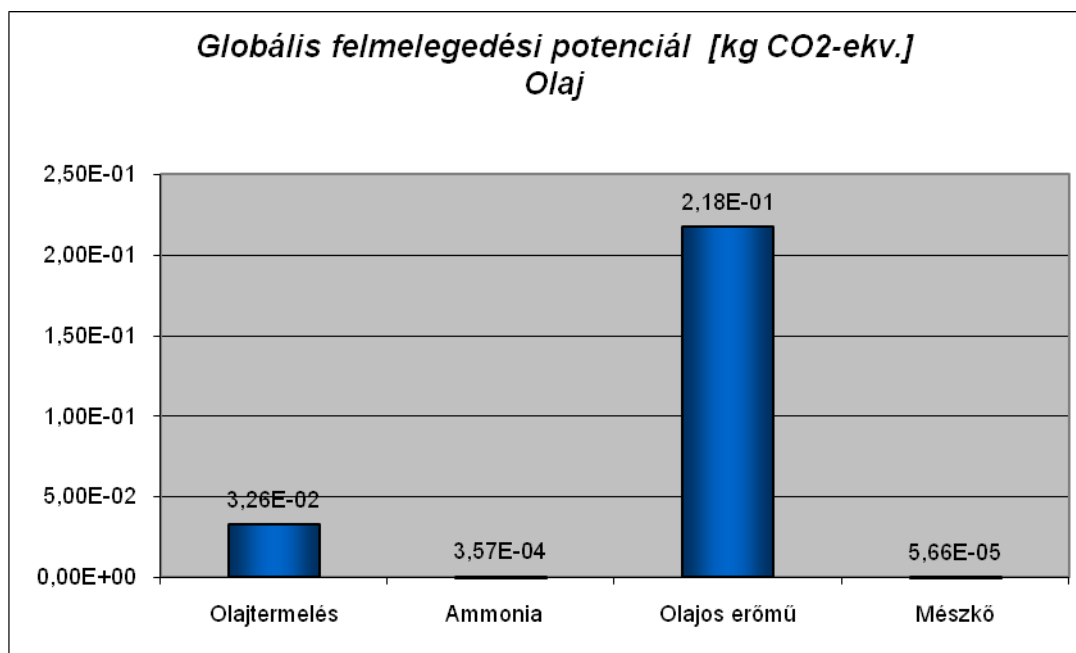
Az olajkitermelés savasodási potenciálja a kitermelés energiaigényéből adódó nitrogén-oxidok kibocsátásából ered, számottevő továbbá a kén-dioxid kibocsátás is, ami kb. fele-fele arányban az erőműből és az olajkitermelésből, valamint a tüzelőolaj előállításból származik.

Az erőműből származó víz kémiai oxigénigénye okozza az energiatermelés tápanyag-feldúsulásban játszott kiemelkedő szerepét. Az olajtermelés NOx kibocsátása az, ami ennek a technológiai lépésnek az eutrofizációs potenciálját okozza.

A toxicitás elsődleges okozója a nehézfémek légköri emissziója, itt részt vesz benne még a hidrogén-klorid, és NOx emisszió is. Szerves emissziók közül itt a NMVOC vegyületcsoport jelenik meg, amely hatással van erre a mutatóra. A fotokémiai ózonképződés túlnyomó része az olaj előkészítésénél keletkezik, ugyanis itt történik a szénhidrogén emisszió (NMVOC vegyületek) szinte 100 %-a.

6.5.3.3 A „carbon footprint”

Olajtüzelés esetében is a globális felmelegedési potenciál legnagyobb részét az erőművi CO₂ és N₂O kibocsátás adja, de ehhez 2-3%-ban szerves emissziók is hozzájárulnak. A metán kibocsátás 100%-a az olaj kitermeléséhez és feldolgozásához kapcsolható.



87. ábra Globális felmelegedési potenciál (olaj)

Alternatív energiaforrások - hulladék

6.6 Az elemzés lépései

A hulladékkezelés egyik nagy kérdése a **hulladékégetés** hasznossága. Az égetés a civil szférában egy igen környezetszennyező technológiát jelent, amit teljesen szükségtelennek ítélnék meg bizonyos körök. Fontos tudni, hogy a modern hulladékégetőkben csak olyan hulladékot égetnek, aminek energiatartalma azt gazdaságossá teszi, továbbá a rendelkezésre álló technológiák alkalmazásával abból további hasznosítható anyagot nem lehet kinyerni.

6.6.1 A rendszerhatárok

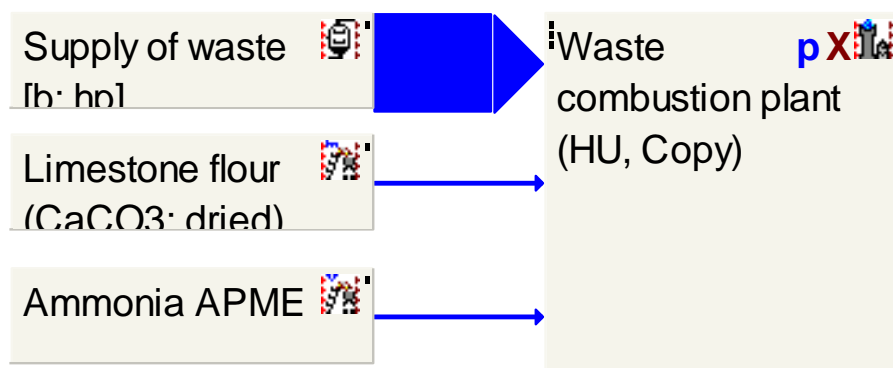
A kívánt minimális tüztérhőmérséklet $850\text{ }^{\circ}\text{C}$, a légfelesleg-tényező értéke 1,3–2,5. Az égetés szilárd maradékanyagának mennyisége az elégetett hulladék típusától függ. Szilárd települési hulladék égetésekor a maradék mennyisége kb. 10 térfogat %.

1976-ban a hulladékártalmatlanítás megoldása céljából döntés született egy kommunális hulladék égetőmű megépítésére. A létesítmény Rákospalotán valósult meg, állami nagyberuházásként. A fővárosban egy év alatt keletkezett hulladékmennyiség 60 %-át semmisítette meg, ez évi 350 ezer tonna kapacitást jelentett. Az 1982-ben üzembe helyezett Hulladékhasznosító Mű megfelelt az akkori előírásoknak. Mivel az üzembe helyezés óta eltelt idő alatt jelentősen szigorodtak a környezetvédelmi követelmények, szükségessé vált a rekonstrukció és ennek kapcsán új füstgáztisztító berendezések létesítése.

2002 decemberében megkezdődött a beruházás, ami 2005 őszén befejeződött. Az új beruházás nyomán az égetőmű kapacitása évi 420 ezer tonna kommunális hulladék termikus hasznosítását tette lehetővé. A létesítmény, Magyarország egyetlen kommunális hulladék égetőműve, már maradéktalanul megfelel mind a hazai, mind az Európai Unió környezetvédelmi előírásoknak.

WASTE_(fuel cycle)

GaBi 4 process plan: Mass



88. ábra A hulladékégetés rendszerhatárai

6.6.2 A leltár

A következő ábra a hulladéktüzeléses technológia I/O tábláját mutatja.

The screenshot shows the 'WASTE_(fuel cycle) -- Plan instance' window. It features a toolbar with 'Local settings', 'VF', and 'LCC' buttons. Below the toolbar, there are fields for 'Scaling factor' (set to 1) and 'Allocation' (set to 'no allocation'). The main area contains two tables: 'Inputs' and 'Outputs'. Both tables have columns for 'Alias', 'Flow', 'Quantity', 'Amount', and 'Unit'. The 'Inputs' table lists various resources like water, limestone, natural gas, and different types of coal and oil. The 'Outputs' table lists various emissions and waste products, including radioactive emissions (Krypton, Uranium, Radon, etc.), inorganic emissions (Steam, Sulphur dioxide, etc.), and other waste (Slag, Dust, etc.).

Inputs					Outputs				
Alias	Flow	Quantity	Amount	Unit	Alias	Flow	Quantity	Amount	Unit
	Water (surface water) [Water]	Mass	12,234	kg		Krypton (Kr85) [Radioactive emissions to air]	Activity	46,377	Bq
	Air [Renewable resources]	Mass	1,8151	kg		Steam [Inorganic emissions to air]	Mass	12,454	kg
	Water [Water]	Mass	0,0080478	kg		Waste heat [Other emissions to air]	Energy (net ca)	1,8667	MJ
	Limestone (calcium carbonate) [Non-renewable resources]	Mass	0,0052394	kg		Exhaust [Other emissions to air]	Mass	1,4941	kg
	Water (feed water) [Water]	Mass	0,0026261	kg		Power (from waste combustion) [Electric power]	Energy (net ca)	1	MJ
	Inert rock [Non-renewable resources]	Mass	0,00047849	kg		Hydrogen (H3) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,96942	Bq
	Natural gas (APME) [Natural gas (resource)]	Mass	0,00018312	kg		Waste heat [Other emissions to fresh water]	Energy (net ca)	0,46668	MJ
	Nuclear energy (APME) [Uranium (resource)]	Energy (net ca)	7,6394E-005	MJ		Carbon dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass	0,3934	kg
	Crude oil Norway [Crude oil (resource)]	Mass	4,0613E-005	kg		Slag [Hazardous waste]	Mass	0,09785	kg
	Crude oil CIS [Crude oil (resource)]	Mass	3,9249E-005	kg		Radium (Ra226) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,090319	Bq
	Crude oil United Kingdom [Crude oil (resource)]	Mass	3,4183E-005	kg		Uranium [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,063927	Bq
	Lignite Germany (Rheinisch) [Lignite (resource)]	Mass	2,8858E-005	kg		Uranium (U238) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,053693	Bq
	Primary energy from hydro power [Renewable resources]	Energy (net ca)	2,2643E-005	MJ		Radon (Rn222) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,029281	Bq
	Crude oil Libya [Crude oil (resource)]	Mass	2,0045E-005	kg		Waste water [Other emissions to fresh water]	Mass	0,0080426	kg
	Crude oil Saudi Arabia [Crude oil (resource)]	Mass	1,6407E-005	kg		Gypsum (FDI) [Waste for recovery]	Mass	0,0076703	kg
	Crude oil Algeria [Crude oil (resource)]	Mass	9,1314E-006	kg		Overburden [Stockpile goods]	Mass	0,00081709	kg
	Hard coal Germany [Hard coal (resource)]	Mass	9,0419E-006	kg		Cesium (Cs134) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,00077346	Bq
	Crude oil Nigeria [Crude oil (resource)]	Mass	8,1127E-006	kg		Tailings [Stockpile goods]	Mass	0,00048961	kg
	Crude oil Venezuela [Crude oil (resource)]	Mass	6,9491E-006	kg		Strontium (Sr90) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,00034521	Bq
	Hard coal (APME) [Hard coal (resource)]	Mass	5,6699E-006	kg		Dust (unspecified) [Particles to air]	Mass	0,00026909	kg
	Crude oil Germany [Crude oil (resource)]	Mass	5,6519E-006	kg		Carbon (C14) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,00026383	Bq
	Primary energy from hydro power [Renewable resources]	Energy (net ca)	4,7746E-006	MJ		Xenon (Xe133) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,00026034	Bq
	Crude oil [Crude oil (resource)]	Mass	4,7631E-006	kg		Sulphur dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass	0,00023942	kg
	Crude oil Iran [Crude oil (resource)]	Mass	4,1655E-006	kg		Hydrogen (H3) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,00022637	Bq
	Crude oil Angola [Crude oil (resource)]	Mass	3,6926E-006	kg		Iodine (I129) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,00017887	Bq
	Crude oil North Africa [Crude oil (resource)]	Mass	3,3228E-006	kg		Sludge [Hazardous waste]	Mass	0,0001717	kg
	Crude oil Middle East [Crude oil (resource)]	Mass	3,1205E-006	kg		Argon (Ar41) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,00011618	Bq
	Crude oil Kuwait [Crude oil (resource)]	Mass	2,0555E-006	kg		Nitrogen oxides [Inorganic emissions to air]	Mass	0,00010343	kg
	Lignite Germany [Lignite (resource)]	Mass	1,8479E-006	kg		Xenon (Xe135) [Radioactive emissions to air]	Activity	7,3805E-005	Bq
	Heavy spar (barytes) [Non-renewable resources]	Mass	1,6666E-006	kg		Carbon (C14) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	6,1186E-005	Bq
	Natural gas Libyan [Natural gas (resource)]	Mass	1,6641E-006	kg		Carbon monoxide [Inorganic emissions to air]	Mass	2,8794E-005	kg
	Natural gas CIS [Natural gas (resource)]	Mass	1,6605E-006	kg		Hydrogen chloride [Inorganic emissions to air]	Mass	2,7949E-005	kg
	Hard coal South Africa [Hard coal (resource)]	Mass	1,6227E-006	kg		Cesium (Cs137) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	2,4686E-005	Bq
	Crude oil Central Africa [Crude oil (resource)]	Mass	1,4839E-006	kg		Methane [Organic emissions to air (group VOC)]	Mass	2,085E-005	kg
	Hard coal United Kingdom [Hard coal (resource)]	Mass	1,2786E-006	kg		Plutonium (Pu alpha) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	1,5929E-005	Bq
	Sulphur (APME) [Non-renewable resources]	Energy (net ca)	1,1937E-006	MJ		Uranium (total) [Radioactive emissions to air]	Activity	1,3668E-005	Bq
	Natural gas [Natural gas (resource)]	Mass	1,0985E-006	kg					

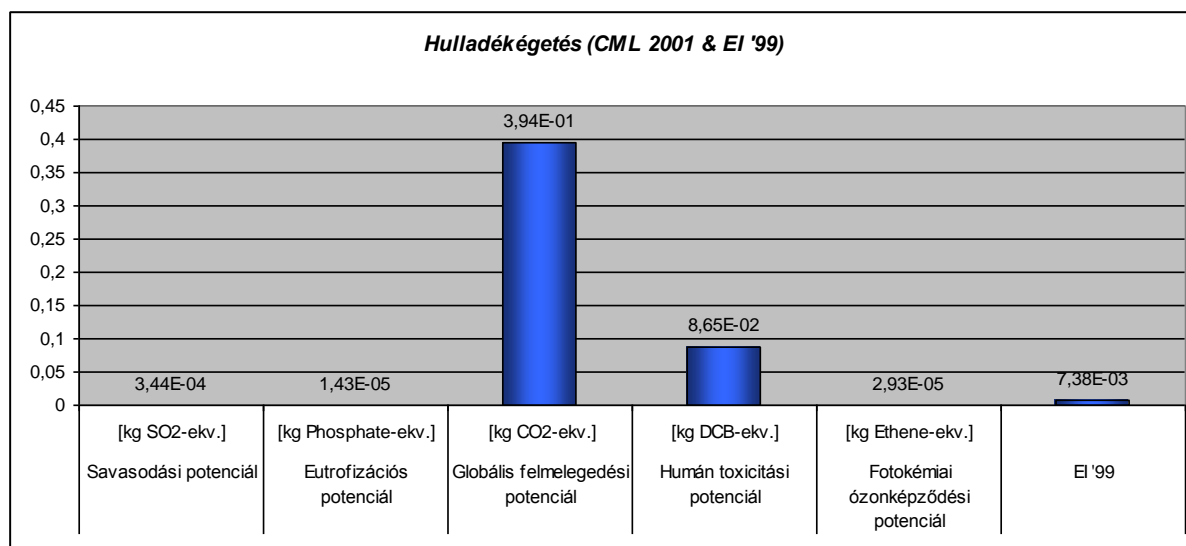
89. ábra A hulladékhasznosítás leltár-táblája

<i>Energiatermelő rendszer neve</i>	
WASTE	
Funcionális egység:	1 MJ Elektromos áram
Év:	
Forrás:	ProBas GEMIS
A rendszer különleges ismertetőjegyei:	A hulladék beszállítása az erőmű 10 km-es körzetéből történik. A gáz energitartalma 8 MJ/kg. Az erőmű termikus hatásfoka 30 %. A gázmosó 92 %-os hatásfokon működik. A porszűrő hatékonysága 99,5 %..
Inputok	
Tüzelőanyag:	kommunális hulladék - átlag 0,4 kg/MJ
Segédanyagok:	ammónia a füstgáz deNOxálásához mészke
Outputok	
Hasznos áramok:	megtermelt elektromos áram
Hulladék áramok:	hulladékhő vízbe és levegőbe hamu (kazánból és a szűrőből) gipsz

90. ábra egységes adattábla

6.6.3 Az elemzések eredményei

A hulladékégetés két kritikus pontja a fosszilis tüzelőanyagokhoz hasonlóan a globális felmelegedésre és az emberi egészségre gyakorolt hatás. CO₂-ra vetített kibocsátása 0,394 kg MJ-onként, míg a toxicitási potenciál 0,0865 kg DCB-nek felel meg, ami igen magas érték.



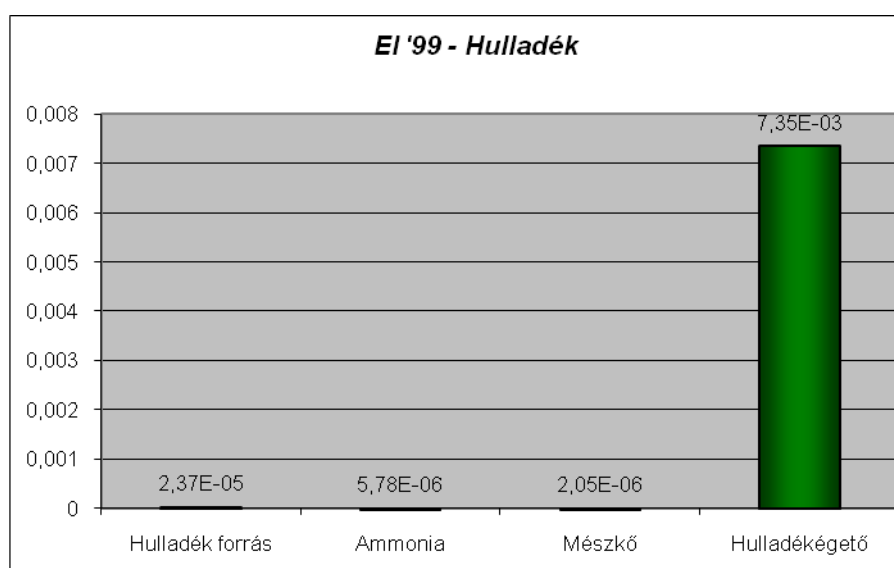
91. ábra A hulladékégetés környezeti indikátorainak (CML 2001 & EI '99) értékei

6.6.3.1 Az EI '99 módszer

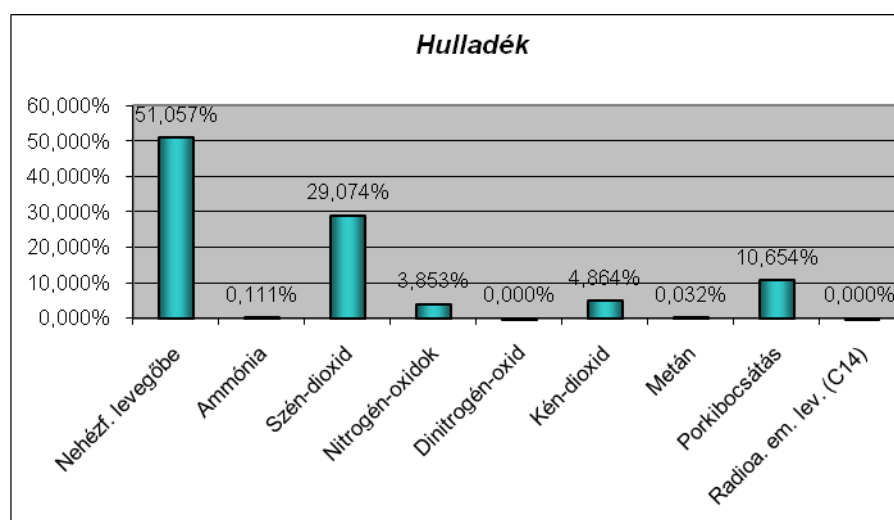
A hulladékégetés, mint energiatermelési módszer, több kategóriába is tartozhat: megújuló, vagy alternatív tüzelőanyagként is szokták emlegetni.

Az elemzés szerint környezetterhelésének feléért a légkörbe kibocsátott nehézfémek okolhatók. Ez természetesen a hulladék-összetétellel változhat, de a kommunális hulladékok mindig tartalmaznak nehézfémeket, általában a fosszilis tüzelőanyagoknál nagyobb mértékben. Ez a nehézfém-tartalom okoz gondot a komposztálásakor is, például Svájcban tilos ételmezési célú növényeket kommunális hulladék biogén részéből készült komposzttal kezelni.

További emissziók a tüzeléskor mindig keletkező CO₂, NO_x és SO₂ 29, 4 és 5 %-ban határozzák meg az EI '99 értékét. Por emisszió is megfigyelhető, ez 10 %-ban van jelen az indikátorban.

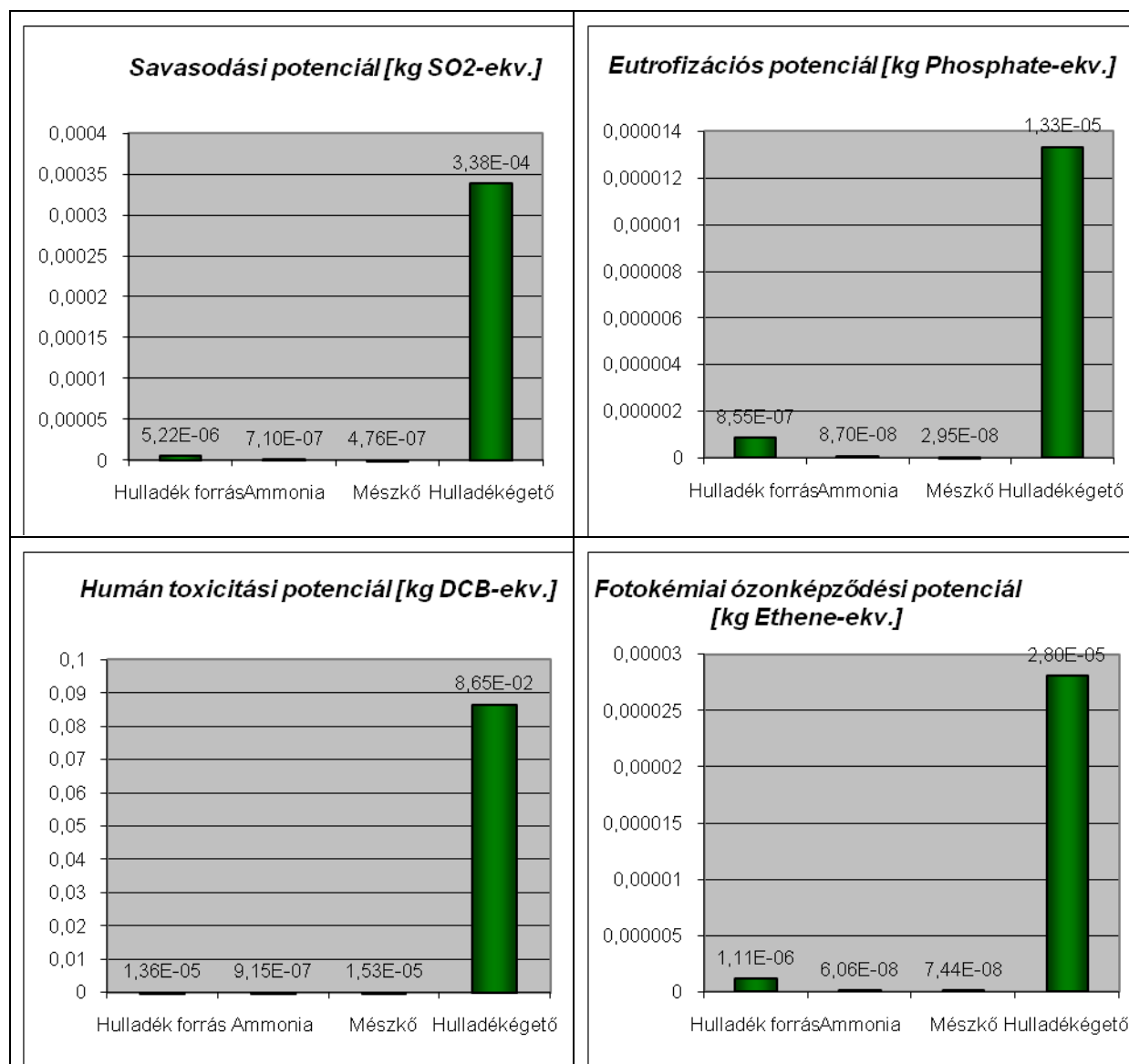


92. ábra Az EI '99 megoszlása az alrendszerek között (hulladék)



93. ábra Az EI '99 értékét jelentősen befolyásoló emissziók /hulladék/

6.6.3.2 A CML módszer



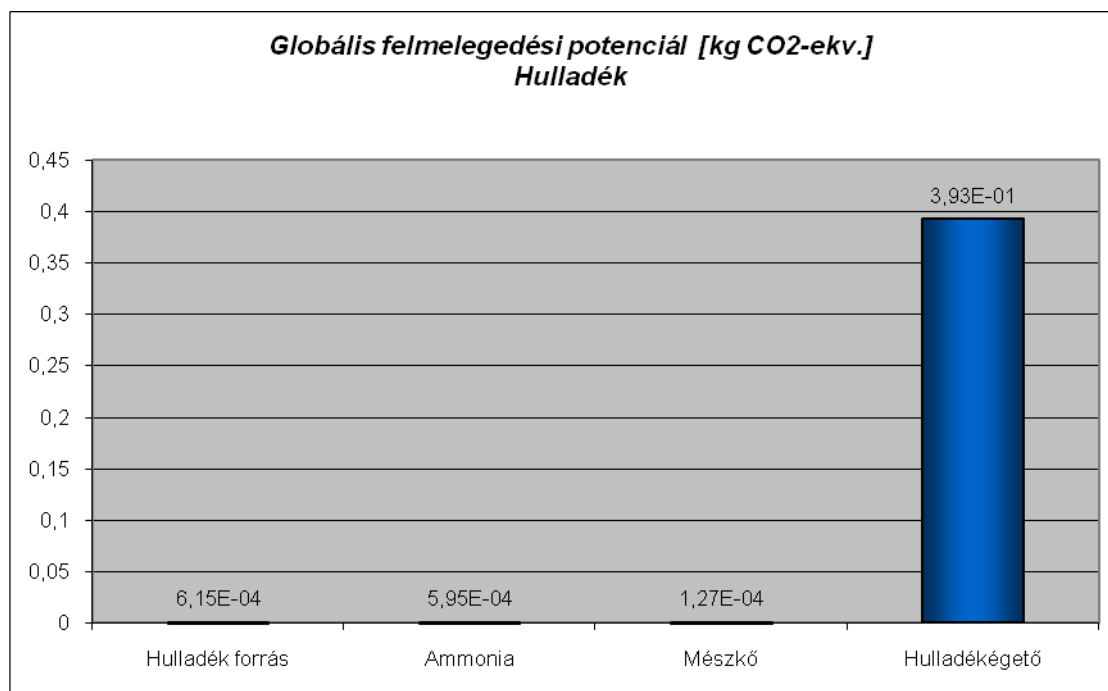
94. ábra A hulladék hasznosítás CML eredményei

A savasodási potenciál okozója a hulladékégetőnél sorrendben a kén-dioxid, nitrogén-dioxid, a hidrogén-klorid és az ammónia. Az eutrofizációt ebben az esetben a NO_x és az ammónia kibocsátás okozza. Humán toxicitást okozó nehézfémek kibocsátására a kommunális hulladék összetételéből adódóan számítani kell, amit a CML 2001 humán toxicitási potenciál mutatója igazol.

A hulladék forrásának fotokémiai ózonképződési potenciál mutatója a gyűjtőkocsi kibocsátásaiból származik, míg az égetés során légkörbe jutó szénhidrogének és a szén-monoxid is jelentős.

6.6.3.3 A „carbon footprint”

A hulladékégetés a globális felmelegedési potenciál (GWP) szempontjából egy egyszerű folyamat, 99,8 %-ban a CO₂ kibocsátás az, ami a GWP-t kialakítja, és csak 0,2 %-ban metán, ami teljes egészében a füstgázkezeléshez felhasznált ammónia gyártásakor keletkezik.



95. ábra Globális felmelegedési potenciál (hulladék)

Megújuló energiahordozók – fatüzelés

Az 1996-ban elinduló megújuló energia program garantálja a fából előállított áram átvételét 2010-ig, előre meghatározott hatásági áron. Az EU szabályozása szerint a villamosenergia-fogyasztás 11,5 %-át megújuló energiaforrásból kell előteremtenünk. A mai helyzet szerint a szükséges arány elérésében a fatüzelés magas részarányt tesz ki.

6.7 Az elemzés lépései

6.7.1 A rendszerhatárok

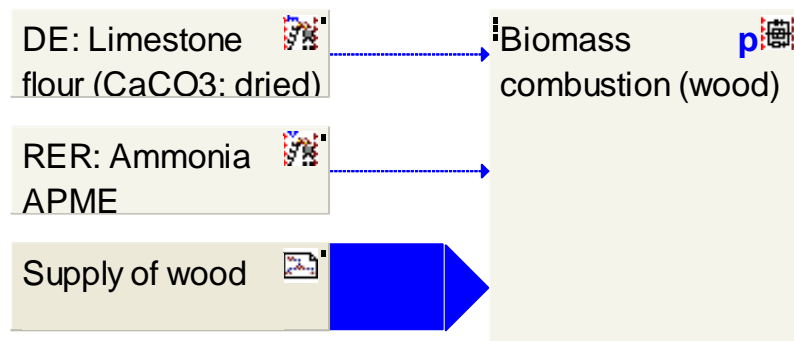
Magyarországon évente körülbelül kettő millió köbméter tűzifát használnak fel energiatermelésre; ez magába foglalja a lakossági fogyasztást is. 1 m³ tűzifa átlagos tömege 0,6 tonna. A politikai és környezetvédelmi nyomás hatására, valamint a garantált hatásági ár miatt, egyre több Magyarországon működő vállalat teszi lehetővé kazánjaiban a fatüzelést.

A Bakonyi Erőmű Zrt-nél a biomassza tüzelés legszembetűnőbb eredménye a fajlagos energetikai mutatók javulása mellett a környezetterhelésben is jelentkezik. A fából keletkezett hamu 0,8 – 1% körül van, amelynek megkötésével a kezdeti bizonytalanságok után az Elektro-filterek jó eredménnyel megbirkóztak, az 50 mg/m³ határérték alatt 20 – 30 mg/m³ körül teljesítenek, és a 3. sz. kéményen vizuálisan is érzékelhető a változás.

A fatüzelés során kén-dioxid (SO₂) nem keletkezik, az NO_x, illetve CO értékek az erőmű szakemberei szerint a levegő-arány szabályozásával jóval a határérték alatt tarthatóak.

BIOMASS (wood)_(fuel cycle)

GaBi 4 process plan: Mass



96. ábra A fatüzelés rendszerhatárai

6.7.2 A leltár

A következő ábra a fatüzelés I/O adatait szemlélteti.

The screenshot displays the 'BIOMASS (wood) (fuel cycle) -- Plan instance' window. It features a 'Local settings' section with 'VF' and 'LCC' options, and a 'Scaling factor' set to 1. The main area is divided into 'Inputs' and 'Outputs' tables, both with 'Show all flows' options. The 'Inputs' table lists various resources like water, air, wood, and different types of crude oil and coal from various countries, along with primary energy from solar and wind. The 'Outputs' table lists radioactive emissions of various isotopes (Krypton, Hydrogen, Radon, Xenon, Argon, Cesium, Strontium, Uranium, Manganese, Xenon, Nitrogen, Plutonium) and waste products like boiler ash, nitrogen oxides, fly ash, and gypsum. At the bottom, there are 'Data quality' and 'Grouping' sections.

Inputs				Outputs			
Alias	Flow	Quantity	Amount / Unit	Alias	Flow	Quantity	Amount / Unit
	Water (surface water) [Water]	Mass	12,258 kg		Krypton (Kr85) [Radioactive emissions to air]	Activity	1136,1 Bq
	Air [Renewable resources]	Mass	2,7245 kg		Hydrogen (H3) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	44,875 Bq
	Wood [Renewable energy resources]	Mass	0,21505 kg		Radon (Rn222) [Radioactive emissions to air]	Activity	16,532 Bq
	Inert rock [Non renewable resources]	Mass	0,010835 kg		Waste water [Other emissions to fresh water]	Mass	11,738 kg
	Water (ground water) [Water]	Mass	0,0052113 kg		Exhaust [Other emissions to air]	Mass	2,7913 kg
	Lignite Hungary [Lignite products]	Mass	0,00086203 kg		Waste heat [Other emissions to air]	Energy (net ce)	1,8853 MJ
	Water [Water]	Mass	0,0008463 kg		Power (from biomass) [Electric power]	Energy ren. (n1)	MJ
	Primary energy from hydro power [REnergy ren. (r0,00033411	Mass	0,00033411 MJ		Steam [Inorganic emissions to air]	Mass	0,61065 kg
	Natural gas CIS [Natural gas (resour)]	Mass	0,00012768 kg		Radium (Ra226) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,502 Bq
	Limestone (calcium carbonate) [Non Mass	0,00010173 kg			Waste heat [Other emissions to fresh water]	Energy (net ce)	0,46944 MJ
	Crude oil CIS [Crude oil (resource)]	Mass	0,00010025 kg		Xenon (Xe133) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,15165 Bq
	Crude oil Norway [Crude oil (resour)]	Mass	7,2037E-005 kg		Hydrogen (H3) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,13082 Bq
	Crude oil United Kingdom [Crude oil (Mass	6,1158E-005 kg			Argon (Ar41) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,067138 Bq
	Crude oil Libya [Crude oil (resource)]	Mass	3,8342E-005 kg		Xenon (Xe135) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,050114 Bq
	Crude oil Saudi Arabia [Crude oil (res)]	Mass	3,1488E-005 kg		Carbon (C14) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,030812 Bq
	Crude oil Algeria [Crude oil (resource)]	Mass	1,7474E-005 kg		Cesium (Cs137) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,014266 Bq
	Crude oil Nigeria [Crude oil (resource)]	Mass	1,5545E-005 kg		Overburden [Stockpile goods]	Mass	0,010785 kg
	Crude oil Venezuela [Crude oil (resou)]	Mass	1,3297E-005 kg		Water (river water) [Water]	Mass	0,010554 kg
	Primary energy from solar energy [REnergy ren. (r1,3258E-005	MJ	1,3258E-005 MJ		Uranium (U238) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,0086887 Bq
	Hard coal CIS [Hard coal products]	Mass	1,0342E-005 kg		Cobalt (Co60) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,0066143 Bq
	Crude oil Germany [Crude oil (resour)]	Mass	9,795E-006 kg		Carbon dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass	0,0046306 kg
	Natural gas Germany [Natural gas (r	Mass	9,4397E-006 kg		Iodine (I129) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,0043977 Bq
	Crude oil [Crude oil (resource)]	Mass	8,4116E-006 kg		Carbon monoxide [Inorganic emissions to air]	Mass	0,002078 kg
	Crude oil Iran [Crude oil (resource)]	Mass	8,0133E-006 kg		Xenon (Xe138) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,001693 Bq
	Hard coal Czech Republic [Hard coal	Mass	7,9978E-006 kg		Cesium (Cs134) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,0015788 Bq
	Crude oil Angola [Crude oil (resource)]	Mass	7,068E-006 kg		Carbon (C14) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,0015391 Bq
	Crude oil free customer Hungary [Cr	Mass	6,1032E-006 kg		Strontium (Sr90) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,0014817 Bq
	Hard coal Poland [Hard coal (resour)]	Mass	5,3973E-006 kg		Uranium [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,0012461 Bq
	Primary energy from wind power [REnergy ren. (r5,2596E-006	MJ	5,2596E-006 MJ		Manganese (Mn54) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,0010254 Bq
	Natural Aggregate [Non renewable r]	Mass	5,2148E-006 kg		Xenon (Xe131m) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,00092661 Bq
	Heavy spar (barytes) [Non renewab]	Mass	4,9103E-006 kg		Boiler ash (unspecified) [Waste for recovery]	Mass	0,00091998 kg
	Natural gas France [Natural gas (res)]	Mass	4,7865E-006 kg		Nitrogen oxides [Inorganic emissions to air]	Mass	0,00053474 kg
	Hard coal USA [Hard coal (resource)]	Mass	4,1077E-006 kg		Uranium (U238) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,00035811 Bq
	Lignite Germany [Lignite (resource)]	Mass	4,0314E-006 kg		Fly ash (unspecified) [Waste for recovery]	Mass	0,00025323 kg
	Crude oil Kuwait [Crude oil (resource)]	Mass	3,9417E-006 kg		Gypsum (FDI) [Waste for recovery]	Mass	0,00014234 kg
	Natural gas Libyan [Natural gas (res)]	Mass	3,1762E-006 kg		Plutonium (Pu alpha) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,00012154 Bq
	Lignite Germany (Rheinisch) [Lignite	Mass	2,6401E-006 kg				

97. ábra A fatüzelés (pellet) leltár-táblája

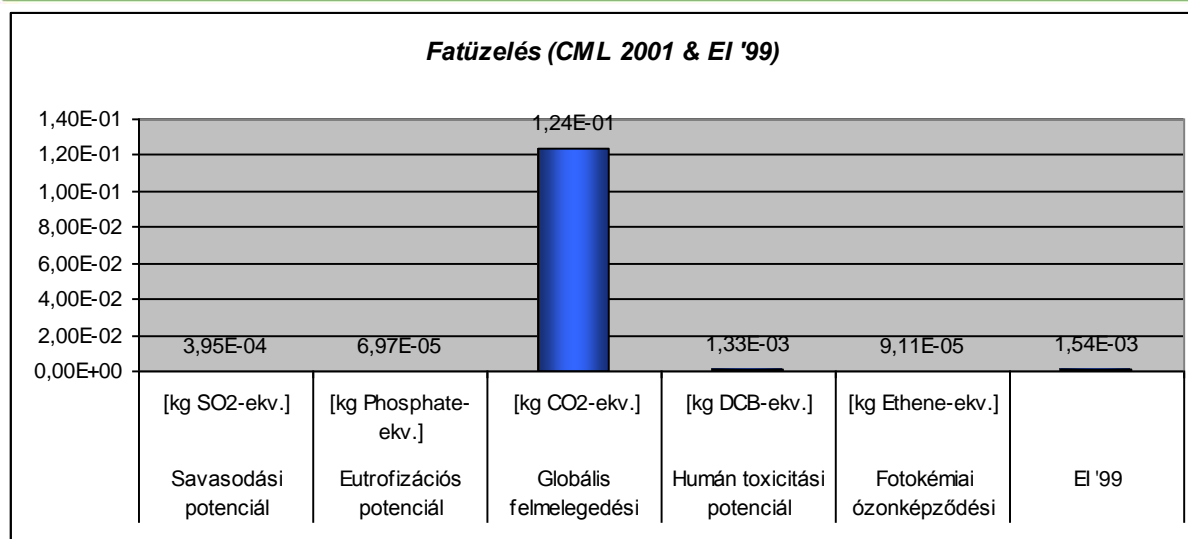
BIOMASS (wood)	
Funcionális egység:	1 MJ Elektromos áram
Év:	2004-2008 normált és becsült adatok
Forrás:	Nyíró Ferenc: Bioenergia - Bakonyi Erőmű Szepesti László: a Motorfűrészek alkalmazásának egyes problémái ProBas adatbázis GEMIS adatbázis
A rendszer különleges ismertetőjegyei:	A rendszer tartalmazza a fa mint biomassza üzemanyag előállításának folyamatát is A fakitermelés elektromos fűrésszel történik. A rönkként érkezik az erőműhöz, ahol egy fa shredder darabolja a kívánt méretűre. A porleválasztó 99 %-os hatásfokkal működik. Az erőmű termikus hatásfoka 30 %. A fa energiatartalma 14,5 MJ/kg. A fa beszállítása feltételezhetően az erőmű 50 km-es körzetéből történik.
Inputok	
Tüzelőanyag:	faapríték - ~0,2 kg/MJ elektromos áram
Segédanyagok:	mészke az esetleges kéntelenítéshez (minimális)
Outputok	
Hasznos áramok:	megtermelt elektromos áram
Hulladék áramok:	hulladékhő vízbe és levegőbe hamu (kazánból és a szűrőből) gipsz a gázmosóból

98. ábra egységes adattábla

6.7.3 Az elemzések eredményei

A fatüzelés üvegházhatású gáz kibocsátása csupán 0,124 kg CO₂-nak felel meg. Itt figyelembe kell venni azt, hogy elméletben a fa a kibocsátott CO₂-ot megköti. Több tanulmányban ezért zéró emissziós technológiának tekintik a szén-dioxid szempontjából, ami valójában nem igaz, mivel a gyakorlatban ugyan úgy távozik a rendszerből CO₂, mint más fosszilis technológiák esetében. Viszont ez esetben a szén maximálisan 50-100 éves (direkt energetikai célú termesztés esetén ez még kevesebb) ciklusáról, míg a fosszilis energiahordozók esetében évmilliók szenciklusáról beszélünk.

További tény az is, hogy a fák nem olyan ütemben növekednek és veszik fel a légköri szén-dioxidot, mint ahogy az az energia-előállítás során történik. A fák növekedése ennél jóval lassabb. A modell figyelembe veszi a fák által megkötött szén mennyiségét. Egy fa átlagos szén tartalma a tömegének fele körülbelül, azaz 1 kg fa 1,98 kg CO₂-t kötött meg, így a globális felmelegedési potenciállal való számolás esetében a fatüzelés ezzel az előnnyel indul, ami meg is mutatkozik a kapott értékeken.



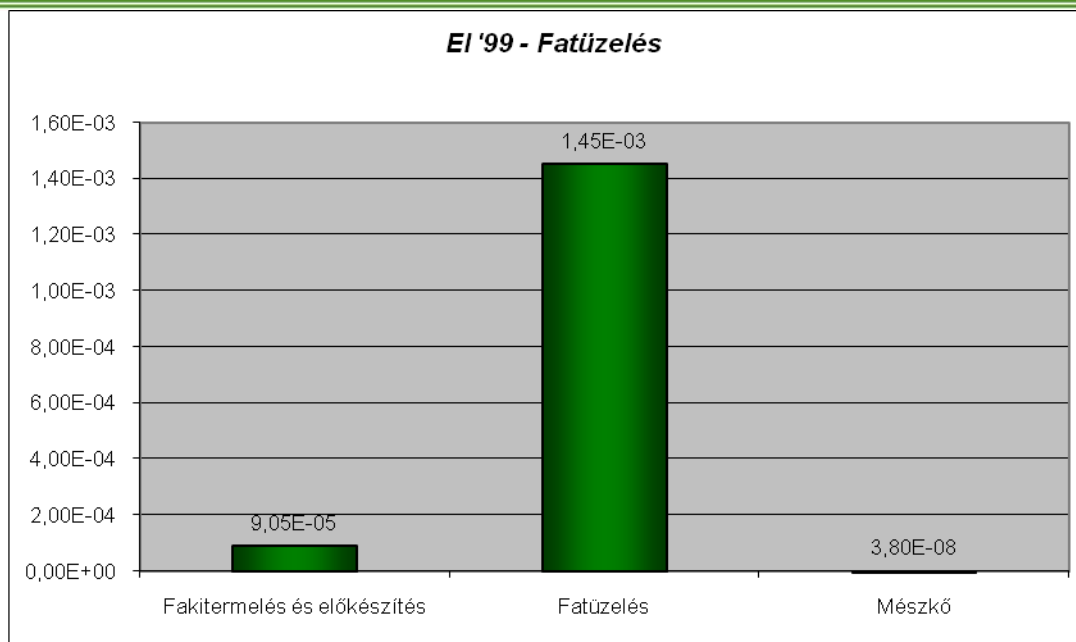
99. ábra A fatüzelés környezeti indikátorainak (CML 2001 & EI '99) értékei

6.7.3.1 Az EI '99 módszer

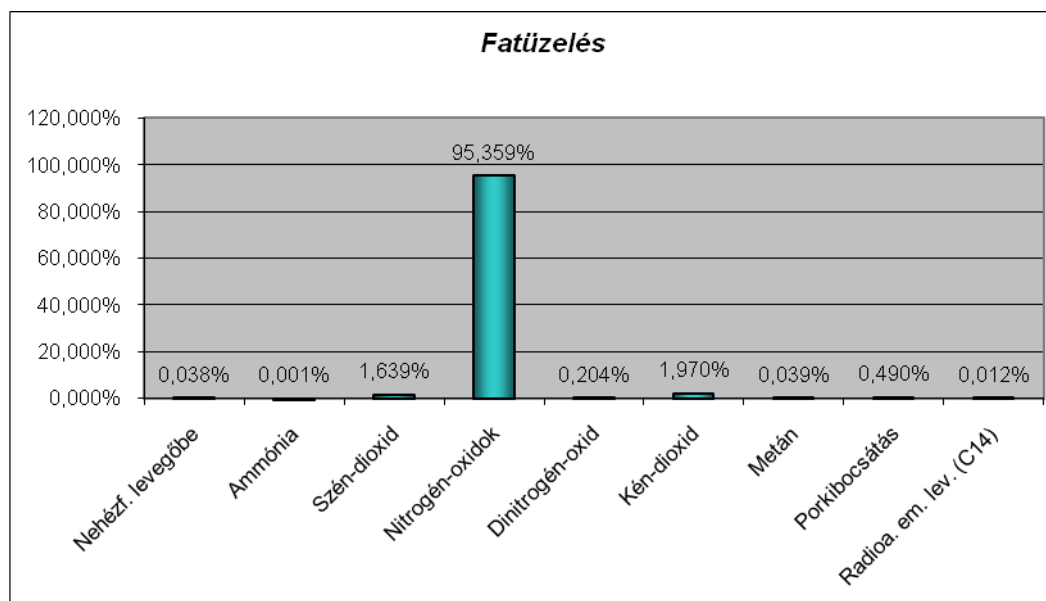
A fatüzelés esetében a fa szénraktározó képességének köszönhetően számíthatunk némi jóváírható kibocsátás-csökkenésre. A fatüzelést mindenesetre nem kezelhetjük zero emissziós technológiának az itt vázoltak miatt.

A környezetterhelés 100 %-áért a légköri emissziók a felelősek. A szerves gázkibocsátások között a szén-dioxid csak 1,6 %-os súlyt képvisel az indikátorban, ellentétben az egyéb fosszilis technológiáknál tapasztalt 20-50 %-os súllyal. Itt a fő környezetterhelő a nitrogén-oxidok emissziója, ami 95 %-os súllyal vesz részt az indikátorérték kialakításában.

A kibocsátásokban átlagosan, így a környezetterhelésben is a fakitermelésnek maximum 10%-os részesedése van.



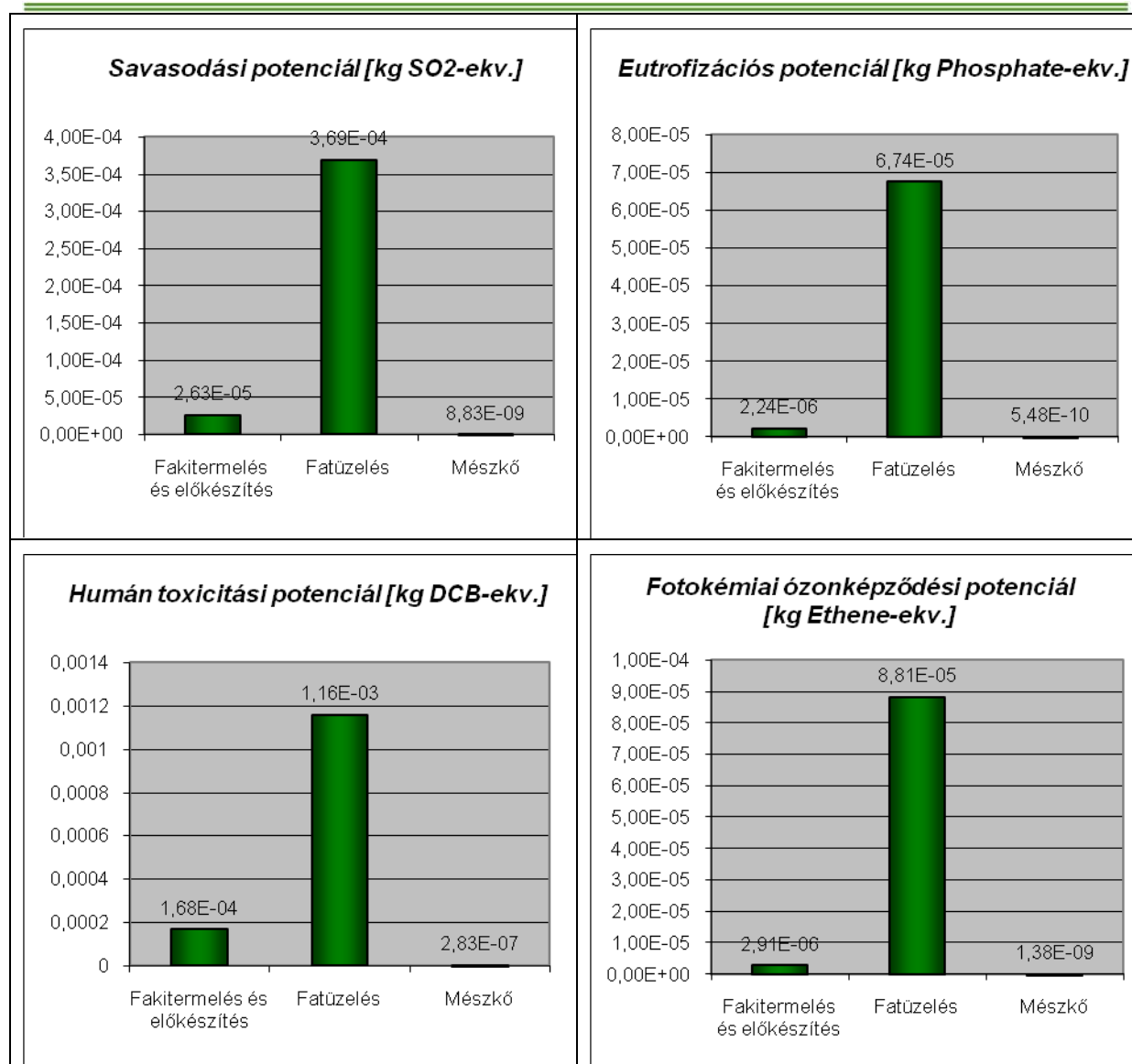
100. ábra Az EI '99 megoszlása az alrendszerek között (fatüzelés)



101. ábra Az EI '99 értékét jelentősen befolyásoló emissziók /fatüzelés/

6.7.3.2 A CML módszer

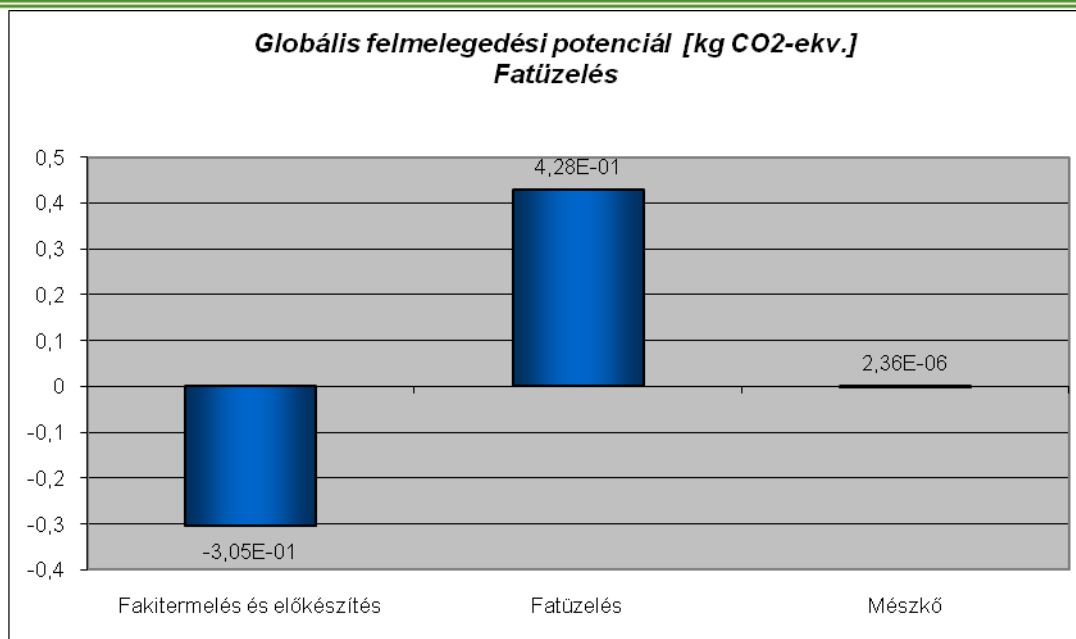
A savasodási potenciált alakító emissziók a fatüzelés esetében nagyságrend szerint a nitrogén-oxidok, kén-dioxid és a hidrogén-klorid. Az eutrofizációnál a nitrogén-oxid emisszióé a döntő szerep, ami 97%-ban a fatüzelésű erőműből származik, és 3%-ban a fakitermelés energiaigénye okozza. A humán toxicitási potenciálnál már megemelkedik a fakitermelés aránya, de még mindig a tüzelés kibocsátásai maradnak a döntőek.



102. ábra A fatüzelés CML ábrái

6.7.3.3 A „carbon footprint”

Ennél az energiahordozónál fa által megkötött szén jóvá lehet írni, így az energiahordozó előállításánál annak globális felmelegedési potenciálja mindig negatív, annak mértéke persze a kitermelés minőségétől is függ. Összességében a fatüzelés nem lesz CO₂ semleges, de a fa elégetésével kibocsátott szén nagy részét a fa CO₂ megkötő képessége miatt csökkenteni lehet. Ez persze csak akkor igaz, ha az elégetett famennyiséggel egyenértékű fanövekmény keletkezik.



103. ábra Globális felmelegedési potenciál (fatüzelés)

Megújuló energiaforrások – biogáz

A legtöbb szerves anyag alkalmas biogáz előállításra, mint pl.: trágya, fekália, élelmiszeripari melléktermékek és hulladékok, valamennyi zöld növényi rész, háztartási hulladék szerves frakciója, kommunális szennyvizek iszapja.

A gázkeletkezésnek több feltétele is van:

- a szerves anyag,
- a levegőtől, oxigéntől elzárt körülmény (anaerob folyamat – ellenkező esetben komposztálásról beszélünk),
- acidogén és metanogén baktériumok jelenléte.

Mindemellett szükség van megfelelően kialakított fermentáló eszközre, az alapanyag megfelelő aprítására, nedvességtartalomra, és kiegyenlített tápanyagtartalomra (C/N arány). A folyamatos keverés, valamint a savképződés és metanogenezis szétválasztása biztosítja a megfelelő gázképződést.

A szerves vegyületekből – elméletileg – nyerhető metángáz mennyisége:

3. Táblázat Alapanyagokból előállítható metángáz mennyisége (elméleti)

	CH ₄ liter / kg nyersanyag
zsírok	1535
fehérjék	587
szénhidrátok	888

A biológiai degradáció egyes metanogén baktériumtörzsek esetében szűk hőmérsékleti intervallumban lehetséges. Ehhez hozzájön még az a körülmény is, hogy a metánkeletkezés alapja a jelenlévő ecetsav, amelyre a metanogén és saverjesztő baktériumok is érzékenyek, azaz egy bizonyos pH határ alatt elpusztulnak. Ezért a hőmérséklet és a pH ingadozását le kell csökkenteni, ill. ezek a határok is korlátozzák a kihozatait.

A kiindulási szerves anyag a gyakorlatban megközelítőleg csak 50%-ban bontható le, a többi elem a szilárd maradékban visszamarad, ez további stabilizálás után a komposzttal egyenértékű anyag.

6.8 Az elemzés lépései

6.8.1 A rendszerhatárok

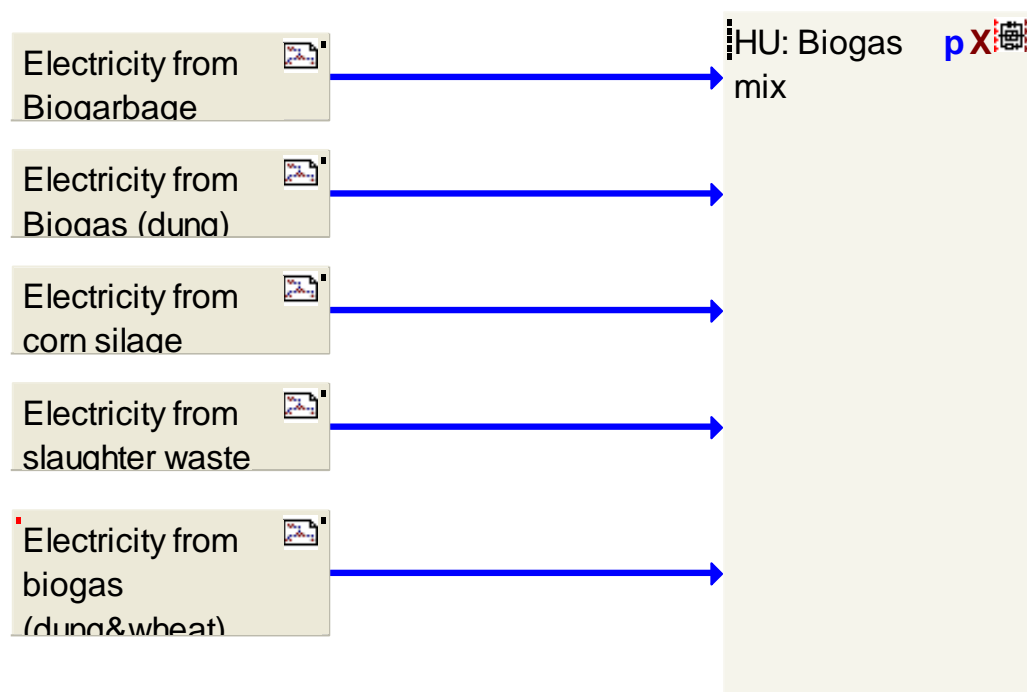
A biogáz üzem eszközeinek tehát bírniuk kell a savas kémhatást, megfelelően gáztömörnek kell lenniük, mindez viszonylag költségessé, és körülményessé teszi a biogáztermelést.

A biogáz éghető alkotórésze, a metán (CH₄), fűtőértéke jelentősen függ az egyéb, nem éghető alkotóelemektől (pl. N, CO₂). A metántartalom aránya változó a szerves anyagtól, technológiától stb. függően. A metántartalom általában 60% értékkel számítható, így

fűtőértéke kb. 22,4 MJ/m³. A biogáz könnyebb, mint a száraz levegő az irodalmi értékek szerint.

Hungarian biogas mix

GaBi 4 process plan:Reference quantities



104. ábra A biogáz tüzelés rendszerhatárai

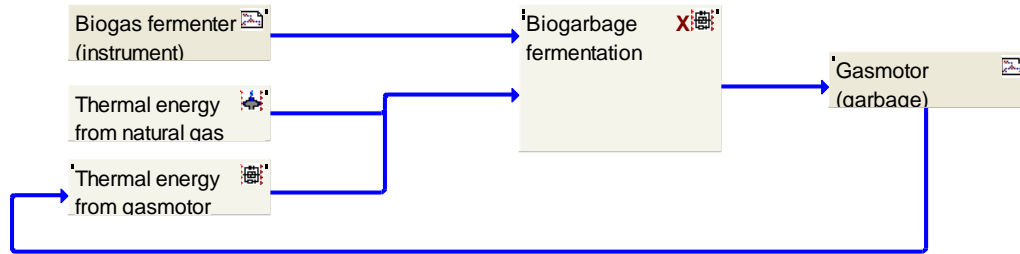
A biogáz rendszer értékeléséhez egy konkrét példát, a pálhalmi biogáz üzem adatait használtuk. Az alábbi biogáz összetételhez hasonló alapanyagokból állítja elő az elektromos energiát.

Alapanyag	Megoszlás [%]
Kukorica szilázs	35
Szalmés trágya	20
Trágya	25
Étkezési hulladék	10
Vágóhídi hulladék	10

Az egész folyamat tulajdonképpen egy fermentációból áll, ahol a szerves anyagot alakítják át metánná, és egy gázmotoros tüzelésből, ahol a metán -> elektromos áram konverzió történik. A rendszer nem tartalmazza a fermentáció során keletkező szilárd maradék kezelésének folyamatát, pedig az további komposztálást is igényelhet, ami szén-dioxid kibocsátással jár. Ez a globális felmelegedési potenciál mutatóját emelné, és egyes alapanyagoknál ammónia felszabadulással is számolni kell, ami a környezet pH-ját befolyásolja.

Electricity from Biogas (biogas)

GaBi 4 process plan: Reference quantities



105. ábra Biohulladék fermentációja

6.8.2 A leltár

A következő ábra a magyar biogázmix leltárát mutatja.

Hungarian biogas mix_woutInstrumenttwo_thermal -- Plan instance

Local name: Hungarian biogas mix_woutInstrumenttwo_thermal No image

Local settings: VF LCC

Scaling factor: 1 Fixed Allocation: (no allocation)

Free parameters

Fixed parameters

Inputs					Outputs				
Alias	Flow	Quantity	Amount	Unit	Alias	Flow	Quantity	Amount	Unit
	Dung [Flows]	Energy ren. (r1,265		MJ		Krypton (Kr85) [Radioactive emissions to air]	Activity	52620	Bq
	Biomass (dung&wheat) [Flows]	Energy ren. (r1,252		MJ		Hydrogen (H3) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	2078,6	Bq
	Inert rock [Non renewable resources]	Mass	0,5012	kg		Radon (Rn222) [Radioactive emissions to air]	Activity	765,94	Bq
	Biogas (Flows)	Energy ren. (r0,46662		MJ		Radium (Ra226) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	23,183	Bq
	Water (surface water) [Water]	Mass	0,43478	kg		Xenon (Xe133) [Radioactive emissions to air]	Activity	7,0248	Bq
	Air [Renewable resources]	Mass	0,39243	kg		Hydrogen (H3) [Radioactive emissions to air]	Activity	6,0596	Bq
	Water (ground water) [Water]	Mass	0,24214	kg		Argon (Ar41) [Radioactive emissions to air]	Activity	3,1098	Bq
	Water (river water) [Water]	Mass	0,078788	kg		Xenon (Xe135) [Radioactive emissions to air]	Activity	2,3224	Bq
	Lignite Hungary [Lignite products]	Mass	0,040053	kg		Carbon (C14) [Radioactive emissions to air]	Activity	1,4272	Bq
	Water [Water]	Mass	0,020894	kg		Power (from biogas) [Electric power]	Energy ren. (r1		MJ
	Primary energy from hydro power [REnergy ren. (r0,015441			MJ		Waste heat [Other emissions to air]	Energy (net ce0,86253		MJ
	Limestone (calcium carbonate) [Non Mass	0,011402		kg		Cesium (Cs137) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,66081	Bq
	Natural gas CIS [Natural gas (resourc]	Mass	0,0074775	kg		Overburden [Stockpile goods]	Mass	0,50137	kg
	Crude oil CIS [Crude oil (resource)]	Mass	0,0016407	kg		Water (river water) [Water]	Mass	0,49027	kg
	Natural gas Germany [Natural gas (r	Mass	0,00062985	kg		Uranium (U238) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,40371	Bq
	Primary energy from solar energy [REnergy ren. (r0,000616			MJ		Exhaust [Other emissions to air]	Mass	0,32482	kg
	Hard coal CIS [Hard coal products]	Mass	0,00048054	kg		Cobalt (Co60) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,30638	Bq
	Hard coal Czech Republic [Hard coal	Mass	0,000374	kg		Steam [Inorganic emissions to air]	Mass	0,22889	kg
	Natural gas Netherlands [Natural gas]	Mass	0,00029633	kg		Iodine (I129) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,20368	Bq
	Crude oil free customer Hungary [Cr	Mass	0,00028358	kg		Waste heat [Other emissions to fresh water]	Energy (net ce0,12828		MJ
	Cooling water [Operating materials]	Mass	0,00027355	kg		Waste water [Other emissions to fresh water]	Mass	0,095242	kg
	Hard coal Poland [Hard coal (resourc]	Mass	0,00025875	kg		Xenon (Xe138) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,078418	Bq
	Natural Aggregate [Non renewable r	Mass	0,0002423	kg		Carbon dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass	0,074921	kg
	Primary energy from wind power [REnergy ren. (r0,00022628			MJ		Cesium (Cs134) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,07304	Bq
	Natural gas France [Natural gas (res)	Mass	0,00022261	kg		Carbon (C14) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,071286	Bq
	Crude oil Norway [Crude oil (resourc]	Mass	0,0002225	kg		Strontium (Sr90) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,06859	Bq
	Hard coal USA [Hard coal (resource)]	Mass	0,00019753	kg		Manganese (Mn54) [Radioactive emissions to fresh wa]	Activity	0,047498	Bq
	Natural gas Norway [Natural gas (re)	Mass	0,00017173	kg		Xenon (Xe131m) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,042921	Bq
	Crude oil United Kingdom [Crude oil (Mass	0,00016899	kg		Uranium (U238) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,016521	Bq
	Lignite Germany [Lignite (resource)]	Mass	0,0001544	kg		Waste (solid) [Waste for disposal]	Mass	0,010904	kg
	Hard coal Germany [Hard coal (resou]	Mass	0,00014217	kg		Plutonium (Pu alpha) [Radioactive emissions to fresh w]	Activity	0,0056281	Bq
	Lignite Germany (Rheinisch) [Lignite	Mass	0,000123	kg		Uranium (U234) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,0033289	Bq
	Crude oil Libya [Crude oil (resource)]	Mass	0,0001092	kg		Iodine (I129) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,003049	Bq
	Heavy spar (barites) [Non renewab	Mass	0,00010531	kg		Biogenic residues [Waste for recovery]	Mass	0,002727	kg
	Water (processed) [Operating mater]	Mass	9,8401E-005	kg		non used primary energy from water power [Other em	Energy ren. (r0,0026049		MJ
	Crude oil Saudi Arabia [Crude oil (res)	Mass	9,4242E-005	kg		Uranium [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,0022349	Bq
	Methane [Organic intermediate prod	Mass	8,4759E-005	kg		Cesium (Cs137) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,001602	Bq

Data quality: Technique Location Time

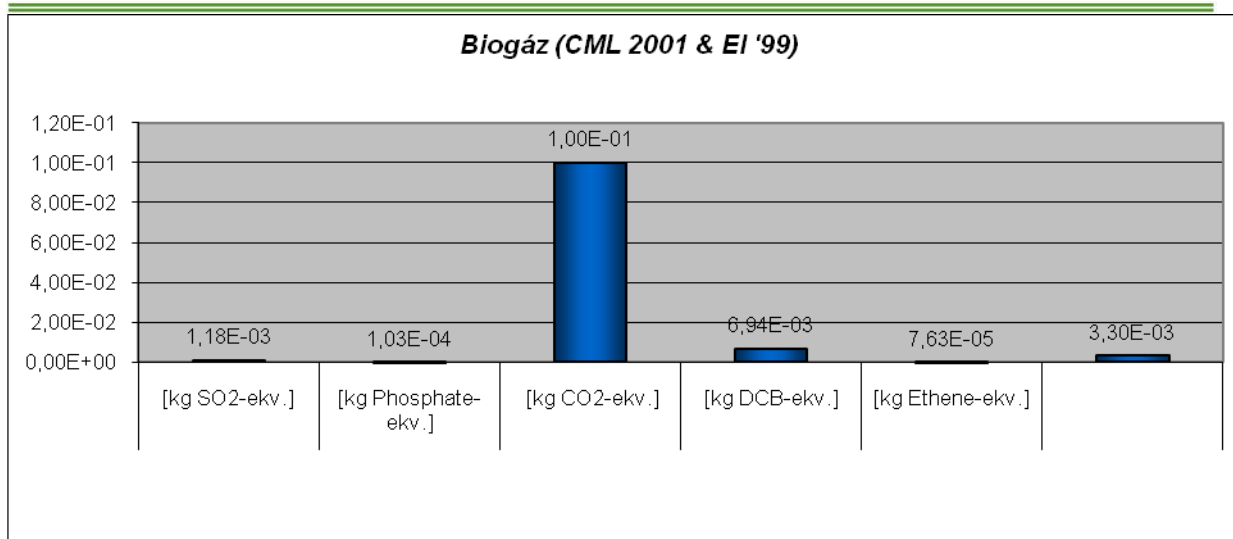
106. ábra A biogáz alapú villamosenergia-termelés leltár-táblája

<i>Energiatermelő rendszer neve</i>	
HUNGARIAN BIOGAS MIX	
Funcionális egység:	1 MJ Elektromos áram
Év:	2005
Forrás:	- GEMIS projekt - www.probas.umweltbundesamt.de - Pálhalmi Agrospeciál Kft. Biogázüzem - eredmény-összefoglaló; Project Design Document; Oszták Szöv. Mg, Erd., Kv és Vízgazd Min.
A rendszer különleges ismertetőjegyei:	5 különböző alapanyagot felhasználó technológia van a modellbe építve az 5 technológia keveréke adja a pálhalmi üzem termelésének megfelelő mixet, amik a következők (alapanyag - arány): - kukorica (35 %) - trágya és szalam keverék (20 %) - trágya (25 %) - biohulladék (10 %) - vágóhídi maradék (10 %) a kukorica termelés is része a rendszernek (földművelés és betakarítás környezetterhelése) szállítás nincs a modellben, feltételezve, hogy az üzem az alapanyagforrások közelében található
Inputok	
Tüzelőanyag:	biogáz (23 MJ/kg)
Segédanyagok:	az elektromos áram előállítása gázmotorral történik, segédanyagok nincsenek
Outputok	
Hasznos áramok:	előállított elektromos áram hőenergia
Hulladék áramok:	hamu főbb emissziók a gázmotorból: - CO ₂ , por, metán, NO _x , N ₂ O, NMVOC, kén-dioxid

107. ábra egységes adattábla

6.8.3 Az elemzések eredményei

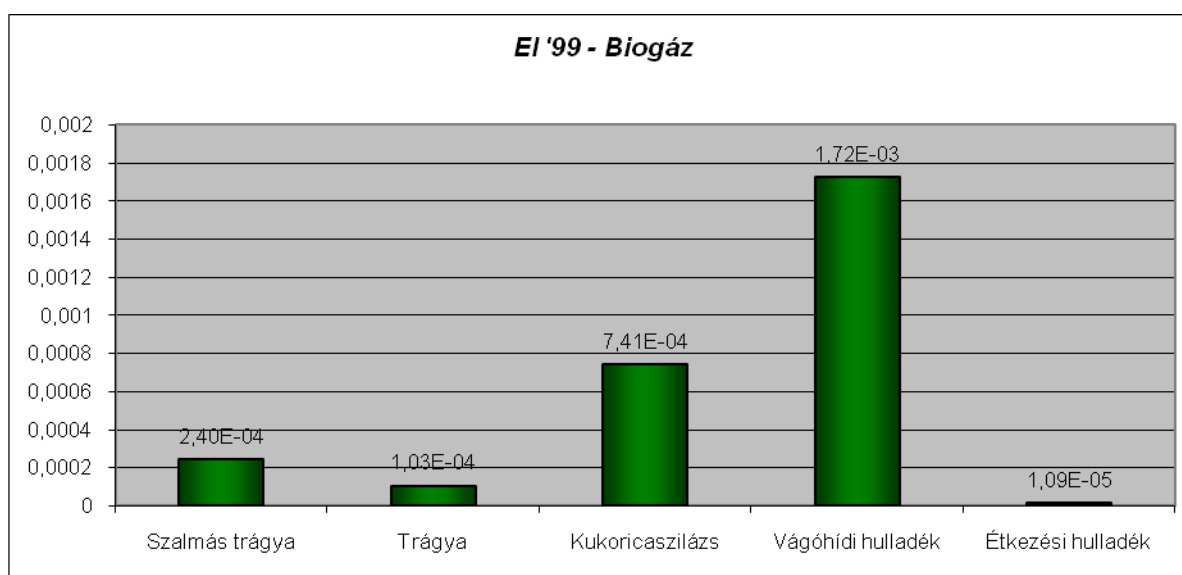
Biogáz égetésnél szintén a CO₂-ra vetített üvegházhatású gázok kibocsátása magas, 0,047 kg/1MJ elektromos áram. Ez az égetésből és az alapanyag-fermentáció során felszabaduló metán veszteségéből adódhat. A másik kettő számottevő indikátor a savasodási-, 0,0011 kg SO₂ egyenértékkel, és a mérgezőségi potenciál 0,00601 kg DCB egyenértékkel.



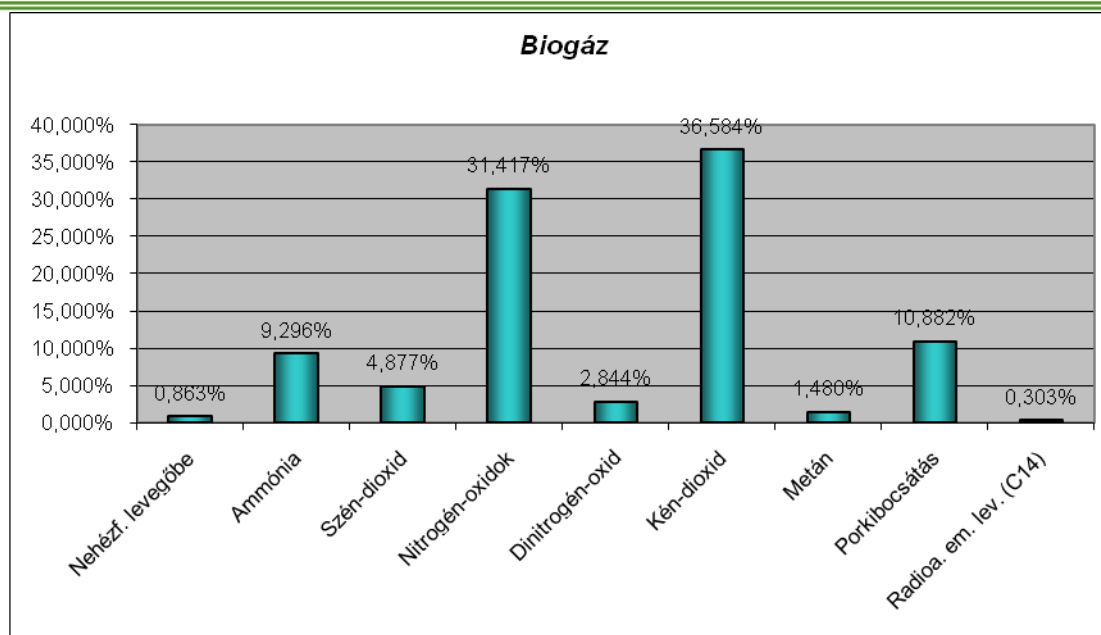
108. ábra A biogáz tüzelés környezeti indikátorainak (CML 2001 & EI '99) értékei

6.8.3.1 Az EI '99 módszer

Emisszió a fermentáció közben, a metán égetésekor, és a kukoricatermesztés (kukorica szilázs) közben történik. A megoszlás szerint a vágóhídi hulladék csak 10 %-a az alapanyagoknak, az ebből előállított elektromos áramnak mégis a legmagasabb a környezetterhelése. Itt található egy fertőtlenítő folyamat is, de hatására csak 5-6%-ban növekszik meg a légköri emisszió. A trágya rothasztása jár a legkisebb hatással. Főbb emissziók minden esetben, de eltérő arányban az ammónia és a metán, ami nagy részben a fermentáció közben keletkezik. A szén-dioxid, a nitrogén oxidok és a por a gázmotorok kibocsátásai, valamint az elektromos energiahasználatból bekerülő externáliák.



109. ábra Az EI '99 megoszlása az alrendszerek között (biogáz)



110. ábra Az EI '99 értékét jelentősen befolyásoló emissziók /biogáz/

6.8.3.2 A CML módszer

A különböző kiindulási anyagokat feldolgozó technológiák környezetterhelése más és más. Savasodási potenciálnál a 10 %-os vágóhídi hulladéknak van a legerősebb hatása, a szükséges fertőtlenítési folyamat miatt. Ezt a kukorica szilázs követi, aminek modellje tartalmazza a kukorica-termesztést is. Itt a nagyobb mennyiségű ammónia kibocsátás okozza a környezet pH-jának változását. Mértéke azzal is magyarázható, hogy ez a legnagyobb arányban alkalmazott alapanyag.

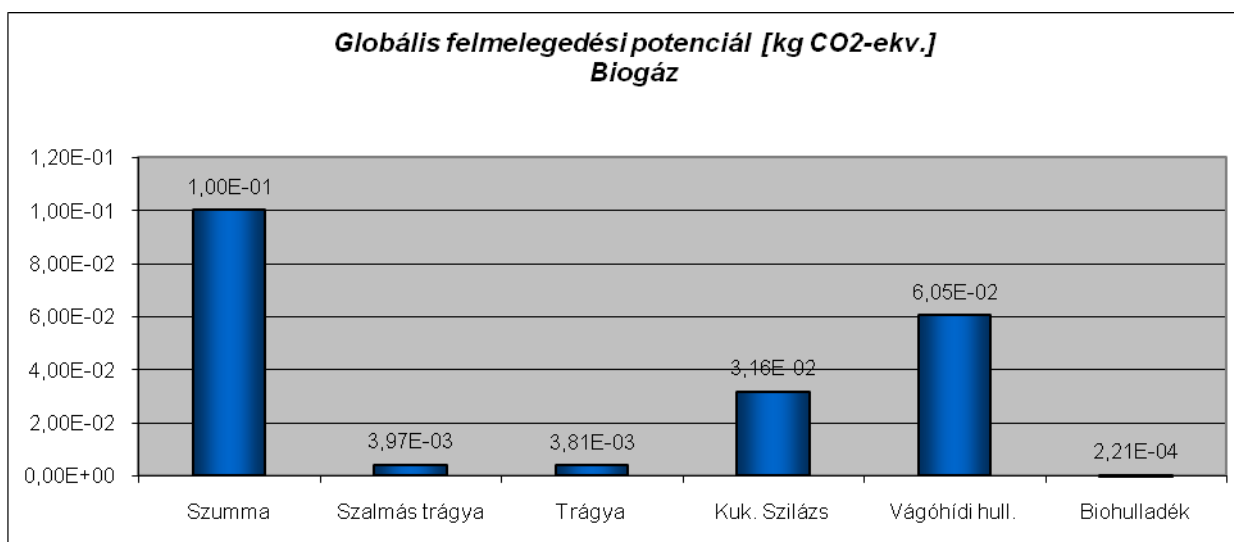
Az étkezési hulladék és a trágya alapanyag felhasználása jár a legkisebb savasodási potenciállal. A tápanyag feldúsulásban játszott szerepeknél a sorrend már átrendeződik, és a kukorica szilázs veszi át a vezető szerepet, mivel a kibocsátott ammóniának ebben a hatáskategóriában nagyobb jelentősége van.

Az étkezési hulladékok feldolgozásánál nagyobb édesvízi emisszióval, kémiai oxigénigénnyel kell számolni, ezért ennek az eutrofizációs potenciálja a második legmagasabb 10 %-os részesedéséhez képest. A vágóhídi hulladéknál a nitrogén-oxidok kibocsátása okoz ilyen hatást.

A humán toxicitási potenciál meghatározó emissziói a nehézfémek. A vágóhídi hulladékok esetében a magas energiaigényből a magyar energiamix externáliájaként került be a többinél magasabb toxicitás. Egyik tényező a földközeli ózonképződési potenciál esetében a szén-monoxid kibocsátás, ami a gázmotorok emissziójaként jelenik meg. További tényező a metán és a nem metán tartalmú illékony szerves vegyületek (VOC és NMVOC), amelyek első sorban a fermentáció során kerül a légkörbe.

6.8.3.3 A „carbon footprint”

A biogázgyártás sem zéró emissziós technológia. Figyelembe kell venni a növénytermesztés, esetleg az állattartás környezeti hatásait, a biogáz előállítását. A CO₂ és a N₂O nagy része az energiatermelésből származik, mint a gázmotorok emissziója. A metánkibocsátás további 11%-ban vesz részt a globális felmelegedési potenciálban, aminek 100%-a a fermentáció során keletkezik.



111. ábra Globális felmelegedési potenciál (biogáz)

Megújuló energiaforrások – bioetanol

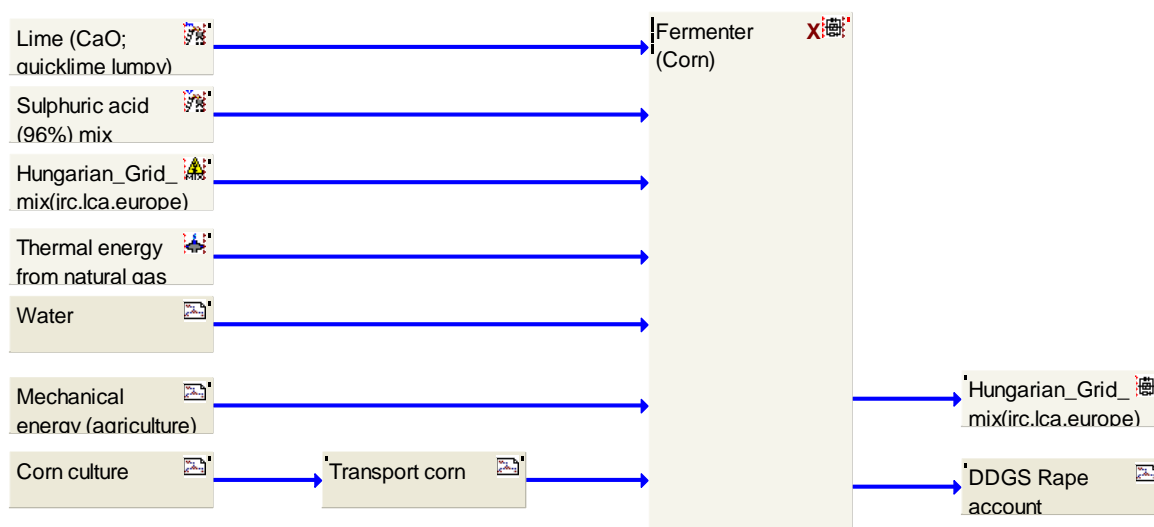
6.9 Az elemzés lépései

6.9.1 A rendszerhatárok

A bioetanol gyártása többnyire a kukorica keményítőjéből történik. A modell tartalmazza a kukoricatermesztést is, amelyet körülbelül 50 km-es átlagos távolságból szállítanak a fermenter üzembe.

Fermenter/BioEtOH(Corn)

GaBi 4 process plan:Reference quantities



112. ábra A bioetanol fermentációjának rendszerhatárai

6.9.2 A leltár

A következő ábra a bioetanol erjesztésének és az energiatermelésnek az I/O tábláját mutatja.

The screenshot shows the 'BioEtOH ELECTRICITYtwo_thermal -- Plan instance' window. It features a 'Local settings' bar with 'VF' and 'LCC' icons, a 'Scaling factor' of 1, and an 'Allocation' dropdown set to 'no allocation'. Below this are sections for 'Free parameters' and 'Fixed parameters'. The main area contains two tables: 'Inputs' and 'Outputs', both with 'Show all flows' options. The 'Inputs' table lists various materials like Krypton, Hydrogen, Radon, Radium, Xenon, Argon, Carbon, Dung, Water, Air, Waste heat, Cesium, Inert rock, Cooling water, Overburden, Uranium, Exhaust, Cobalt, Water (ground water), Steam, Iodine, Limestone, Waste heat, Xenon, Carbon dioxide, Cesium, Carbon, Strontium, Manganese, Xenon, Waste water, and Lignite Hungary. The 'Outputs' table lists similar materials, including Krypton, Hydrogen, Radon, Radium, Xenon, Hydrogen, Thermal energy, Argon, Power, Carbon, Waste water, Exhaust, Waste heat, Cesium, Overburden, Water, Cooling water, Inert rock, Water, Uranium, Air, Cobalt, Steam, Carbon dioxide, Water, Iodine, Xenon, Waste heat, Xenon, Waste (solid), Cesium, Strontium, Carbon, and Xenon. Each row includes columns for Alias, Flow, Quantity, Amount, and Unit. At the bottom, there are 'Data quality' dropdowns for 'Technique', 'Location', and 'Time', and a 'Grouping' section with 'Nation' and 'Type' dropdowns.

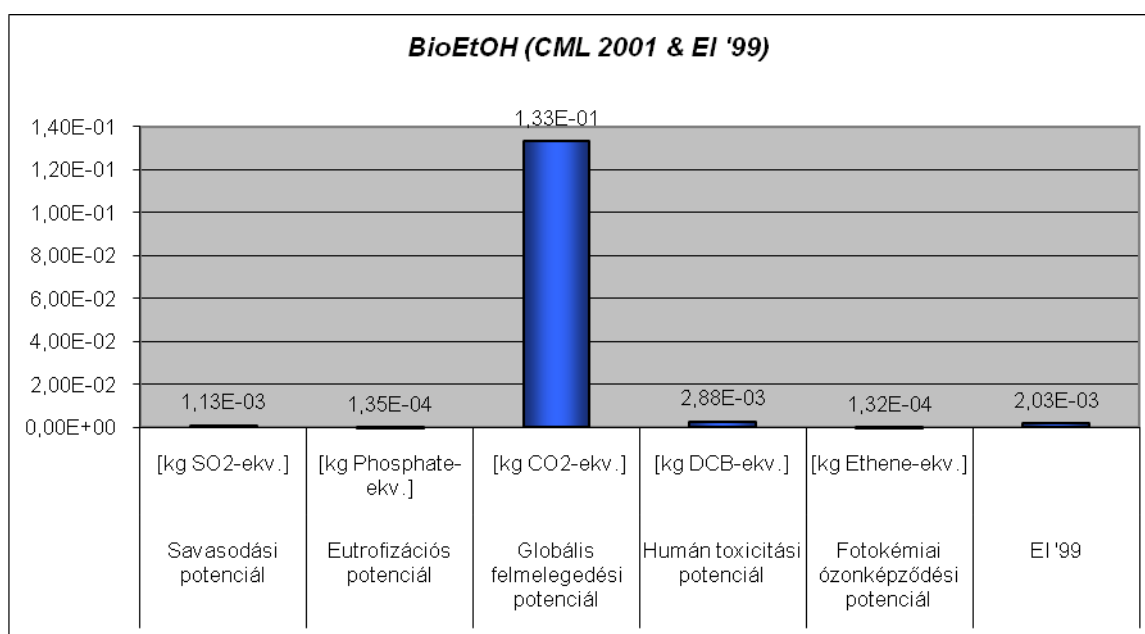
113. ábra A biogázos rendszer leltár-táblája

<i>Energiatermelő rendszer neve</i>	
BioEtOH ELECTRICITY	
Funcionális egység:	1 MJ Elektromos áram
Év:	2005
Forrás:	ProBas
A rendszer különleges ismertetőjegyei:	input: kukoricából készült etanol a rendszer tartalmazza a kukoricatermesztés modelljét is
Inputok	
Tüzelőanyag:	Bioetanol (27 MJ/kg)
Segédanyagok:	kukoricatermesztéshez szükséges gépi erő, és tápanyagok
Outputok	
Hasznos áramok:	megtermelt villamos energia, hőenergia
Hulladék áramok:	hamu főbb emissziók a gázmotorból: - CO ₂ , por, metán, NO _x , N ₂ O, NMVOC, kén-dioxid

114. ábra egységes adattábla

6.9.3 Az elemzések eredményei

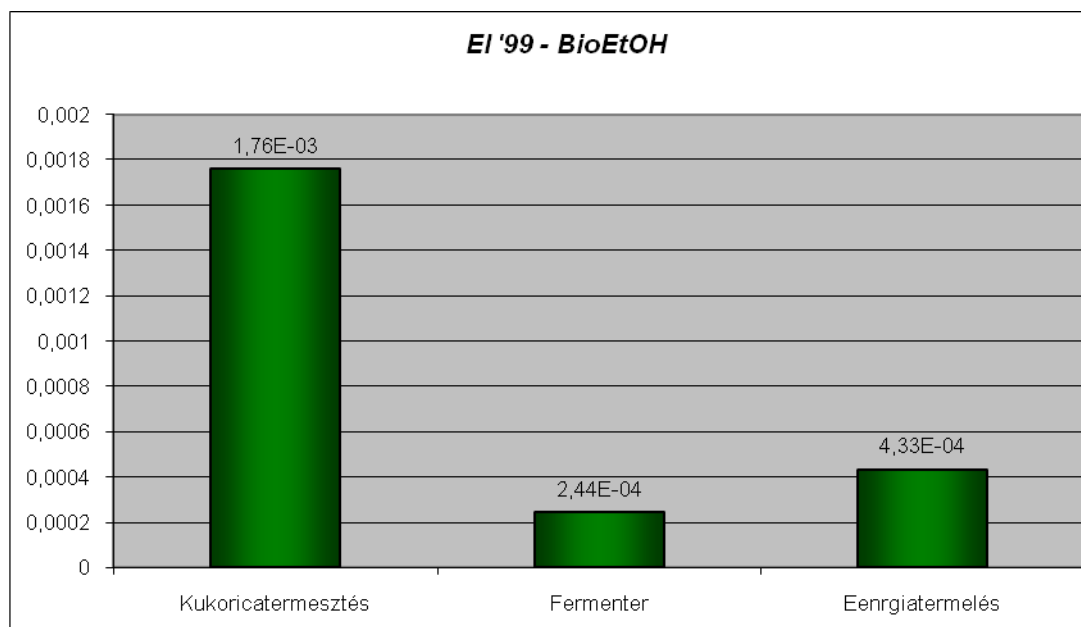
A bioetanol termelés és égetés üvegházhatású gáz kibocsátása 0,133 kg CO₂-nak felel meg 1 MJ elektromos áramra vonatkoztatva. Ebbe a termelés, betakarítás, valamint a földeken lejátszódó folyamatok kibocsátása is beletartozik.



115. ábra A bioetanol környezeti indikátorainak (CML 2001 & EI '99) értékei

6.9.3.1 Az EI '99 módszer

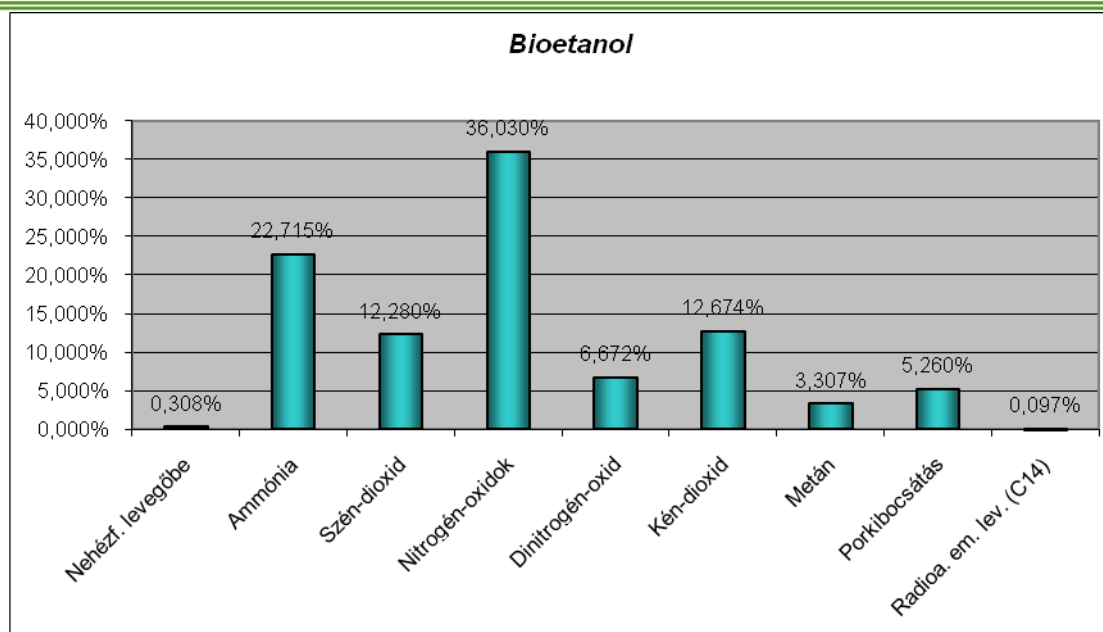
A bioetanol alapanyagául szolgáló kukoricatermesztése az EcoIndicator szerint nagyobb környezetterheléssel rendelkezik, mint maga az alkohol előállítása, és az energiatermelés együttvéve.



116. ábra Az EI '99 megoszlása az alrendszerek között (bioetanol)

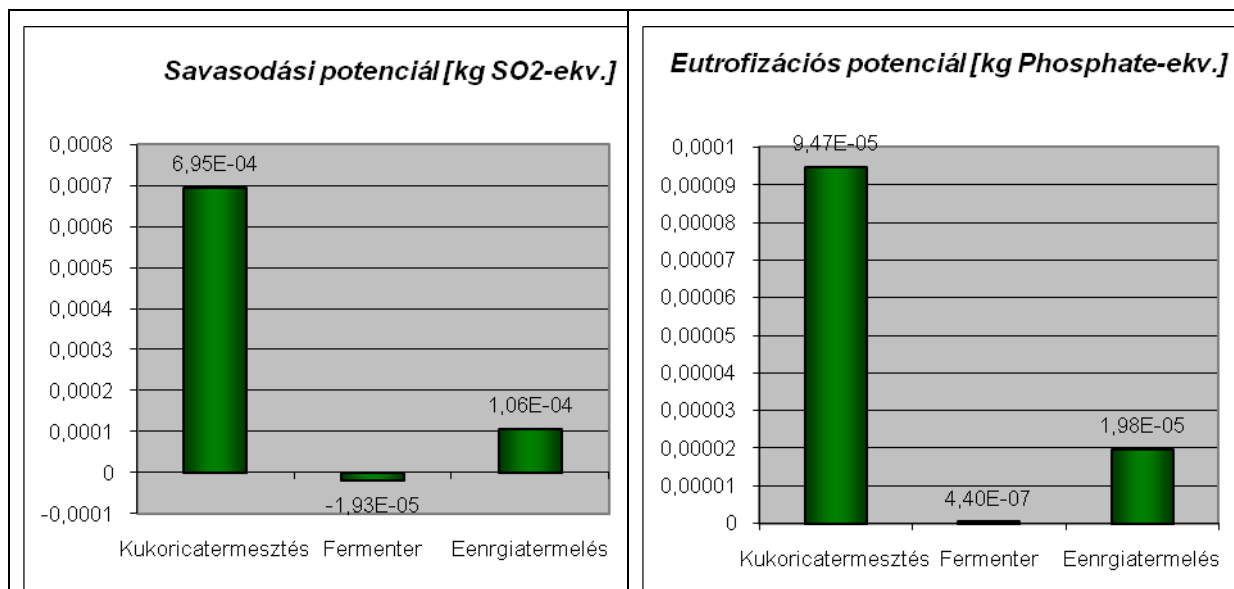
Az ammónia emisszió 26%-os súllyal szerepel a mutatóban, amelynek 100%-a a növénytermesztés folyamatából származik (műtrágya használat, biológiai folyamatok a talajon és a talajban). A nitrogén oxidjai közel 50%-ban részesednek az EI '99 meghatározásában, fele-fele arányban keletkezik a mezőgazdaság és az energiatermelés folyamatában. A dinitrogén-oxid 7 %-os súllyal szerepel és 98 %-ban a kukoricatermesztésből származik, hasonlóan a kén-dioxidhoz.

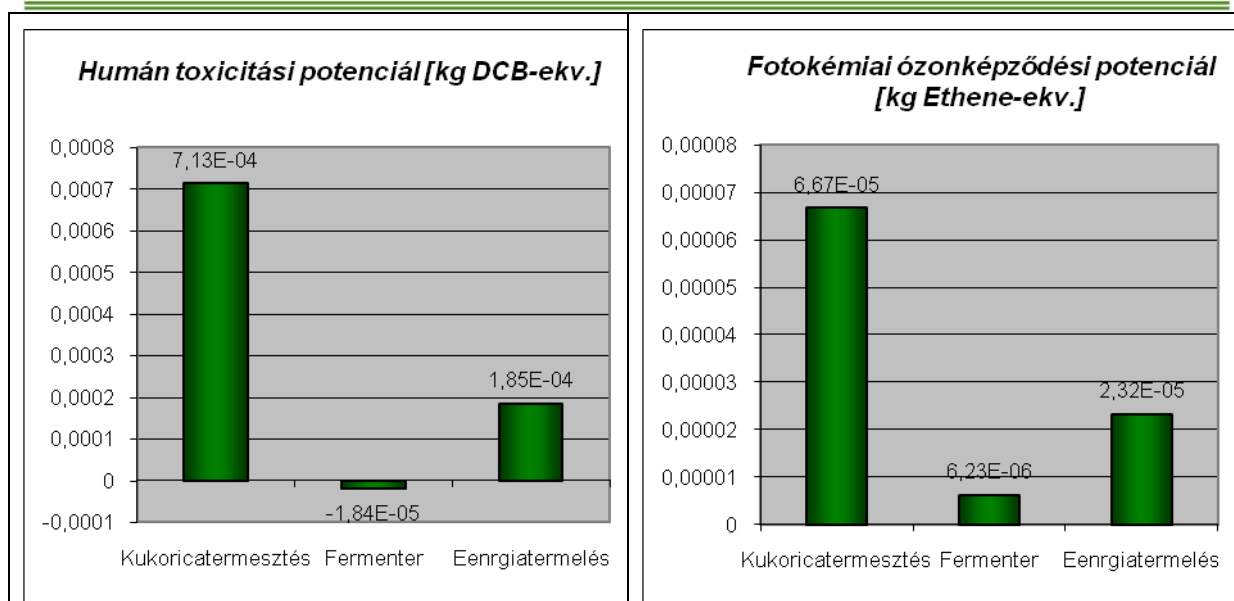
A por kibocsátást teljes egészében a mezőgazdaság adja, az energiaigényt kielégítő energiamix folyamat és a mezőgazdasági munkagépek bocsátják ki.



117. ábra Az EI '99 értékét jelentősen befolyásoló emissziók /bioetanol/

6.9.3.2 A CML módszer





118. ábra a biogázos erőmű CML eredményei

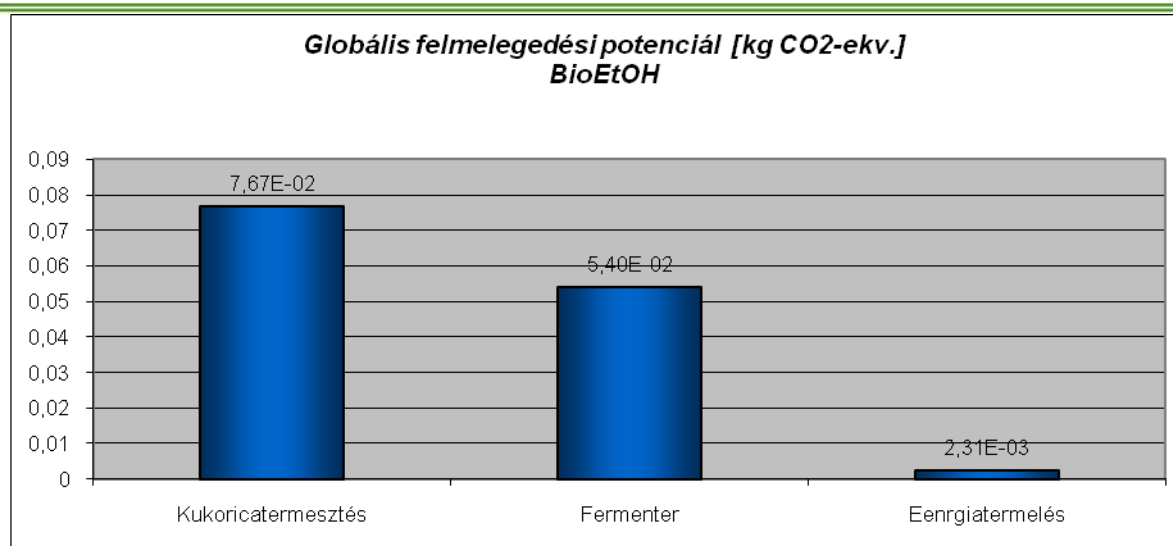
A kukoricatermesztés ammónia kibocsátása (maga a termesztés, és a nitrogénműtrágyák), és a motorok emissziói okozzák a bioetanol felhasználás savasodási potenciálját. A fermentáció során lehetőség van a savasodási potenciál jóváírására. A tápanyag-feldúsulásban szintén az ammónia nitrogéntartalma okozza a kukoricatermesztés kiemelkedő értékeit.

A humán toxicitási potenciált elsősorban a nitrogén-oxidok kibocsátása okozza, amelynek fő forrása a kukoricatermesztésnél a földeken alkalmazott „mechanikai energia”.

Elsősorban a kukoricatermesztésből származnak, majd az alkohol üzemű motorok emisszióiban található olyan anyagok, amelyek az ózonképződést elősegítik.

6.9.3.3 A „carbon footprint”

A bioetanol gyártásnál is a fő emissziók a szén-dioxid (55,3 %) a dinitrogén-oxid (31,2 %) és a metán (13,5 %). A metán nagy része a talajművelésből származik, a többi pedig a fermentációból (energiaigény) és az égetésből.



119. ábra Globális felmelegedési potenciál (bioetanol)

Megújuló energiaforrások – vízenergia

A vízenergia tulajdonképpen a víztömeg helyzeti energiájának változásával jellemezhető, ezért egy térség **vízenergia** adottságait a folyadéktömeg helyzeti energiájával lehet kifejezni. Ebből a megfontolásból kiindulva Magyarország vízenergia potenciálja kb. 1000 MW, és ebből a háromnegyedét a Duna jelenti és 10%-nyi Tiszán volna hasznosítható. A Dunán és Tiszán, mint a két legnagyobb teljesítményű vízerőműveken kívül számos ún. törpe (kis) vízerőmű működött, ill. működik. A hazai kis- és törpeerőművek a Nyugat Dunántúlon (Rábán) és az Észak-Magyarországon (Hernádon) találhatók.

6.10 Az elemzés lépései

6.10.1 A rendszerhatárok

A vízgép, ami a vízenergia hasznosítását szolgálja, olyan energia-átalakító, amely a folyadék munkavégző képességét az ún. járókerék forgatásával mechanikai energiává alakítja át. Többféle járókerék létezik az erőmű szerkezetétől, és a kiaknázandó fajlagos energiamennyiségtől függően. Ezek a vízgépek működésükben azonosan, de méreteikben eltérően rendkívül széles teljesítménytartományban használatosak. Magyarországon csak kis teljesítményű, 100 MW alatti erőművek üzemelnek.

HYDROPOWER

GaBi 4 process plan:Reference quantities



120. ábra A vízenergia rendszerhatárai

6.10.2 A leltár

A következő ábra a vízenergia leltárát szemlélteti.

The screenshot shows the 'HYDROPOWER -- Plan instance' window. It includes a 'Local settings' section with 'Scaling factor: 0,27778' and 'Fixed' checked. Below are 'Free parameters' and 'Fixed parameters' sections. The main part of the window is a table with two columns: 'Inputs' and 'Outputs'. Each column has a 'Show all flows' dropdown. The 'Inputs' table lists various resources like 'Inert rock', 'Water (surface water)', 'Air', 'Water (ground water)', 'Lignite Hungary', 'Primary energy from hydro power', etc., with columns for Alias, Flow, Quantity, Amount, and Unit. The 'Outputs' table lists various emissions and products like 'Krypton (Kr85)', 'Hydrogen (H3)', 'Radon (Rn222)', 'Radium (Ra226)', 'Xenon (Xe133)', 'Hydrogen (H3)', 'Argon (Ar41)', 'Xenon (Xe135)', 'Carbon (C14)', 'Waste heat', 'Cesium (Cs137)', 'Overburden', 'Water (river water)', 'Power (from hydropower)', 'Uranium (U238)', 'Exhaust', 'Cobalt (Co60)', 'Steam', 'Iodine (I129)', 'Waste heat', 'Xenon (Xe138)', 'Cesium (Cs134)', 'Carbon (C14)', 'Strontium (Sr90)', 'Carbon dioxide', 'Manganese (Mn54)', 'Xenon (Xe131m)', 'Uranium (U238)', 'Waste water', 'Plutonium (Pu alpha)', 'Uranium (U234)', 'Iodine (I129)', 'non used primary energy from water power', 'Curium (Cm alpha)', 'Xenon (Xe135m)', and 'Ruthenium (Ru106)'. At the bottom, there is a 'Data quality' section with 'Technique', 'Location', and 'Time' dropdowns, all set to 'No statement'.

Inputs					Outputs				
Alias	Flow	Quantity	Amount	Unit	Alias	Flow	Quantity	Amount	Unit
Inert rock [Non renewable resources]	Mass	1,1198		kg	Krypton (Kr85) [Radioactive emissions to air]	Activity	1,1772E005		Bq
Water (surface water) [Water]	Mass	0,97639		kg	Hydrogen (H3) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	4654,1		Bq
Air [Renewable resources]	Mass	0,85024		kg	Radon (Rn222) [Radioactive emissions to air]	Activity	1715,9		Bq
Water (ground water) [Water]	Mass	0,54246		kg	Radium (Ra226) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	51,907		Bq
Lignite Hungary [Lignite products]	Mass	0,089732		kg	Xenon (Xe133) [Radioactive emissions to air]	Activity	15,768		Bq
Primary energy from hydro power [REnergy ren. (r0,034685	MJ				Hydrogen (H3) [Radioactive emissions to air]	Activity	13,591		Bq
Water for industrial use [Operating rMass	0,021539			kg	Argon (Ar41) [Radioactive emissions to air]	Activity	6,9784		Bq
Stone from mountains [Non renewabMass	0,014738			kg	Xenon (Xe135) [Radioactive emissions to air]	Activity	5,2176		Bq
Natural gas CIS [Natural gas (resourMass	0,013081			kg	Carbon (C14) [Radioactive emissions to air]	Activity	3,2096		Bq
Water [Water]	Mass	0,01097		kg	Waste heat [Other emissions to air]	Energy (net ca	1,933		MJ
Process water [Operating materials]	Mass	0,0036812		kg	Cesium (Cs137) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	1,4808		Bq
Crude oil CIS [Crude oil (resource)]	Mass	0,0032931		kg	Overburden [Stockpile goods]	Mass	1,1183		kg
Primary energy from solar energy [REnergy ren. (r0,00138	MJ				Water (river water) [Water]	Mass	1,0986		kg
Cooling water [Operating materials]	Mass	0,0011151		kg	Power (from hydropower) [Electric power]	Energy ren. (g1			MJ
Hard coal CIS [Hard coal products]	Mass	0,0010766		kg	Uranium (U238) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,90444		Bq
Iron ore [Non renewable resources]	Mass	0,00097406		kg	Exhaust [Other emissions to air]	Mass	0,70294		kg
Natural gas Germany [Natural gas (rMass	0,00093478			kg	Cobalt (Co60) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,68656		Bq
Hard coal Czech Republic [Hard coal Mass	0,00084909			kg	Steam [Inorganic emissions to air]	Mass	0,50942		kg
Crude oil free customer Hungary [CrMass	0,0006353			kg	Iodine (I129) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,45568		Bq
Limestone (calcium carbonate) [Non Mass	0,00062184			kg	Waste heat [Other emissions to fresh water]	Energy (net ca0,	28753		MJ
Hard coal Poland [Hard coal (resourcMass	0,00061707			kg	Xenon (Xe138) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,1766		Bq
Hard coal Germany [Hard coal (resouMass	0,00059588			kg	Cesium (Cs134) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,16026		Bq
Natural Aggregate [Non renewable rMass	0,00054283			kg	Carbon (C14) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,15949		Bq
Primary energy from wind power [REnergy ren. (r0,00050963	MJ				Strontium (Sr90) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,15218		Bq
Natural gas France [Natural gas (resMass	0,00049827			kg	Carbon dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass	0,14963		kg
Hard coal USA [Hard coal (resource)]	Mass	0,00047459		kg	Manganese (Mn54) [Radioactive emissions to fresh weActivity	0,10644		Bq	
Water (processed) [Operating materMass	0,00022045			kg	Xenon (Xe131m) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,096348		Bq
Heavy spar (barytes) [Non renewabMass	0,00020842			kg	Uranium (U238) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,037024		Bq
Methane [Organic intermediate prodMass	0,00018989			kg	Waste water [Other emissions to fresh water]	Mass	0,015031		kg
Hard coal South Africa [Hard coal (reMass	0,00015151			kg	Plutonium (Pu alpha) [Radioactive emissions to fresh wActivity	0,012542		Bq	
Lignite Germany (Rheinisch) [Lignite Mass	0,00014612			kg	Uranium (U234) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,0074588		Bq
Carbon dioxide [Renewable resource]Mass	0,00014582			kg	Iodine (I129) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,0068325		Bq
Soil [Non renewable resources]	Mass	0,00012738		kg	non used primary energy from water power [Other emEnergy ren. (n0,	0058666		MJ	
Primary energy from geothermics [REnergy ren. (r0,00012622	MJ				Curium (Cm alpha) [Radioactive emissions to fresh watActivity	0,0041754		Bq	
Lignite Germany [Lignite (resource)]	Mass	0,0001037		kg	Xenon (Xe135m) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,0041109		Bq
Crude oil Norway [Crude oil (resourcMass	0,00010239			kg	Ruthenium (Ru106) [Radioactive emissions to fresh waActivity	0,0031506		Bq	
Bentonite [Non renewable resources]Mass	8,5289E-005			kg					

121. ábra a vízenergia leltár-táblája

<i>Energiatermelő rendszer neve</i>	
HYDROPOWER	
Funcionális egység:	1 MJ Elektromos áram
Év:	2005
Forrás:	ProBas (www.probas.umweltbundesamt.de)
A rendszer különleges ismertetőjegyei:	mivel a vízenergia tisztán kvázi emissziómentes, a modellbe be lett építve egy kis erőműre (5 MW) jellemző építés élettartalma 50 év átlagos üzemideje 5000 óra / év
Inputok	
Tüzelőanyag:	-
Segédanyagok:	cement acél
Outputok	
Hasznos áramok:	megtermelt elektromos áram
Hulladék áramok:	-

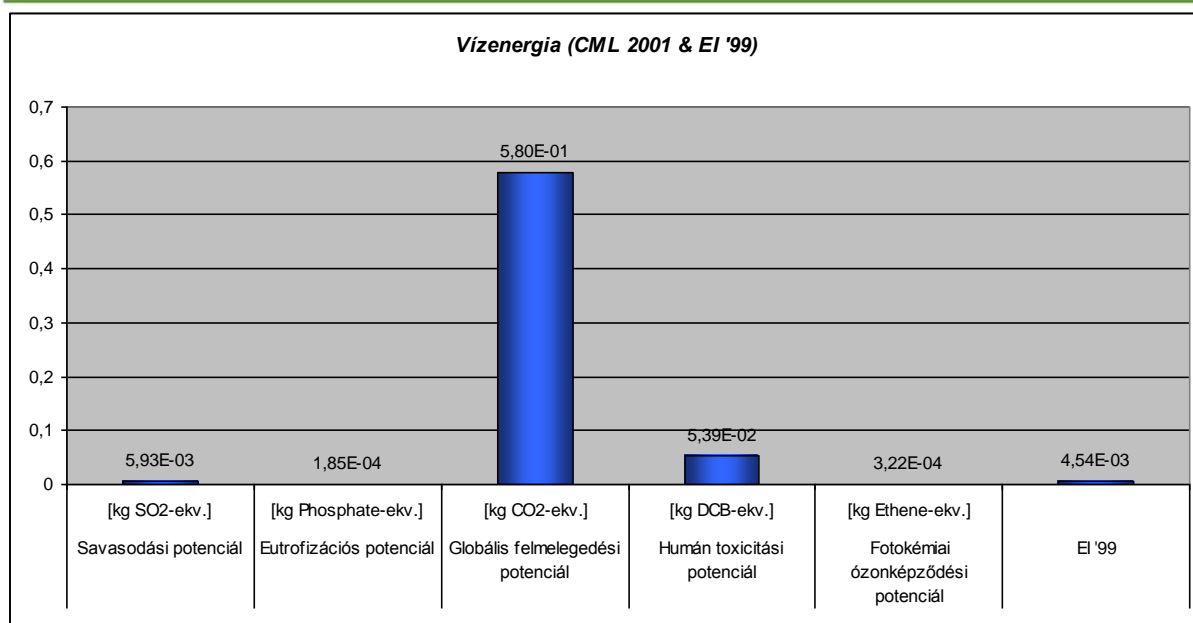
122. ábra egységes adattábla

6.10.3 Az elemzések eredményei

Mivel a vízenergia a víz mozgási és helyzeti energiájának átalakítása, magának a termelésnek számottevő emissziója a környezeti elemekbe nincsen. Ezért a rendszerbe az építés anyagszükségletét építettük be.

Ennek már értékelhető környezeti hatása van, főként a globális felmelegedési potenciál és a humán toxicitási potenciál területén. Ez a cement és acélgyártáshoz köthető emissziókból fakad. A CO₂-ra vetített üvegházhatású gáz kibocsátás 0,58 kg 1 MJ elektromos energia egységenként, míg az emberi mérgezőség 0,0539 kg DCB-nek felel meg.

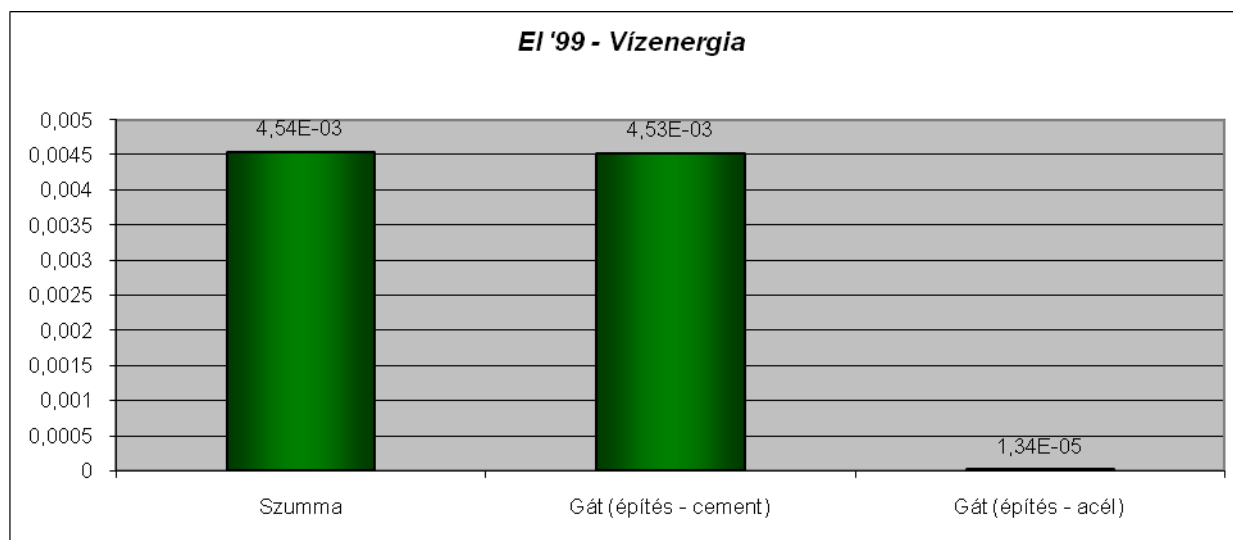
Ebből látható, hogy a vízi energia nem is annyira tiszta energia, mint gondolnánk.



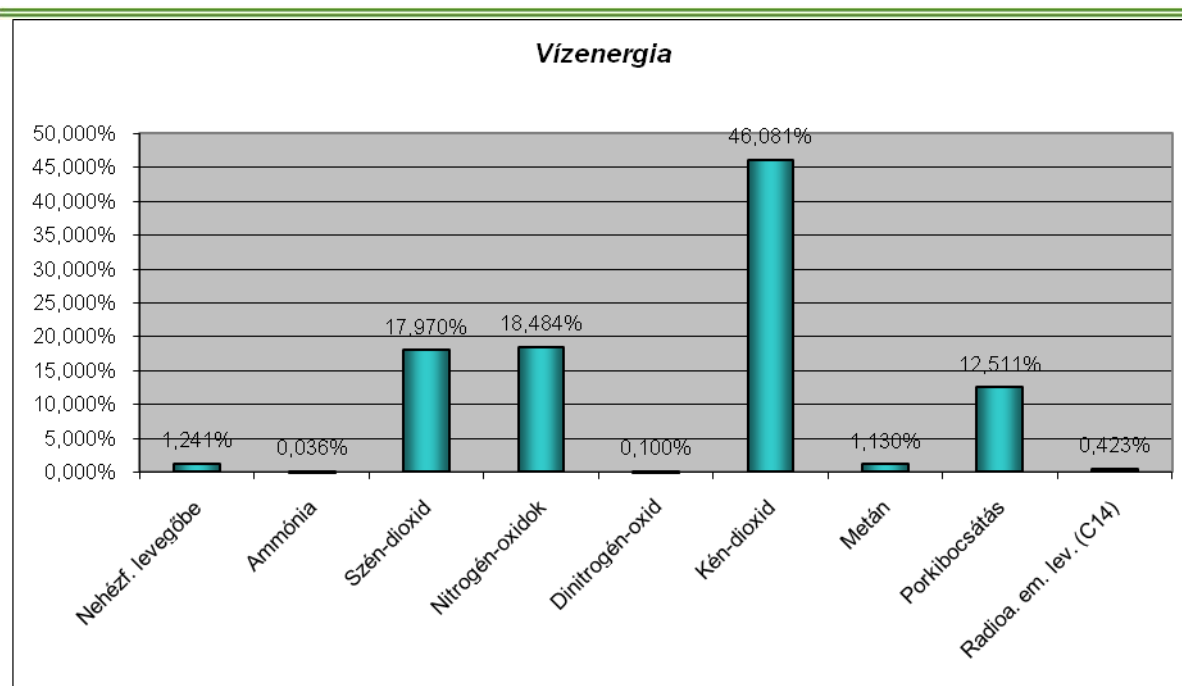
123. ábra A vízenergia környezeti indikátorainak (CML 2001 & EI '99) értékei

6.10.3.1 Az EI '99 módszer

A vízenergiát hasonlóan kezeltük a szélenergiához. Ebben az esetben is az erőmű építéséből származó emissziók adják a környezetterhelés nagy részét. A cementgyártás itt is domináns.



124. ábra Az EI '99 megoszlása az alrendszerek között (víz)



125. ábra Az EI '99 értékét jelentősen befolyásoló emissziók /vízenergia/

6.10.3.2 A CML módszer

A modellezett vízenergiánál az emissziók az építésnél használt anyagok gyártásából származnak. Ezek közül főként a cement az, mely mennyisége miatt a fő környezeti hatásokkal rendelkezik. A savasodásban a kén-dioxid és a nitrogén-oxidok vesznek részt.

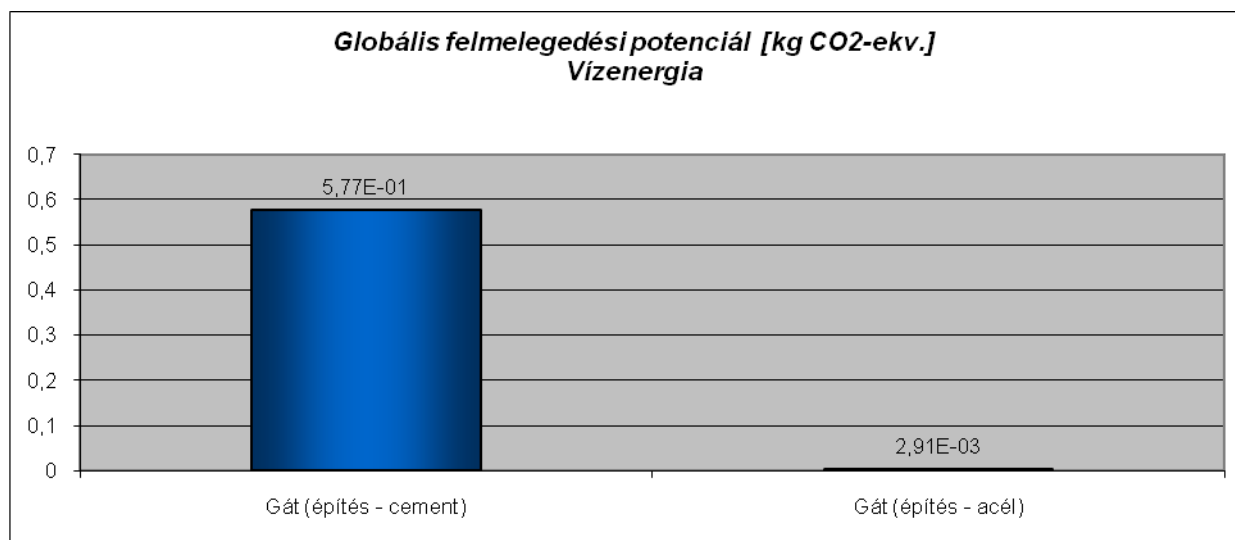
Az eutrofizációban főként a cementgyártás során felhasznált energia, ill. energiahordozó kibocsátásiból származó nitrogén-oxidoknak valamint egyéb nitrogén kibocsátásnak van jelentős hatása. A humán toxicitási potenciált a magyar energiamix nehézfém kibocsátásai okozzák.

Az ózonképződést elősegítő anyagok kibocsátása szintén az energiafelhasználásból származik, elsősorban a kén-dioxid, majd szén-monoxid és NMVOC vegyületek emissziójából.

6.10.3.3 A „carbon footprint”

A vízenergiának közvetlenül a globális felmelegedés szempontjából sincs emissziója, ahogy az más hatáskategóriákra is igaz. De ez a megállapítás csak az életciklus termelési szakaszára igaz. Mivel a megújuló energiák többsége ilyen, ezért a már említett módon az építést is megvizsgáltuk ebben az esetben.

Az ábrán látható, hogy az energiatermelési célból épített kis gátak környezetterhelésében a beépített cement (beton) előállításuk okozza a környezetterhelés 99%-át.



126. ábra Globális felmelegedési potenciál (víz)

Megújuló energiaforrások – szélenergia

Magyarországon a szélességek átlagos értékei 2,5–3,5 m/s között mozognak, amelyek általában 6–10 méter magasságban értendők. A 1,5 m/s-nál kisebb sebességű szelek gyakorlatilag energianyeresi célokra nem használhatóak. Magyarországon főként az alacsony szélességek esetén is termelőképes szélkerekeknek van jelentősége.

A szélmotorok legfontosabb része a szárnylapát. A szélnyomás hatására képződő aerodinamikai erő a lapátokat mozgásba hozza, ami aztán mozgatja a szélmotor tengelyét. A propeller, vagy lapát kialakítása lehet horizontális és vertikális is. A vertikális kialakítású képes a nagyobb szeleket kihasználni, míg a fektetett lapátokat a kisebb szelek is képesek meghajtani. Folytak kísérletek olyan egységek kialakítására, amelyeket a napelemekhez hasonlóan magasabb épületek tetején energiatermelésre használnának.

Villamosáram-termelésre néhány 100 W-os teljesítménytől több MW teljesítményig építenek szélgépeket. Az utóbbi önálló szélerőműnek is tekinthető, illetve ezekből több 10 MW teljesítményű parkokat építenek. Korábban az igen robusztus generátorokat a lábzatok mellett helyezték el, és a hajtást szöghajtóművekkel közvetítették. Az áttételi mechanizmusok kedvezőtlen hatásfoka miatt a mai gépeknél a generátorokat közvetlenül a lapátkerekek tengelyéhez kapcsolják (az oszlopok tetején.)

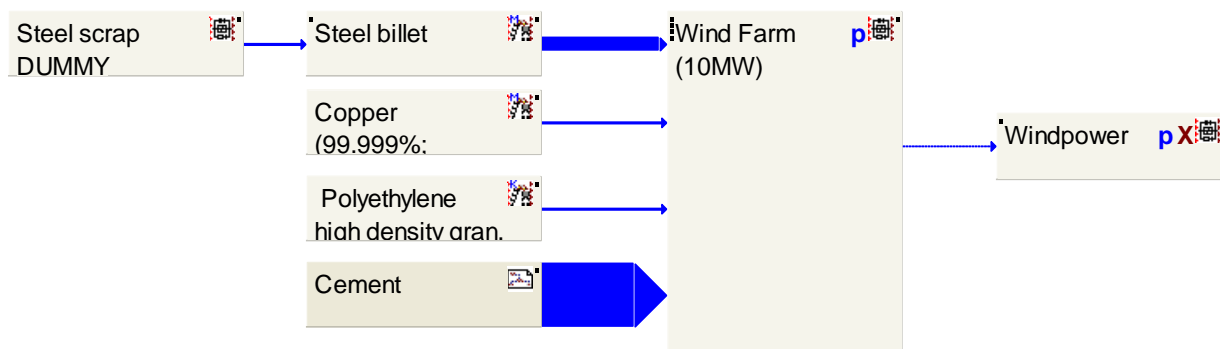
6.11 Az elemzés lépései

6.11.1 A rendszerhatárok

A villamosáram-termelés mellett a szélmotorokat hőtermelésre, szennyvíztavak levegőztetésére, vízhúzásra (pl. energiatározók), valamint egyéb munkavégzésre is felhasználják.

WIND FARM (10MW)

GaBi 4 process plan: Mass



127. ábra A szélenergia rendszerhatárai

6.11.2 A leltár

A következő ábra egy 10 MW-os szélörmű park által megtermelt elektromos áram I/O tábláját szemlélteti.

Inputs					Outputs				
Alias	Flow	Quantity	Amount	Unit	Alias	Flow	Quantity	Amount	Unit
Inert rock [Non renewable resources]	Mass	0,70309		kg	Krypton (Kr85) [Radioactive emissions to air]	Activity	73840		Bq
Water (surface water) [Water]	Mass	0,62111		kg	Hydrogen (H3) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	2918,5		Bq
Air [Renewable resources]	Mass	0,53859		kg	Radon (Rn222) [Radioactive emissions to air]	Activity	1075,8		Bq
Water (ground water) [Water]	Mass	0,33904		kg	Radium (Ra226) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	32,552		Bq
Lignite Hungary [Lignite products]	Mass	0,056083		kg	Xenon (Xe133) [Radioactive emissions to air]	Activity	10,226		Bq
Cooling water [Operating materials]	Mass	0,05412		kg	Hydrogen (H3) [Radioactive emissions to air]	Activity	8,6758		Bq
Water for industrial use [Operating materials]	Mass	0,047114		kg	Argon (Ar41) [Radioactive emissions to air]	Activity	4,4984		Bq
Water [Water]	Mass	0,022667		kg	Xenon (Xe135) [Radioactive emissions to air]	Activity	3,4451		Bq
Primary energy from hydro power [REnergy ren. (r0,022562	REnergy ren. (r0,022562			MJ	Carbon (C14) [Radioactive emissions to air]	Activity	2,1711		Bq
Process water [Operating materials]	Mass	0,012076		kg	Waste heat [Other emissions to air]	Energy (net ce)	1,2119		MJ
Copper ore (0.14%) [Non renewable resources]	Mass	0,011875		kg	Power (from wind) [Electric power]	Energy ren. (n1)			MJ
Stone from mountains [Non renewable resources]	Mass	0,0092113		kg	Cesium (Cs137) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,92844		Bq
Natural gas CIS [Natural gas (resources)]	Mass	0,0082094		kg	Overburden [Stockpile goods]	Mass	0,70721		kg
Crude oil CIS [Crude oil (resources)]	Mass	0,0021308		kg	Water (river water) [Water]	Mass	0,68665		kg
Iron ore [Non renewable resources]	Mass	0,0019977		kg	Uranium (U238) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,56527		Bq
Primary energy from solar energy [REnergy ren. (r0,00086252	REnergy ren. (r0,00086252			MJ	Exhaust [Other emissions to air]	Mass	0,4434		kg
Hard coal Germany [Hard coal (resources)]	Mass	0,00072138		kg	Cobalt (Co60) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,43049		Bq
Hard coal CIS [Hard coal products]	Mass	0,00067286		kg	Steam [Inorganic emissions to air]	Mass	0,31981		kg
Zinc - copper ore (4.07%-2.59%) [Non renewable resources]	Mass	0,00062116		kg	Iodine (I129) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,28582		Bq
Limestone (calcium carbonate) [Non renewable resources]	Mass	0,00062069		kg	Waste heat [Other emissions to fresh water]	Energy (net ce)	0,1806		MJ
Natural gas Germany [Natural gas (resources)]	Mass	0,00060284		kg	Xenon (Xe138) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,12189		Bq
Hard coal Czech Republic [Hard coal (resources)]	Mass	0,00054284		kg	Cesium (Cs134) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,10103		Bq
Hard coal Poland [Hard coal (resources)]	Mass	0,00042655		kg	Carbon (C14) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,10004		Bq
Zinc - lead - copper ore (12%-3%-2%) [Non renewable resources]	Mass	0,00040092		kg	Strontium (Sr90) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,095663		Bq
Crude oil free customer Hungary [Crude oil (resources)]	Mass	0,00039706		kg	Carbon dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass	0,095408		kg
Natural Aggregate [Non renewable resources]	Mass	0,00033927		kg	Manganese (Mn54) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,066735		Bq
Hard coal USA [Hard coal (resources)]	Mass	0,00033922		kg	Xenon (Xe131m) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,062548		Bq
Primary energy from wind power [REnergy ren. (r0,00033223	REnergy ren. (r0,00033223			MJ	Cooling water [Waste for recovery]	Mass	0,054074		kg
Natural gas France [Natural gas (resources)]	Mass	0,00031425		kg	Xenon (Xe135m) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,052146		Bq
Lignite Germany [Lignite (resources)]	Mass	0,0001758		kg	Waste water [Other emissions to fresh water]	Mass	0,039933		kg
Natural gas Netherlands [Natural gas (resources)]	Mass	0,00016253		kg	Uranium (U238) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,023164		Bq
Hard coal South Africa [Hard coal (resources)]	Mass	0,00015434		kg	Plutonium (Pu alpha) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,007875		Bq
Crude oil Norway [Crude oil (resources)]	Mass	0,00014323		kg	Tailings [Stockpile goods]	Mass	0,007472		kg
Water (processed) [Operating materials]	Mass	0,00013778		kg	Krypton (Kr85m) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,0047019		Bq
Heavy spar (barites) [Non renewable resources]	Mass	0,0001351		kg	Uranium (U234) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,0046767		Bq
Methane [Organic intermediate products]	Mass	0,00011868		kg	Xenon (Xe133m) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,0046343		Bq
Lignite Germany (Rheinisch) [Lignite (resources)]	Mass	0,00010752		kg					

128. ábra A szélörmű leltár-táblája

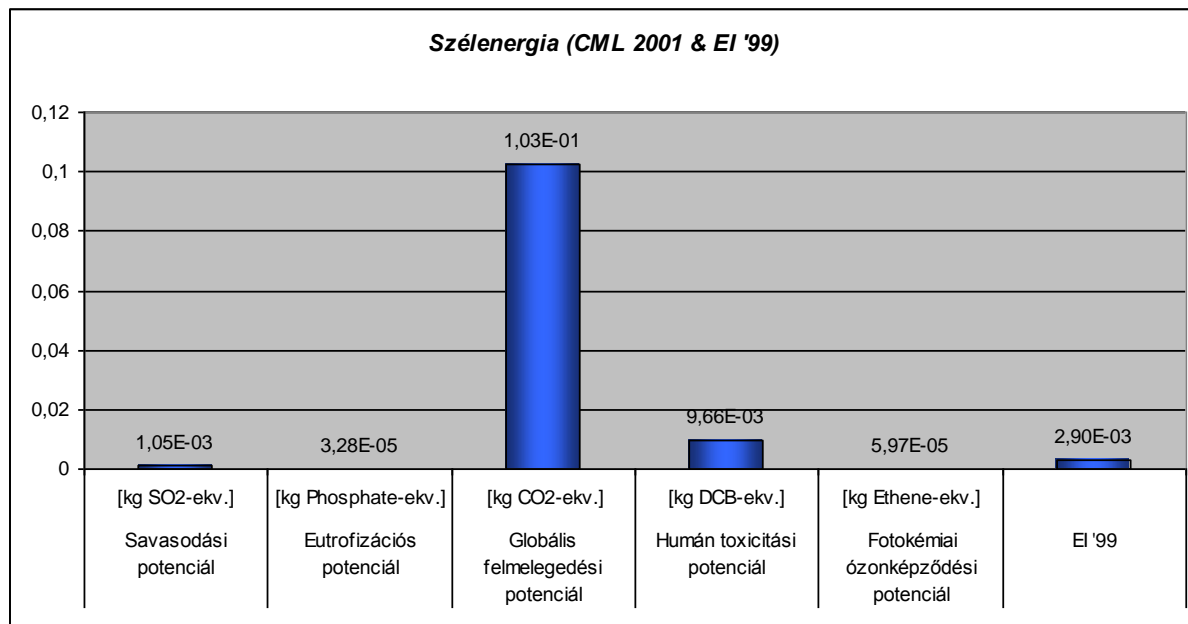
Funcionális egység:	1 MJ Elektromos áram
Év:	2005
Forrás:	ProBas Szélerőmű gyártók (pl.: GE)
A rendszer különleges ismertetőjegyei:	mivel a szélenergia tisztán kvázi emissziómentes, a modellbe be lett építve egy közepes erőműparkra (10 MW) jellemző építés átlagos élettartam 20 év területfoglalása 20 000 nm
Inputok	
Tüzelőanyag:	-
Segédanyagok:	építéshez szükséges főbb anyagok (acél, cement, réz, HDPE)
Outputok	
Hasznos áramok:	megtermelt elektromos áram
Hulladék áramok:	-

129. ábra egységes adattábla

6.11.3 Az elemzések eredményei

Az energiatermelés szélenergiából is zéró emissziós technológiának mondható, de ez csak a termelésre igaz. A modellünk tartalmazza egy 10 MW-os szélpark építéséhez szükséges fontosabb alapanyagokat.

A kibocsátások így 20 év átlagos élettartamra tekintve az üvegházhatású gázok esetében 0,103 kg CO₂ egyenérték, a toxicitás 0,00966 kg dikloró-bifenilnek, míg a savasodásra gyakorolt hatás 0,00105 kg SO₂-nak felel meg.

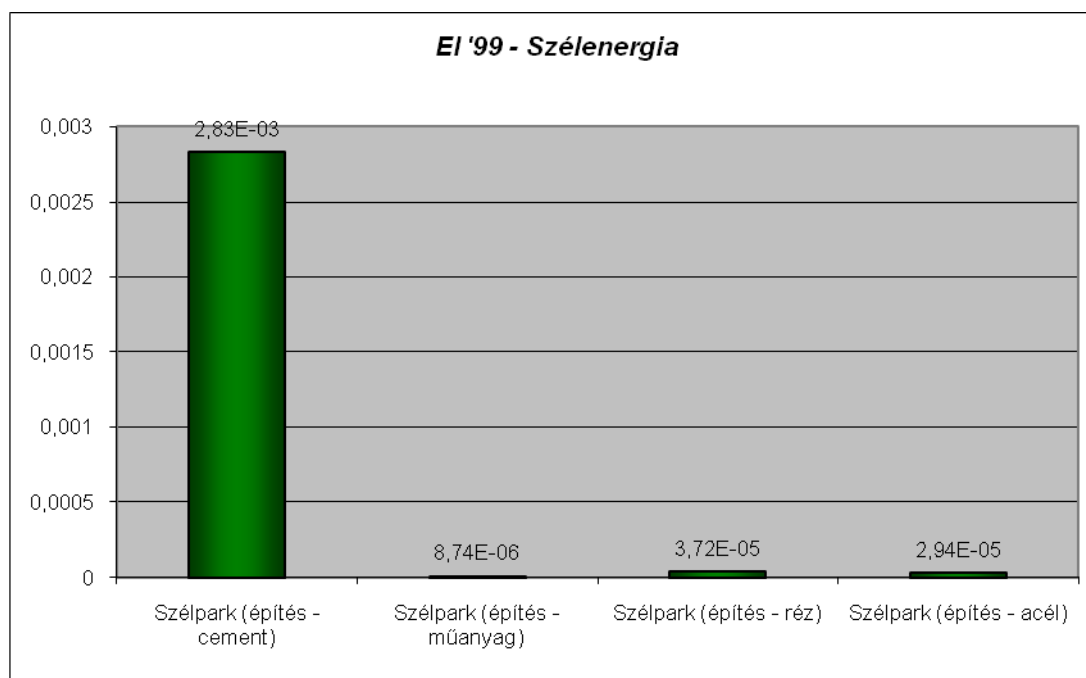


130. ábra A vízenergia környezeti indikátorainak (CML 2001 & EI '99) értékei

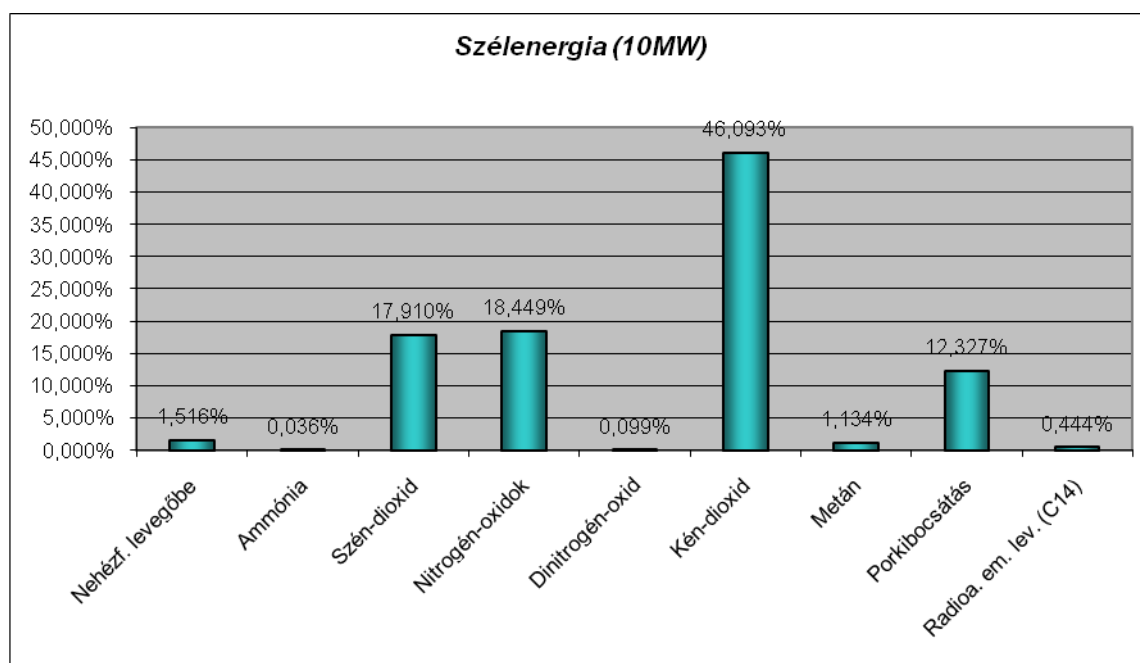
6.11.3.1 Az EI '99 módszer

A szélenergia egy 10 MW-os szélparkot modellez. Mivel termelése zéró emissziós a fizikai környezeti elemeket tekintve, a rendszer építését is a modellbe illesztettük.

A fő emittáló itt a talpazathoz használt cement gyártása. 46%-ban a kibocsátott kéndioxid határozza meg a mutató értékét, nagy része a cement gyártásból és a réz gyártásból származik. A hagyományos NOx és CO₂ emissziók a cementgyártás energiafelhasználása következtében kerülnek a légkörbe, valamint a por emisszió is a cementgyártásból ered.



131. ábra Az EI '99 megoszlása az alrendszerek között (szél)



132. ábra Az EI '99 értékét jelentősen befolyásoló emissziók /szélenergia/

6.11.3.2 A CML módszer

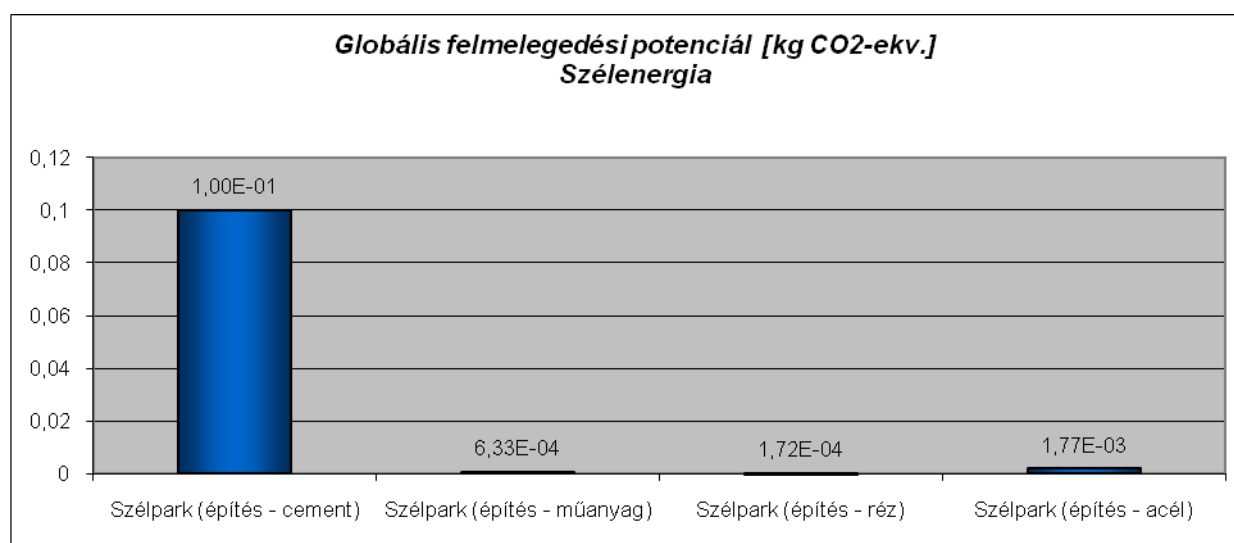
A szélpark CML mutatóit a vízenergiához hasonlóan a cement felhasználása, ill. gyártása határozza meg. A hatások ebből a forrásból származnak, de itt már figyelembe vettünk más, fémes anyagok felhasználását is, mint a réz. Eutrofizációs potenciált meghatározó elem a felhasznált cement gyártása.

A humán toxicitási potenciál meghatározó eleme a cementgyártás, de a felhasznált réz gyártásához szükséges energiamennyiség is akkora, hogy az okozott hatás is szemléltethetővé tehető a diagramon.

A földközeli ózon kialakulásánál a szerves vegyületek emissziója a meghatározó. Ezért a műanyagok gyártása az, ami a cement mellett a második legnagyobb hatással rendelkezik ebben a hatás kategóriában.

6.11.3.3 A „carbon footprint”

Hasonlóan a vízenergiához a szélparkok építésénél is a cement legyártása a leginkább energiaigényes folyamat, ami miatt ez okozza a legnagyobb üvegházhatású gáz kibocsátást.



133. ábra Globális felmelegedési potenciál (szél)

Megújuló energiaforrások – napenergia

A **napenergia** kihasználása nem új keletű dolog, hőenergiáját tulajdonképpen már évezredek óta használjuk, főként szárításra, és melegítésre. Elektromos energiává való alakítása már a XX. század találmánya. Több fajta létezik az alkalmazott szilícium kristályok minőségétől függően: mono-, poli-kristályos és amorf szerkezetű.

6.12 Az elemzés lépései

6.12.1 A rendszerhatárok

A modell szerint Magyarországon 2000 órát süt a nap, és 90°-os beesési szög esetében 1250 kWh/m² energiával lehet számolni.

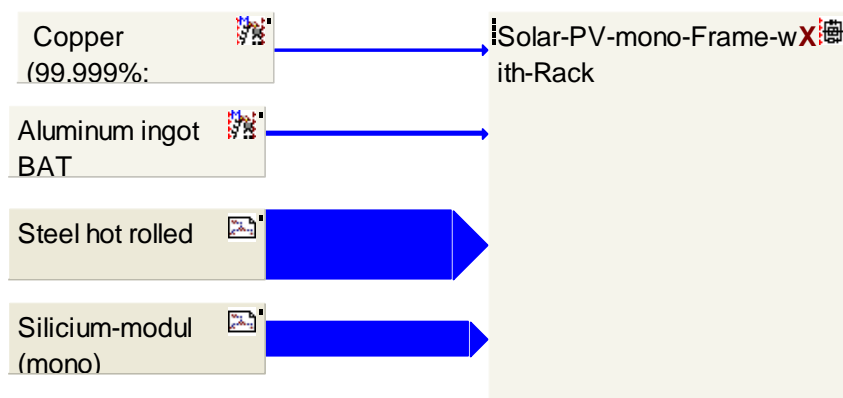
A modell tartalmazza a napelem gyártást kerettel és tartóval együtt. Kb. 30 éves használati idővel számolhatunk, ami alatt 0,21 GWh elektromos áram áll elő. A modell építéshez 20 darab monokristályos szilícium, valamint acél, alumínium és réz modult használtunk,

A szilícium modul az ábrának megfelelő anyagokból áll össze, amelyeket szintén alrendszerekre osztottunk.

A modell egész felépítése tulajdonképpen a homokból, mint alapanyagból indul ki, majd ezt követi a metallurgiai és elektronikai tisztaságú szilíciumon keresztül egészen a monokristály előállítás, és végül az energiatermelés.

SOLAR-PV-MONO-Frame-with-Rack

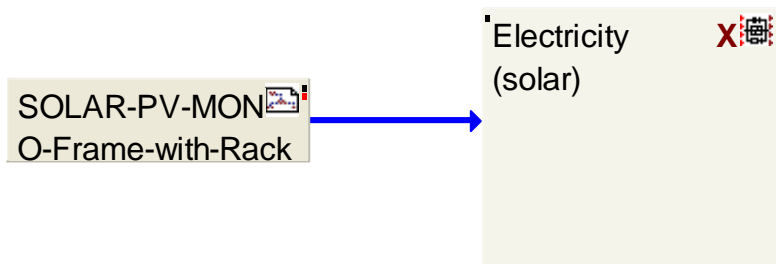
GaBi 4 process plan: Mass



134. ábra A napenergia rendszerhatárai / I.

ELECTRICITY (SOLAR)

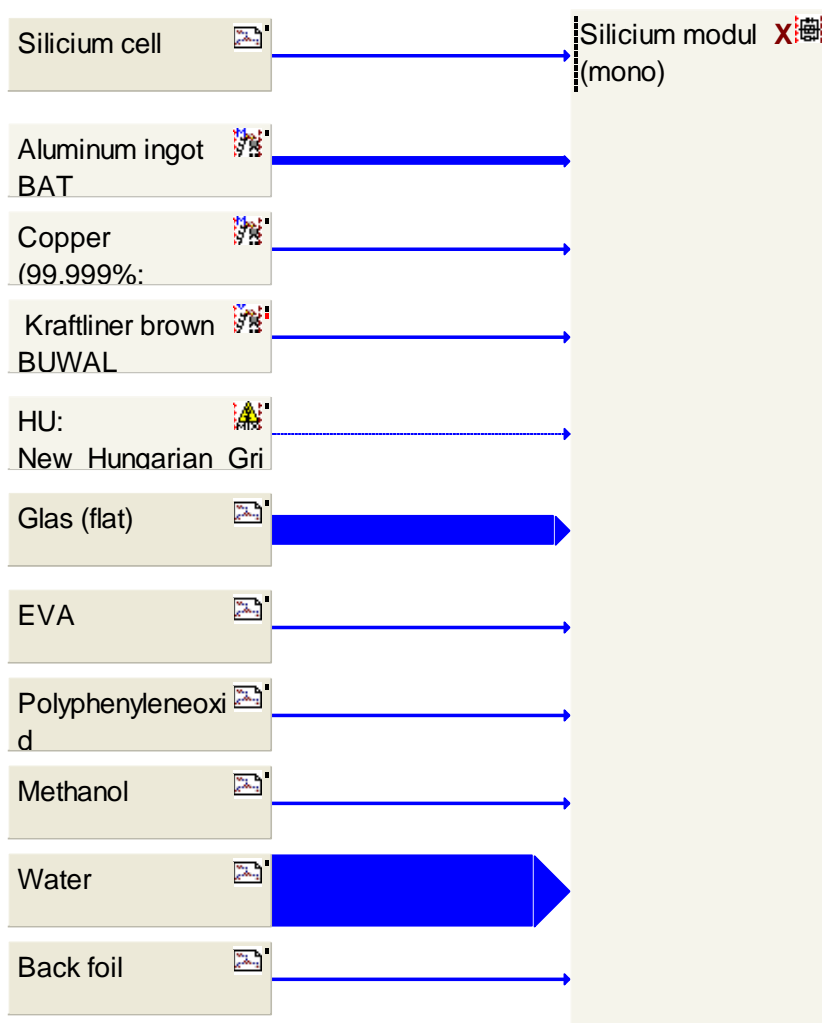
GaBi 4 process plan: Reference quantities



135. ábra A napenergia rendszerhatárai / II.

Szilícium-modul (mono)

GaBi 4 process plan: Mass



136. ábra A napenergia rendszerhatárai / III.

6.12.2A leltár

A következő ábra a napenergia-termelési folyamatának I/O tábláját szemlélteti.

Inputs						Outputs					
Alias	Flow	Quantity	Amount	Unit	Tr	Alias	Flow	Quantity	Amount	Unit	Tr
	Water (surface water) [Water]	Mass	0,071483	kg			Krypton (Kr85) [Radioactive emissions to air]	Activity	6621,1	Bq	
	Inert rock [Non renewable resources]	Mass	0,064555	kg			Hydrogen (H3) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	260,81	Bq	
	Air [Renewable resources]	Mass	0,059114	kg			Radon (Rn222) [Radioactive emissions to air]	Activity	95,905	Bq	
	Water (river water) [Water]	Mass	0,052621	kg			Radium (Ra226) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	2,9105	Bq	
	Water for industrial use [Operating materials]	Mass	0,038147	kg			Xenon (Xe133) [Radioactive emissions to air]	Activity	1,0418	Bq	
	Cooling water [Operating materials]	Mass	0,037345	kg			Power (from Solar) [Electric power]	Energy ren. (n1)		MJ	
	Krypton (Kr85) [Radioactive emitter]	Activity	0,033003	Bq			Hydrogen (H3) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,83261	Bq	
	Water (ground water) [Water]	Mass	0,029101	kg			Argon (Ar41) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,44815	Bq	
	Water [Water]	Mass	0,020576	kg			Xenon (Xe135) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,37271	Bq	
	Process water [Operating materials]	Mass	0,015756	kg			Carbon (C14) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,25451	Bq	
	Primary energy from hydro power [REnergy ren. (r0,013827	MJ					Waste heat [Other emissions to air]	Energy (net ce0,10883		MJ	
	Lignite Hungary [Lignite products]	Mass	0,0048138	kg			Cesium (Cs137) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,082763	Bq	
	Copper ore (0.14%) [Non renewableMass	Mass	0,0045892	kg			Waste water [Other emissions to fresh water]	Mass	0,072664	kg	
	Iron ore [Non renewable resources]	Mass	0,0015714	kg			Overburden [Stockpile goods]	Mass	0,066162	kg	
	Hydrogen (H3) [Radioactive emitter]	Activity	0,001092	Bq			Water (river water) [Water]	Mass	0,058854	kg	
	Natural gas CIS [Natural gas (resourMass	Mass	0,00088977	kg			Uranium (U238) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,04852	Bq	
	Bauxite [Non renewable resources]	Mass	0,00086695	kg			Exhaust [Other emissions to air]	Mass	0,046443	kg	
	Hard coal Germany [Hard coal (resolMass	Mass	0,00053139	kg			Cobalt (Co60) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,038388	Bq	
	Limestone (calcium carbonate) [Non Mass	Mass	0,00047889	kg			Cooling water [Waste for recovery]	Mass	0,036088	kg	
	Quartz sand (silica sand; silicon dioxiMass	Mass	0,00044814	kg			Steam [Inorganic emissions to air]	Mass	0,029667	kg	
	Nuclear energy (APME) [Uranium (reEnergy (net c0,00036939	MJ					Iodine (I129) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,025629	Bq	
	Radon (Rn222) [Radioactive emissioActivity	Activity	0,00033841	Bq			Xenon (Xe135m) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,024669	Bq	
	Zinc - copper ore (4.07%-2.59%) [NMass	Mass	0,0002407	kg			Waste water (for treatment) [Flows]	Mass	0,017778	kg	
	Crude oil CIS [Crude oil (resource)]	Mass	0,0002103	kg			Waste heat [Other emissions to fresh water]	Energy (net ce0,016556		MJ	
	Lignite Germany [Lignite (resource)]	Mass	0,00020807	kg			Xenon (Xe138) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,015146	Bq	
	Natural gas Netherlands [Natural gasMass	Mass	0,00015675	kg			Carbon dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass	0,01158	kg	
	Natural gas Germany [Natural gas (rMass	Mass	0,00015616	kg			Cesium (Cs134) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,0096851	Bq	
	Sodium chloride (rock salt) [Non reneMass	Mass	0,00015554	kg			Carbon (C14) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,0089688	Bq	
	Zinc - lead - copper ore (12%-3%-2'Mass	Mass	0,00015494	kg			Strontium (Sr90) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,0088291	Bq	
	Soil [Non renewable resources]	Mass	0,00014924	kg			Xenon (Xe131m) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,0063962	Bq	
	Hard coal Poland [Hard coal (resourcMass	Mass	9,1401E-005	kg			Manganese (Mn54) [Radioactive emissions to fresh waActivity	Activity	0,0059493	Bq	
	Hard coal South Africa [Hard coal (reMass	Mass	9,1185E-005	kg			Tailings [Stockpile goods]	Mass	0,0035151	kg	
	Primary energy from wind power [REnergy ren. (r8,5605E-005	MJ					Uranium [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,0029692	Bq	
	Natural gas Norway [Natural gas (reMass	Mass	8,4054E-005	kg			non used primary energy from water power [Other enEnergy ren. (n0,0023039	MJ			
	Hard coal USA [Hard coal (resource)]	Mass	7,8466E-005	kg			Krypton (Kr85m) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,002286	Bq	
	Primary energy from solar energy [REnergy ren. (r7,4034E-005	MJ									

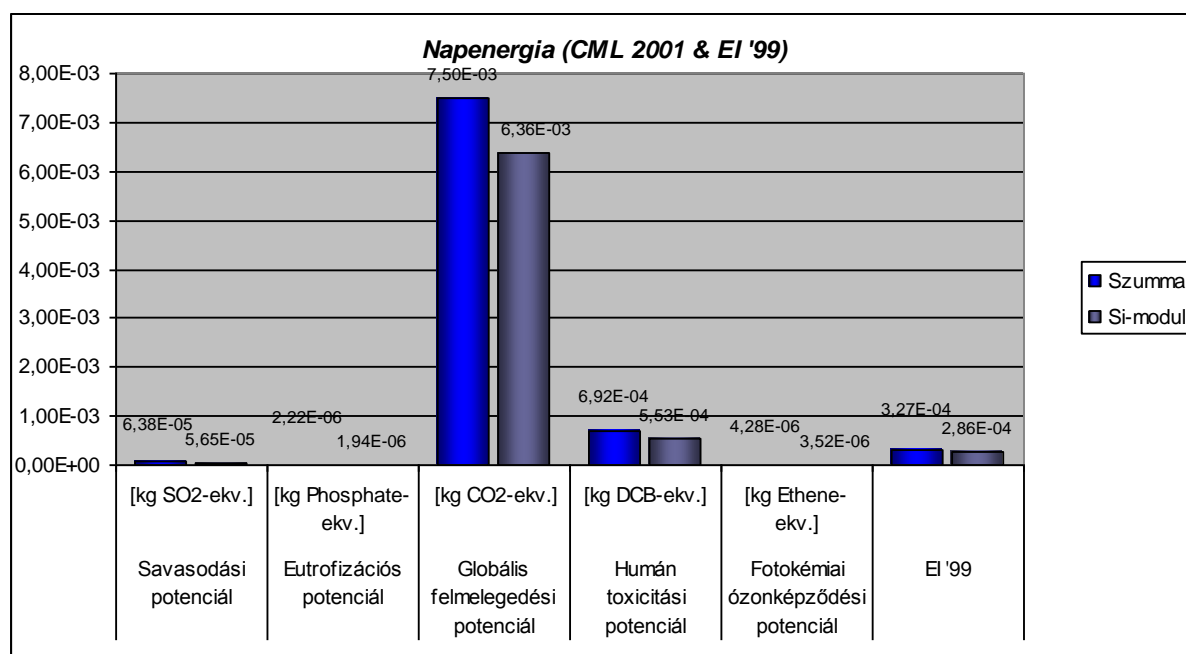
137. ábra a napenergia hasznosításának leltár-táblája

ELECTRICITY (SOLAR)	
Funcionális egység:	1 MJ Elektromos áram
Év:	2005
Forrás:	ProBas
A rendszer különleges ismertetőjegyei:	-mivel a napenergia tisztán kvázi emissziómentes, a modellbe be lett építve egy monokristályos napmodulra (kerettel és állvánnyal - 20 egység) (175 Wp) jellemző építés átlagos élettartam 30 év -területfoglalása 21,5 nm -napsütéses órák száma 1900 óra/év
Inputok	
Tüzelőanyag:	-
Segédanyagok:	gyártáshoz szükséges anyagok
Outputok	
Hasznos áramok:	megtermelt elektromos áram
Hulladék áramok:	-

138. ábra egységes adattábla

6.12.3 Az elemzések eredményei

A fő környezetterhelő egység a szilícium modul, ez képviseli a hatások több mint 90 %-át. A globális felmelegedési potenciál mutatója itt is egy-két nagyságrenddel a többi mutató fölé emelkedik, 1 MJ elektromos energia előállításához 0,0075 kg szén-dioxid kibocsátásnak felel meg, míg a humán toxicitási potenciál 0,000692 kg DCB/1 MJ elektromos áram.

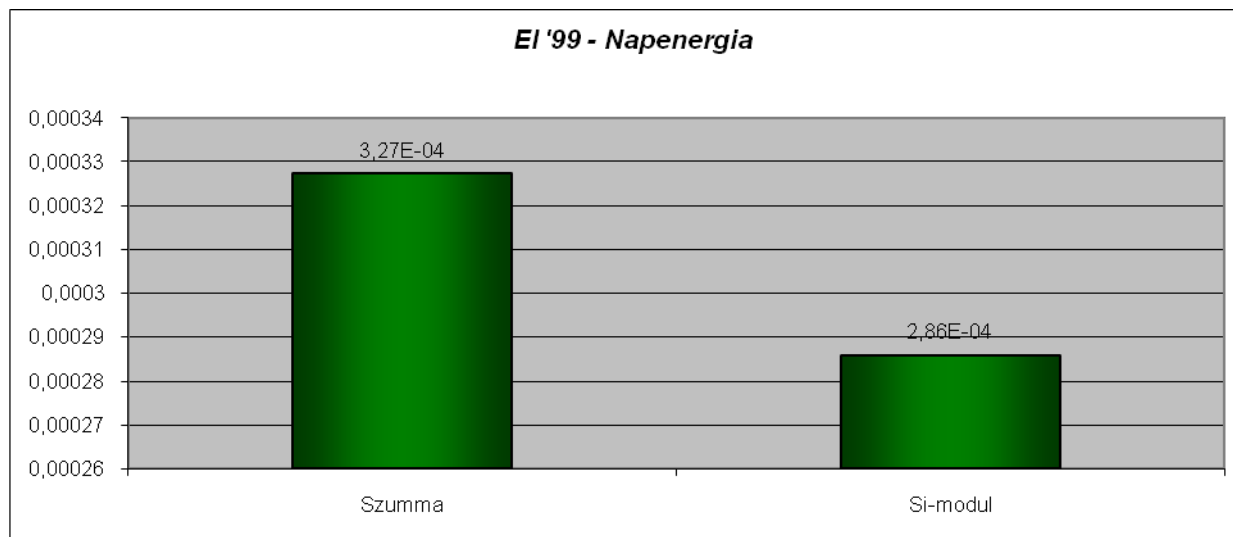


139. ábra A napenergia környezeti indikátorainak (CML 2001 & EI '99) értékei

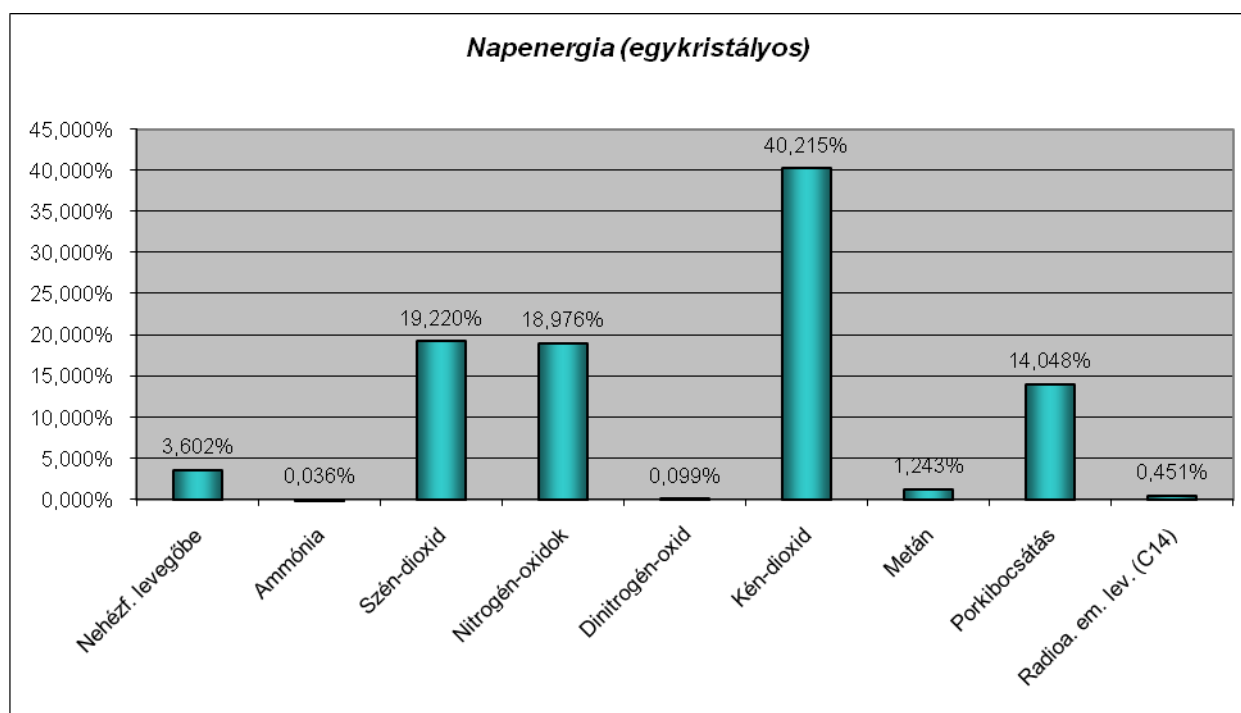
6.12.3.1 Az EI '99 módszer

A napenergia kiaknázásához gyártott napelem modulok igen bonyolultak a modellezés szempontjából. Igen sok gyártási cikluson mennek keresztül a különböző alkatrészek, amelyekhez a legkülönbözőbb anyagokat kell felhasználni.

Maga a napmodul 20 darab monokristályos modulból áll, aminek gyártása adja az egész egység által megtermelt energia környezetterhelésének több mint a felét. A maradékot pedig a keret és állvány gyártásához használt alumínium, és acél.



140. ábra Az EI '99 megoszlása az alrendszerek között (nap)



141. ábra Az EI '99 értékét jelentősen befolyásoló emissziók /napenergia/

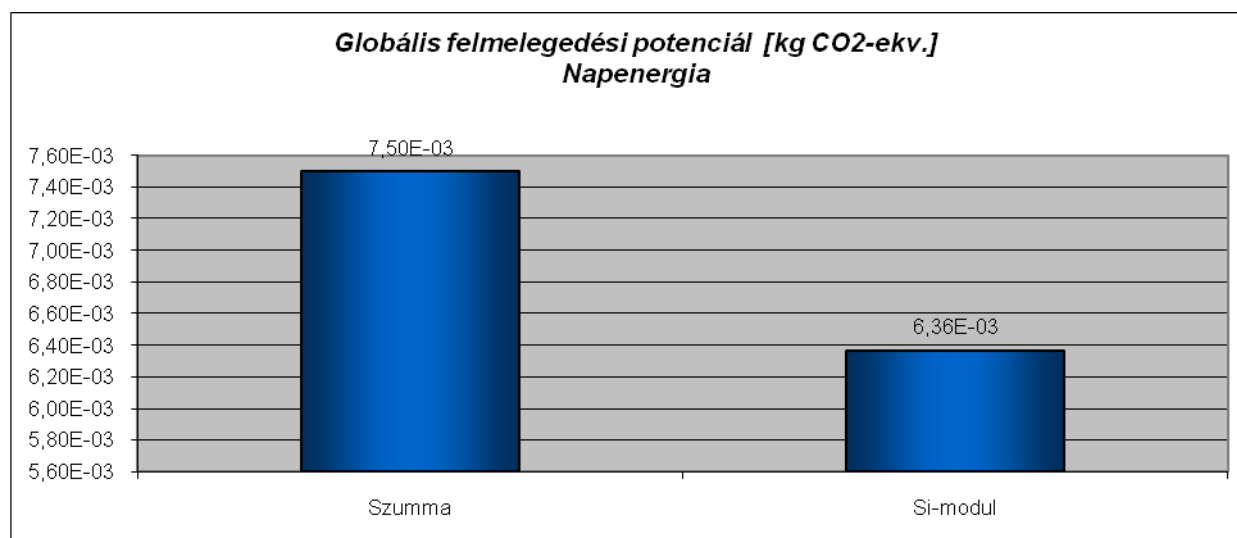
6.12.3.2 A CML módszer

A savasodási potenciálban meghatározó emissziók az energiatermelésből származnak, így ez összefügg az energiafelhasználással. A Si-modulon kívül az acél vázhoz, és egyéb szerelvényekhez is szükséges energia, de a legtöbb mégis a modul legyártásához szükséges. Az eutrofizációs hatásnál is hasonló a helyzet.

A humán toxicitási potenciált okozó emissziók is az energiatermelés externáliájaként kerülnek a rendszerbe, továbbá az alapanyagok gyártásának emisszióiból.

6.12.3.3 A „carbon footprint”

A napenergia is szinte korlátlan mennyiségben rendelkezésre álló energia, kiaknázása zéró emissziós, kivélt jelent ez esetben is a kihasználást lehetővé tevő eszközök gyártása. A modellben egy monokristályos napelem modul szerepel 20 kristállyal és 175 Wp teljesítménnyel. Gyártásának 1 MJ megtermelt elektromos áram mennyiségre vetített üvegházhatású gáz kibocsátása látható a 143. ábrán. Magának a modulrésznek a megépítése adja kibocsátás kb. felét, a maradék a keret és az állvány, valamint a huzalozás, ami acélból, műanyagból, rézből és alumíniumból van. Ezek gyártása szintén nagy energiaigényű, ezért is felelősek az üvegházhatású gáz kibocsátás több mint feléért.



142. ábra Globális felmelegedési potenciál (napenergia)

Gyengepont analízis a magyar energiamix alapján

A magyar energiamix egy olyan rendszer, ahol a modellezett technológiai rendszerek a magyarországi valóságnak megfelelő mértékben járulnak hozzá a funkcionális egység, azaz 1 MJ elektromos áram megtermeléséhez, így az elemzéskor az azokból származó emissziókat a valóságnak megfelelő arányban vesszük figyelembe.

6.13 Az analízis célja

A cél felderíteni a magyar villamosenergia-ellátás olyan pontjait, amelyek környezeti szempontból a rendszerhatárok értelmében gyenge pontnak számítanak. Meghatározni továbbá, hogy mely környezeti hatás az, amely ezek esetében jelentősnek mondható, és azt mi okozza. Ezt úgy tudhatjuk meg, hogy az energiamix elemzése után egyenként megvizsgáljuk az energiatermelő technológiák LCA-modelljét is. Az így kapott elemzések eredményei a környezeti hatások szempontjából megmutatják az energiahordozók ideális összetételét is, tehát döntés előkészítésre is alkalmasak.

4. Táblázat A különböző energiatermelési technológiák megoszlása a magyar energiamixben

Energiatermelő egység	Megoszlás [%]
BioEtOH	0
Biogáz	0,4
Fatüzelés	3,7
Barnaszén	1,8
Feketeszén	1,4
Vízenergia	0,5
Lignit	15,2
Földgáz	37,9
Atomenergia	36,8
Olaj	1,5
Napenergia	0
Hulladék	0,5
Szél	0,3

A 4. táblázat szerint a földgáztüzelésű erőművek, az atomenergia, és a lignites erőművek részesedése a legnagyobb, ezek adják az összes energia 90,1 %-át. Ezeket a fatüzelés, a többi fosszilis energiahordozók felhasználása és a biogáz, vízenergia követik.

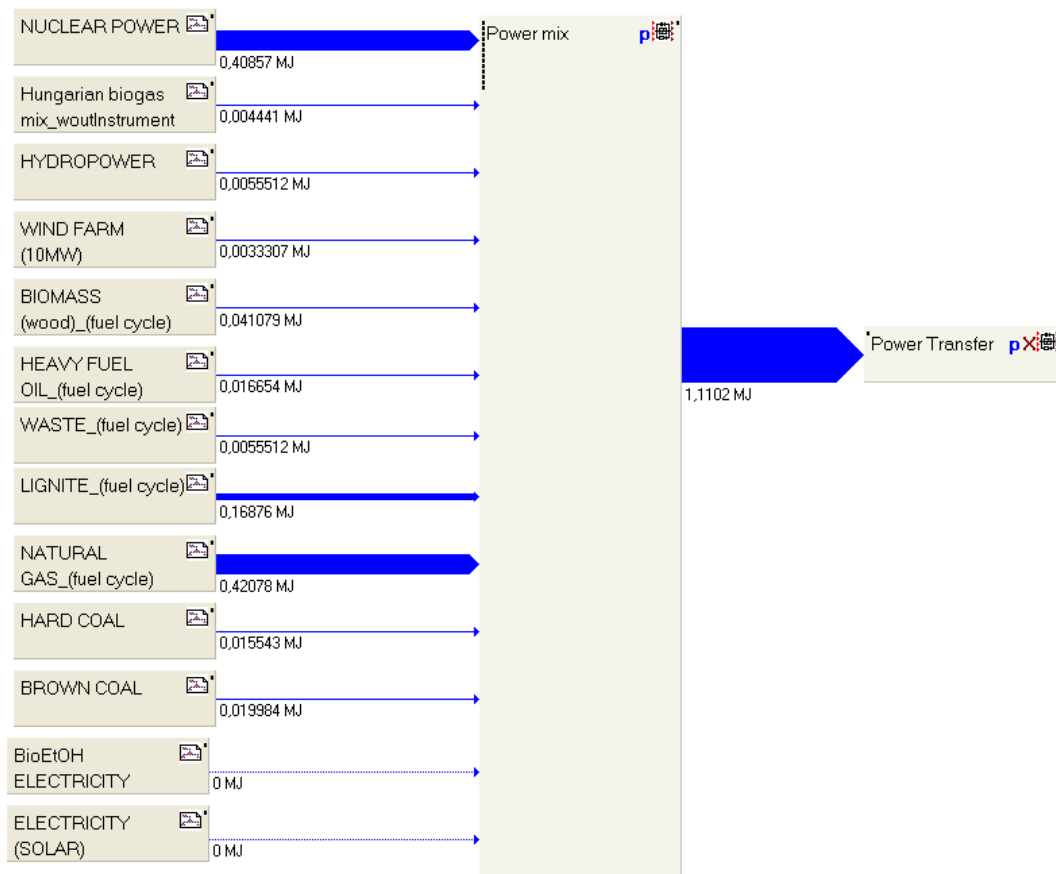
Evidencia, hogy a legnagyobb környezeti hatással a mixben legnagyobb arányban szereplő alkotóknak kell rendelkezniük. Ezért várhatóan a földgáz, lignit és atomenergia oszlopai lesznek a legmagasabbak, ill. adják a környezetterhelésekben a legnagyobb arányt. Ezeket a fosszilis követik, ill. elenyésző mértékű vagy egyáltalán nem lesz környezetterhelése a megújulókból termelt energiának.

A kiértékeléshez először egy energiamix folyamatot kellett létrehozni a szoftverben. Ennek lényege, hogy paraméterekkel beállítottuk a magyar viszonyoknak megfelelő megoszlást a

különböző termelési módszerek között. A paraméterek szabadon változtatható értékek, amelyek függvényében változik az I/O táblában az inputok mértéke. Ez a 144. ábra jobb oldalán látható „Power mix”.

POWER MIX

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

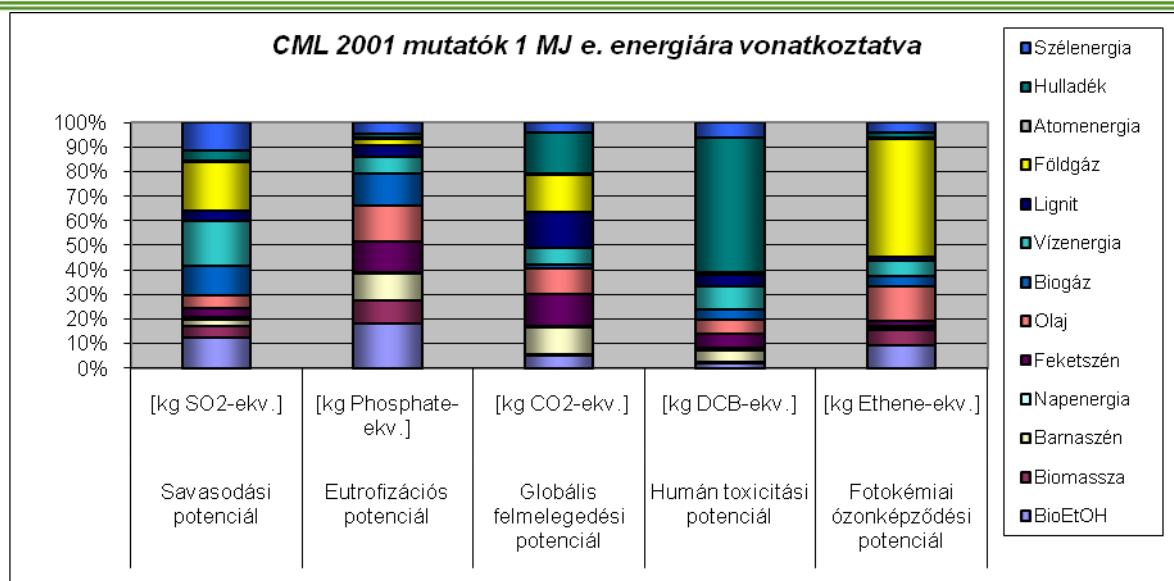


143. ábra A magyar energiamix rendszermodellje

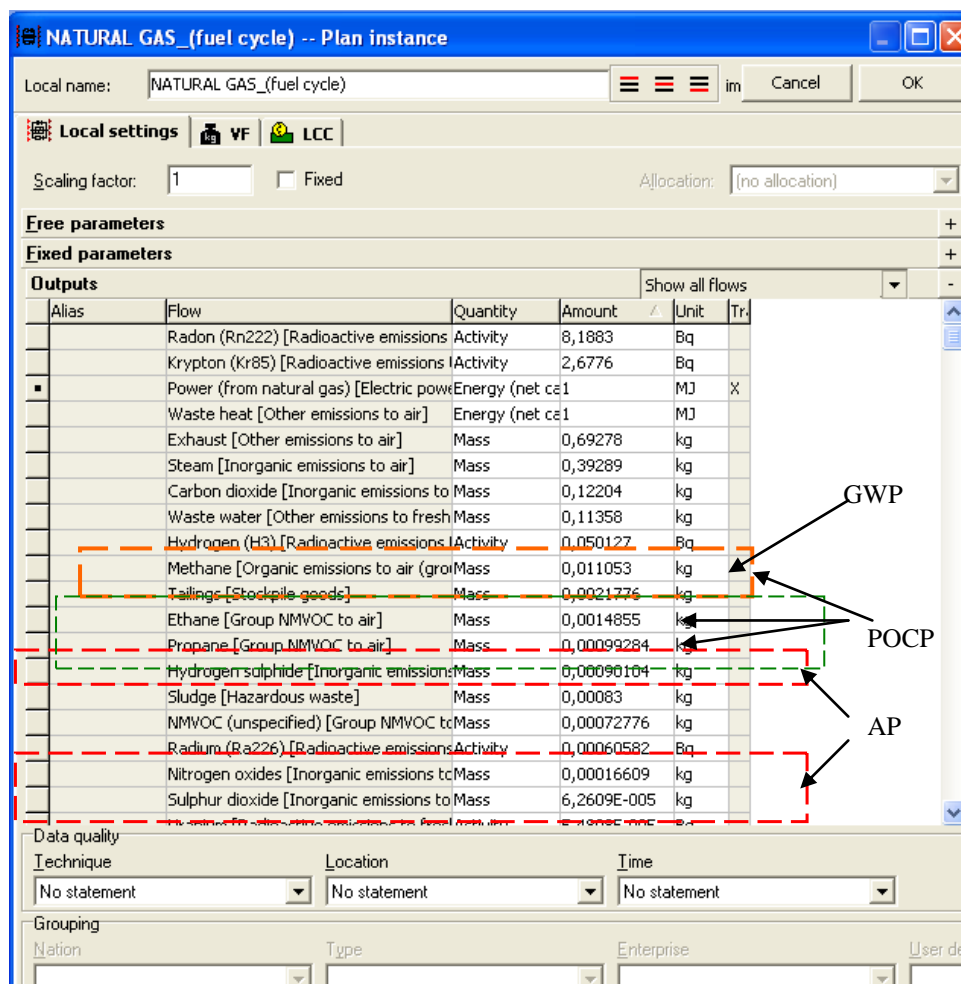
A paraméterek lehetővé teszik a rendszer flexibilitását, valamint azt, hogy a jövőbeli változások során azok megváltoztatásával a módosított összetétellel ismét gyorsan kiértékelhető legyen az eredmény. A baloldalon látható (144. ábra) energiatermelési modellek egy része szintén parametrizált folyamatokból áll, így a termelési módszerek változásával azok is gyorsan a valósághoz illeszthetők.

6.14 Az analízis eredményei

Ahhoz, hogy a valódi környezeti teljesítményeket megismerjük, kiértékeljük a rendszer elemeit azonos mennyiségű termelt elektromos energiára vetítve is.



144. ábra A CML 2001-es mutatók megoszlása 1 MJ elektromos energia funkcionális egység esetén



145. ábra A földgáztüzelésű technológia főbb kibocsátásai

A Savasodási potenciál (AP) alapján véve egy regionális környezeti hatás. A fosszilis energiahordozók felhasználását tekintve a földgáztüzelés a legjelentősebb hatású. Ennek fő okozója, 90%-ban a hidrogén szulfid kibocsátás, ami a szinte 100%-ban a bányászatnál és szállításnál bekövetkező veszteségből adódik. Durván 6,2%-ban az NOx kibocsátás a következő, ami a magas AP értéket adja, 1,5%-ban a szállításból (energiafelhasználás), 13,5 %-ban a gázbányászatból és 85 %-ban a gázégetésből származik. A kén-dioxid kb. 3 %-ban felelős a savasodásért, 98 %-ban a gázbányászat folyamatából származik.

Megjelenik továbbá a megújulók közül a szél, a bioetanol és a vízenergia is. A szél és vízenergia esetén az építés kibocsátásai meghatározók. Fő emisszió a kén dioxid, ami az váz-, és alap építéshez köthető savasodás 87%-áért felelős, 20%-a a beton gyártásból, 80%-a az acélgyártásból származik. Az NOx kibocsátás 13%-ban részesedik, szinte 100%-ban a betongyártás a felelős érte. Fontos még a HCl kibocsátás, 2,1%-ban felelős az AP kialakításában a vízenergia esetén, 100 %-ban a betongyártásból származik.

Alias	Flow	Quantity	Amount	Unit	Tr
Cesium (Cs137) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,0017887	Bq		
Sulphur dioxide [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	0,001396	kg		
Spill [Stockpile goods]	Mass	0,0013704	kg	*	
Xenon (Xe137) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,0013662	Bq		
Uranium [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,0013626	Bq		
Cobalt (Co58) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,0012259	Bq		
Cooling water [Waste for recovery]	Mass	0,0011139	kg	*	
Iodine (I131) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,00104	Bq		
Tailings [Stockpile goods]	Mass	0,0009302	kg	*	
Cesium (Cs134) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,00087519	Bq		
Radioactive tailings [Radioactive waste]	Mass	0,00053058	kg	*	
Used air [Other emissions to air]	Mass	0,00046594	kg		
Demolition waste [Stockpile goods]	Mass	0,00044903	kg		
Methane [Organic emissions to air (gross)]	Mass	0,00044793	kg		
Sulphate [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	0,00040207	kg		
Krypton (Kr85m) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,00038566	Bq		
Xenon (Xe133m) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,00038227	Bq		
Uranium (U235) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,00035962	Bq		
Nitrogen oxides [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	0,0003054	kg		
Chloride [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	0,00026489	kg		
Solids (suspended) [Particles to fresh water]	Mass	0,00021134	kg		
Iron [Heavy metals to fresh water]	Mass	0,00015112	kg		
Sodium [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	0,0001466	kg		
Cobalt (Co60) [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,0001412	Bq		

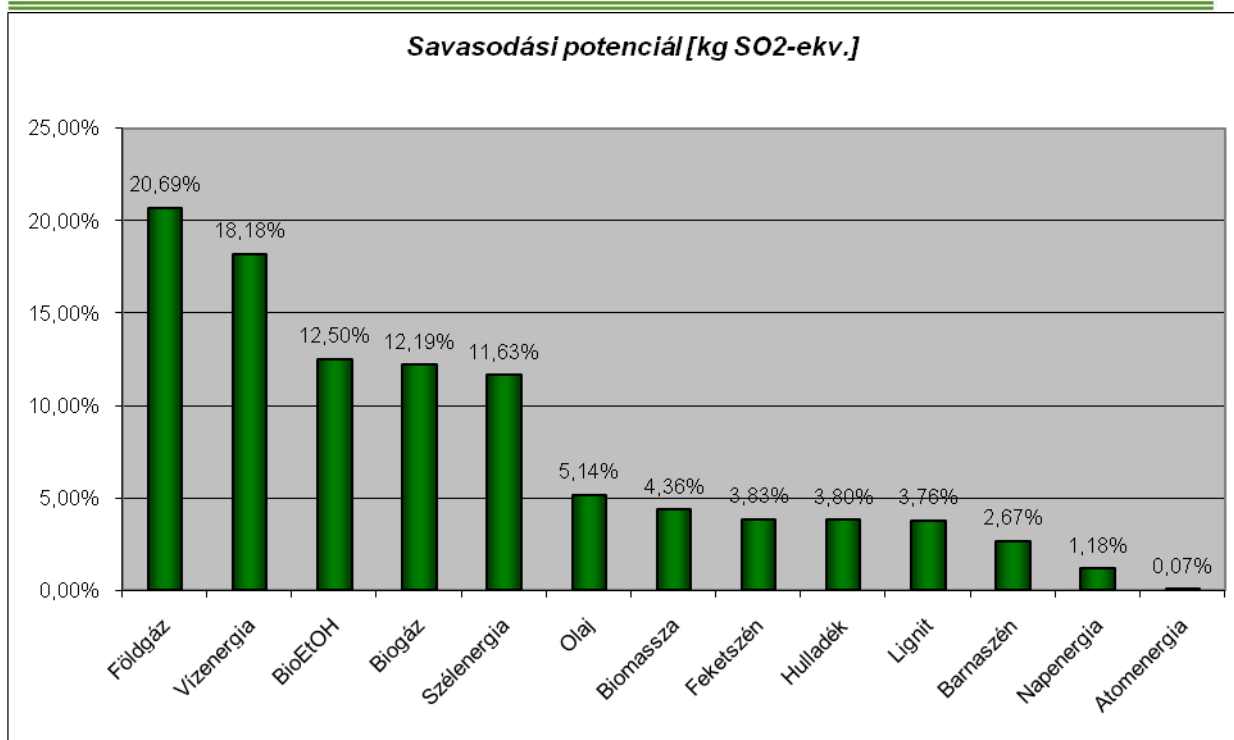
146. ábra A vízenergia-termelés főbb kibocsátásai

A biogáz alkalmazásánál az SO₂ kibocsátás okozza a savasodási potenciál kiemelkedő értékét, 63%-ban. Mindez 70%-ban a vágóhídi maradék rothasztásából származik, amelynek magas energiaigénye vezet a megnövekedett kén-dioxid emisszióhoz.

A további 20 %-ban az NO_x kibocsátás meghatározó, és ez is az előző bekezdésben vázolt okokra, a vágóhídi hulladék feldolgozásának magas energiaigényére vezethető vissza. További emissziók, amelyek a savasodási potenciált befolyásolják a H₂S kibocsátás, ami a kukorica termesztéséből és az ott felhasznált műtrágyák gyártásának emisszióiból ered. Ugyan ilyen okokra vezethető vissza az ammónia emisszió, ami teljes egészében a kukoricatermesztésből, a N-műtrágya gyártásából, és a földeken végbemenő anaerob folyamatokból származik.

Alias	Flow	Quantity	Amount	Unit	Tr.
Sulphur dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass	0,00868792	kg		
Tailings [Stockpile goods]	Mass	0,0006154	kg		
Xenon (Xe137) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,00060879	Bq		
Cobalt (Co58) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,00054645	Bq		
Iodine (I131) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,00045821	Bq		
Cesium (Cs134) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,00039055	Bq		
Methane [Organic emissions to air (gross)]	Mass	0,00036402	kg		
Nitrogen oxides [Inorganic emissions to air]	Mass	0,00032219	kg		
Cooling water [Waste for recovery]	Mass	0,00026832	kg		*
Radioactive tailings [Radioactive waste]	Mass	0,00023719	kg		*
Demolition waste [Stockpile goods]	Mass	0,00020043	kg		
Sulphate [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	0,00017956	kg		
Uranium (U235) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,00016048	Bq		
Chloride [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	0,00014694	kg		
Carbon monoxide [Inorganic emissions to air]	Mass	0,00011436	kg		
Used air [Other emissions to air]	Mass	0,0001095	kg		
Spoil [Stockpile goods]	Mass	9,6329E-005	kg		
Solids (suspended) [Particles to fresh water]	Mass	8,3621E-005	kg		
Ammonia [Inorganic emissions to air]	Mass	7,6617E-005	kg		
Xenon (Xe135m) [Radioactive emissions to air]	Activity	7,356E-005	Bq		
Iron [Heavy metals to fresh water]	Mass	6,7634E-005	kg		
Sodium [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	6,6291E-005	kg		
Cobalt (Co60) [Radioactive emissions to air]	Activity	6,2054E-005	Bq		
Sludge (from processing) [Waste for recovery]	Mass	6,0127E-005	kg		*
Oxygen [Inorganic emissions to air]	Mass	4,8512E-005	kg		
Nitrous oxide (laughing gas) [Inorganic emissions to air]	Mass	4,4742E-005	kg		

147. ábra A biogázos energiatermelés főbb kibocsátásai



148. ábra A savasodási potenciál értékek összehasonlítása

Az **Eutrofizációs Potenciál (EP)** is helyi hatás, tulajdonképpen a környezet tápanyagban való feldúsulását jelenti. A sorrend ebben az esetben átrendeződik. Az olaj, feketeszen és barnaszéntüzelés veszik át az első helyet, de a megújulók között a biogáz és a bioetanol is jelentős mértékben hozzájárul ennek a mutatónak a kialakításához.

Vizsgáljuk meg először a bioetanol. 99,5%-ban levegő-emissziók okozzák a tápanyag-feldúsulást. Ebből is az ammónia áll az első helyen, ami 57%-ban járul hozzá az EP kialakításhoz, míg a NOx kibocsátás 42%-ban. Az ammónia 100%-ban a kukorica alapanyag termesztésénél keletkezik, ahogy a biogáznál is tapasztalható volt. Elsődleges hatása van a termesztéskor a talajban végbemenő folyamatoknak, a nitrogén műtrágyák felhasználásának és persze gyártásának is. A nitrogén-oxidok 65%-ban származnak az alapanyag termesztéséből és fermentációból, főként az energiatermelés hatásaként és a földeken használt munkagépek emissziójaként jelenik meg. A maradék 35% az etanol égetéséből származik.

Alias	Flow	Quantity	Amount	Unit	Tr.
	Water [Water]	Mass	0,0046428	kg	
	Natural gas Norway [Natural gas (reso	Mass	0,0046245	kg	
	Primary energy from hydro power [Ren	Energy ren. (n	0,0045969	MJ	
	Krypton (Kr85m) [Radioactive emission	Activity	0,0035839	Bq	
	Xenon (Xe133m) [Radioactive emission	Activity	0,0035404	Bq	
	Plutonium (Pu alpha) [Radioactive emis	Activity	0,0018008	Bq	
	Uranium (U234) [Radioactive emissions	Activity	0,00098958	Bq	
	Methane [Organic emissions to air (gro	Mass	0,00095565	kg	
	Iodine (I129) [Radioactive emissions to	Activity	0,0009047	Bq	
	non used primary energy from water pi	Energy ren. (n	0,00090009	MJ	
	Limestone (calcium carbonate) [Non rer	Mass	0,00072803	kg	
	Industrial waste for municipal disposal	Mass	0,00072666	kg	*
	Used air [Other emissions to air]	Mass	0,00062219	kg	
	Curium (Cm alpha) [Radioactive emisio	Activity	0,00056287	Bq	
	Crude oil CIS [Crude oil (resource)]	Mass	0,00051374	kg	
	Nitrogen oxides [Inorganic emissions to	Mass	0,00043417	kg	
	Ruthenium (Ru106) [Radioactive emissi	Activity	0,00041717	Bq	
	Americium (Am241) [Radioactive emissi	Activity	0,00041717	Bq	
	Natural gas Denmark [Natural gas (reso	Mass	0,00033635	kg	
	Sludge [Hazardous waste]	Mass	0,00033466	kg	*
	Carbon monoxide [Inorganic emissions	Mass	0,00028144	kg	
	Sulphur dioxide [Inorganic emissions to	Mass	0,00028001	kg	
	Iodine (I131) [Radioactive emissions to	Activity	0,00026649	Bq	
	Cesium (Cs137) [Radioactive emissions	Activity	0,00024387	Bq	
	Ammonia [Inorganic emissions to air]	Mass	0,00021997	kg	

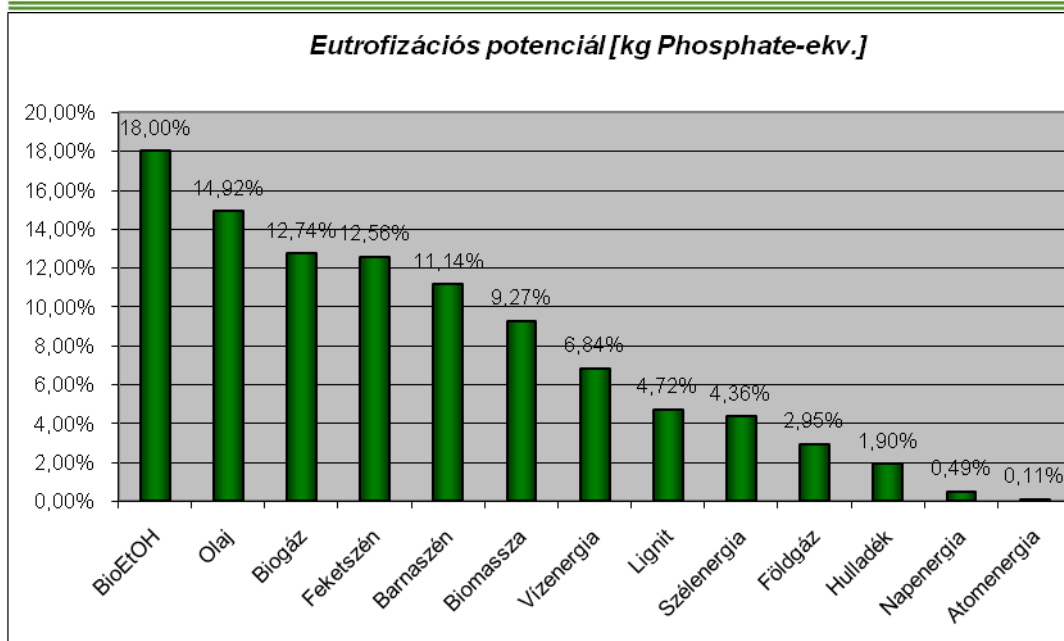
149. ábra A bioetanolos technológia főbb kibocsátásai

Hasonló okokra, tehát a kukoricatermesztés ammónia emissziójára és az NO_x emisszióra vezethető vissza a biogáz tüzelés hasonló környezeti teljesítménye ebben a kategóriában.

Vizsgáljunk meg egy fosszilis energiahordozóra épülő technológiát is! Itt természetesen nem találkozhatunk a mezőgazdaságból származó emissziókkal. A feketeszén tüzelés tápanyag feldúsításban betöltött szerepéért csak 40%-ban felelősek a légnemű emissziók. Az ammónia kibocsátás elenyésző, alig éri el az 1%-ot az EP-n belül, az NO_x kibocsátás annál jelentősebb (38%), ezen belül is 40:60 arányban osztozik a szénkitermelés és a szállítás, valamint az energiatermelés folyamata. A vízbe kibocsátott emissziók 60%-ban okozzák az EP-t, a modell szerint a feketeszén tüzeléskor kibocsátott kémiai oxigénigény, azaz a víz bizonyos szerves anyag tartalma, ami a tápanyag-feldúsuláshoz nagymértékben hozzájárul.

Alias	Flow	Quantity	Amount	Unit	Tr.
	Carbon (C14) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,006055	Bq	
	Fly ash (unspecified) [Waste for recovery]	Mass	0,0059189	kg	*
	Gypsum (FDI) [Waste for recovery]	Mass	0,0036434	kg	*
	Chemical oxygen demand (COD) [Analytical]	Mass	0,002576	kg	*
	Plutonium (Pu alpha) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,0016225	Bq	
	Boiler ash (unspecified) [Waste for recovery]	Mass	0,0015275	kg	*
	Uranium (total) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,0013672	Bq	
	Methane [Organic emissions to air (gross)]	Mass	0,0010218	kg	*
	Xenon (Xe133) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,00097885	Bq	
	Hydrogen (H3) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,00085114	Bq	
	Chloride [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	0,00076413	kg	
	Argon (Ar41) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,00043681	Bq	
	Ash [Stockpile goods]	Mass	0,00031367	kg	*
	Nitrogen oxides [Inorganic emissions to air]	Mass	0,00027754	kg	*
	Xenon (Xe135) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,0002775	Bq	
	Fluoride [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	0,00019549	kg	
	Sulphate [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	0,00016768	kg	
	Uranium (U238) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,00015547	Bq	
	Sulphur dioxide [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	0,00014695	kg	
	Sodium [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	0,00014302	kg	
	Gypsum [Waste for recovery]	Mass	0,00010887	kg	*
	Sludge [Hazardous waste]	Mass	0,00010565	kg	*
	Cesium (Cs137) [Radioactive emissions to air]	Activity	9,2818E-005	Bq	
	Solids (suspended) [Particles to fresh water]	Mass	8,2195E-005	kg	
	Calcium [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	6,5082E-005	kg	

150. ábra A feketeszén technológia főbb kibocsátásai



151. ábra A környezet tápanyag-feldúsulásában játszott szerepek súlyának megoszlása

A **Globális Felmelegedési Potenciálnál (GWP)** (globális hatás) a hulladékégetés, a földgáztüzelés, a lignit és a feketeszén a meghatározóak. Ennek a hatásnak fő okozója a szén-dioxid, de a metán és más szénhidrogének is hasonlóképpen jelentősek.

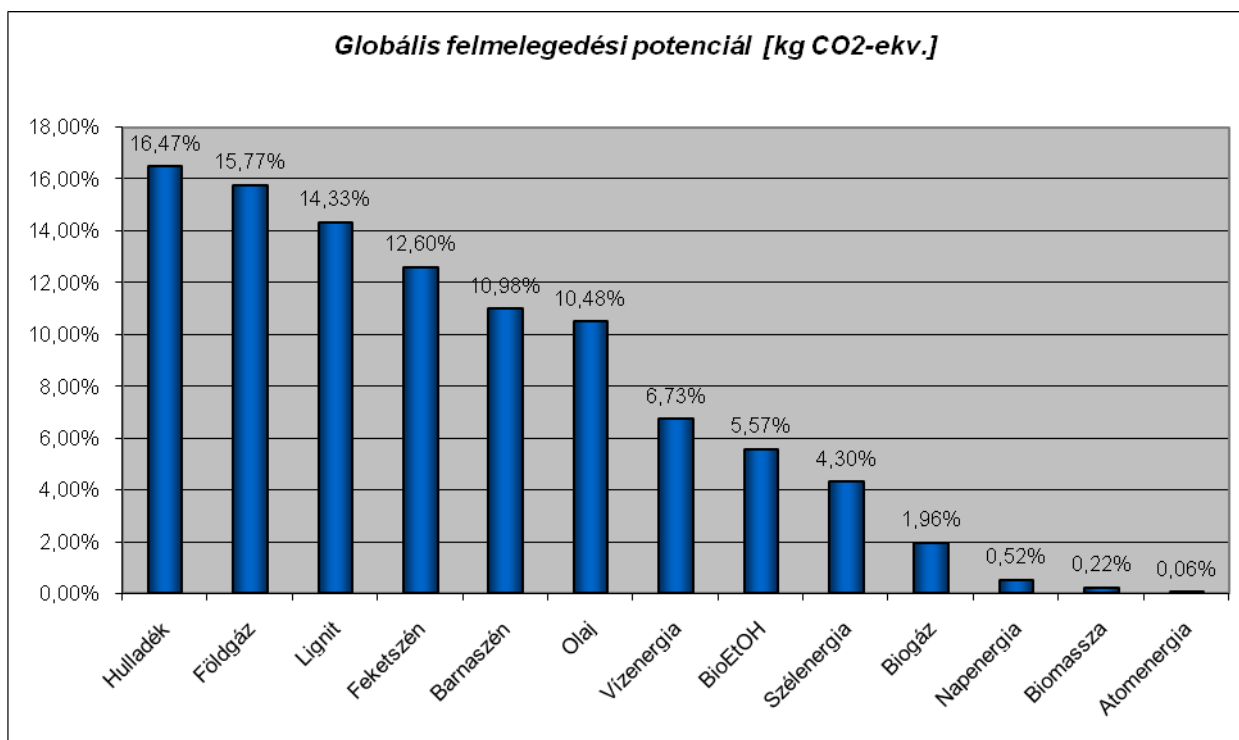
A hulladékégetés fő emissziója, ami a GWP-t okozza, szinte 100%-ban a CO₂, ami 99,6%-ban a hulladékégetés folyamatából származik, és elhanyagolható a hulladékbeszállítás, valamint a segédanyagok gyártásának hatása.

A fosszilis energiahordozók felhasználásánál (például a feketeszén tüzelésnél) szintén a szén-dioxid kibocsátás a meghatározó, 91%-ban, a metán pedig 8%-ban (154. ábra).

Alias	Flow	Quantity	Amount	Unit	Tr.
	Krypton (Kr85) [Radioactive emissions to air]	Activity	46,377	Bq	
	Steam [Inorganic emissions to air]	Mass	12,454	kg	
	Waste heat [Other emissions to air]	Energy (net ca	1,8667	MJ	
	Exhaust [Other emissions to air]	Mass	1,4941	kg	
	Power (from waste combustion) [Electric power]	Energy (net ca	1	MJ	X
	Hydrogen (H3) [Radioactive emissions to fresh	Activity	0,96942	Bq	
	Waste heat [Other emissions to fresh water]	Energy (net ceo,	16668	MJ	
	Carbon dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass	0,3934	kg	
	Slag [Hazardous waste]	Mass	0,09785	kg	
	Radium (Ra226) [Radioactive emissions to fres	Activity	0,090319	Bq	
	Uranium [Radioactive emissions to fresh water]	Activity	0,063927	Bq	
	Uranium (U238) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,053693	Bq	
	Radon (Rn222) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,029281	Bq	
	Waste water [Other emissions to fresh water]	Mass	0,0080426	kg	
	Gypsum (FD1) [Waste for recovery]	Mass	0,0076703	kg	*
	Overburden [Stockpile goods]	Mass	0,00081709	kg	*
	Cesium (Cs134) [Radioactive emissions to fres	Activity	0,00077346	Bq	
	Tailings [Stockpile goods]	Mass	0,00048961	kg	*
	Strontium (Sr90) [Radioactive emissions to fres	Activity	0,00034521	Bq	
	Dust (unspecified) [Particles to air]	Mass	0,00026909	kg	
	Carbon (C14) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,00026383	Bq	
	Xenon (Xe133) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,00026034	Bq	
	Sulphur dioxide [Inorganic emissions to air]	Mass	0,00023942	kg	
	Hydrogen (H3) [Radioactive emissions to air]	Activity	0,00022637	Bq	
	Iodine (I129) [Radioactive emissions to fresh w	Activity	0,00017887	Bq	

152. ábra A hulladékégetés főbb emissziói

A földgáztüzelés esetében a globális felmelegedést okozó gázok közül a metán jelenik meg legnagyobb mennyiségben (67%), és szinte 100%-ban a földgáz kitermeléskor kerül a légkörbe. A szén-dioxid, ami 32%-ban vesz részt a GWP kialakításában, 96%-ban származik az erőműből.



153. ábra A Globális felmelegedési potenciál összehasonlítása

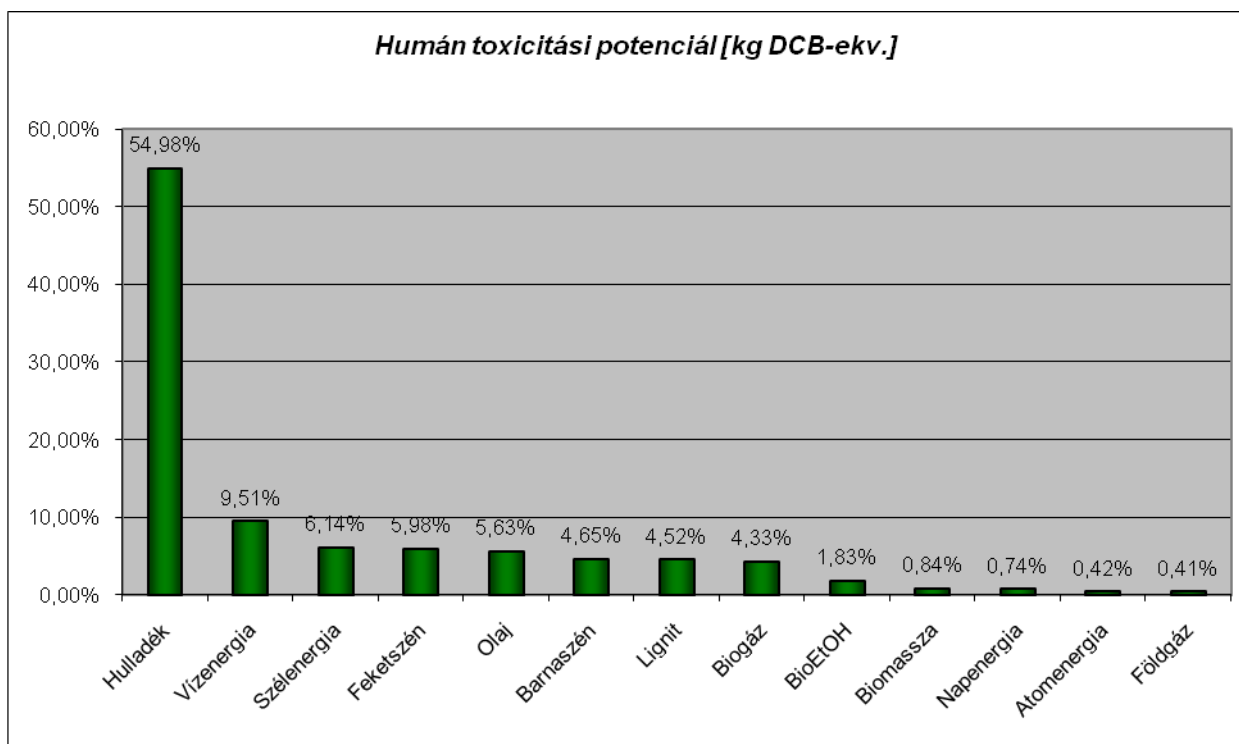
A **Humán Toxicitási Potenciál (HTP)** (helyi hatáskategória) esetében az atomenergia a magyar energiamixben tapasztalható jelentősége ellenére a HTP-ben értékelhető hatása teljesen eltűnik. Ennek egyik fő oka az, hogy ennek a mutatónak az alakulása a bányászattal köthető össze, és hogy az arányok itt egyenlők, az atomenergia HTP-je eltörlődik a többiekéhez képest.

Az első helyre a hulladékégetés kerül, több mint 50%-os részesedéssel, ami igen nagy érték. Fő okozója a hulladék égetése során a légkörbe jutó nehézfémek, amelyek mennyiségét a hulladék-összetétel határozza meg. Hasonló hatásuk van még a hidrogén-halogenideknek, a HF-nak és HCl-nak, ugyanakkor fontos megemlíteni a dioxinokat, amelyek 12%-ban felelősek a HTP értékének kialakításáért.

Alias	Flow	Quantity	Amount	Unit	Tr.
	Oil (unspecified) [Hydrocarbons to fresh water]	Mass	6,4416E-009	kg	
	Organic chlorine compounds [Organic emissions]	Mass	1,1937E-010	kg	
	Organic chlorine compounds (unspecified) [Org]	Mass	1,1937E-010	kg	
	Overburden [Stockpile goods]	Mass	0,00081709	kg	*
	Pentane (n-pentane) [Group NMVOC to air]	Mass	1,12E-006	kg	
	Phenol (hydroxy benzene) [Hydrocarbons to fr]	Mass	1,3277E-009	kg	
	Phosphate [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	8,6848E-010	kg	
	Plutonium (Pu alpha) [Radioactive emissions to	Activity	1,5929E-005	Bq	
	Plutonium (Pu alpha) [Radioactive emissions to	Activity	2,2862E-007	Bq	
	Plutonium as residual product [Radioactive was	Mass	6,2668E-013	kg	*
	Polychlorinated dibenzo-p-dioxins (2,3,7,8 - TC	Mass	5,4336E-012	kg	
	Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) [Group	Mass	3,3391E-009	kg	
	Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH, unspec	Mass	9,1068E-010	kg	
	Potassium [Inorganic emissions to fresh water]	Mass	2,9191E-009	kg	
	Power (from waste combustion) [Electric power	Energy (net ca		MJ	X
	Propane [Group NMVOC to air]	Mass	3,2613E-007	kg	
	Propene (propylene) [Group NMVOC to air]	Mass	1,6E-007	kg	
	Propionic acid (propane acid) [Group NMVOC to	Mass	4,0451E-013	kg	
	R 11 (trichlorofluoromethane) [Halogenated ori	Mass	3,2755E-013	kg	
	R 114 (dichlorotetrafluoroethane) [Halogenate	Mass	3,3544E-013	kg	
	R 12 (dichlorodifluoromethane) [Halogenated o	Mass	7,0423E-014	kg	
	R 13 (chlorotrifluoromethane) [Halogenated ori	Mass	4,4219E-014	kg	
	R 22 (chlorodifluoromethane) [Halogenated org	Mass	7,6974E-014	kg	
	Radioactive tailings [Radioactive waste]	Mass	2,2356E-007	kg	*
	Radium (Ra226) [Radioactive emissions to fres	Activity	0,090319	Bq	

154. ábra A hulladékégetés dioxin kibocsátása

A többi technológia esetében is hasonló légköri emissziók okozzák az emberi mérgezőséget, többek között a nehézfém emissziók tehetők ezért felelőssé.

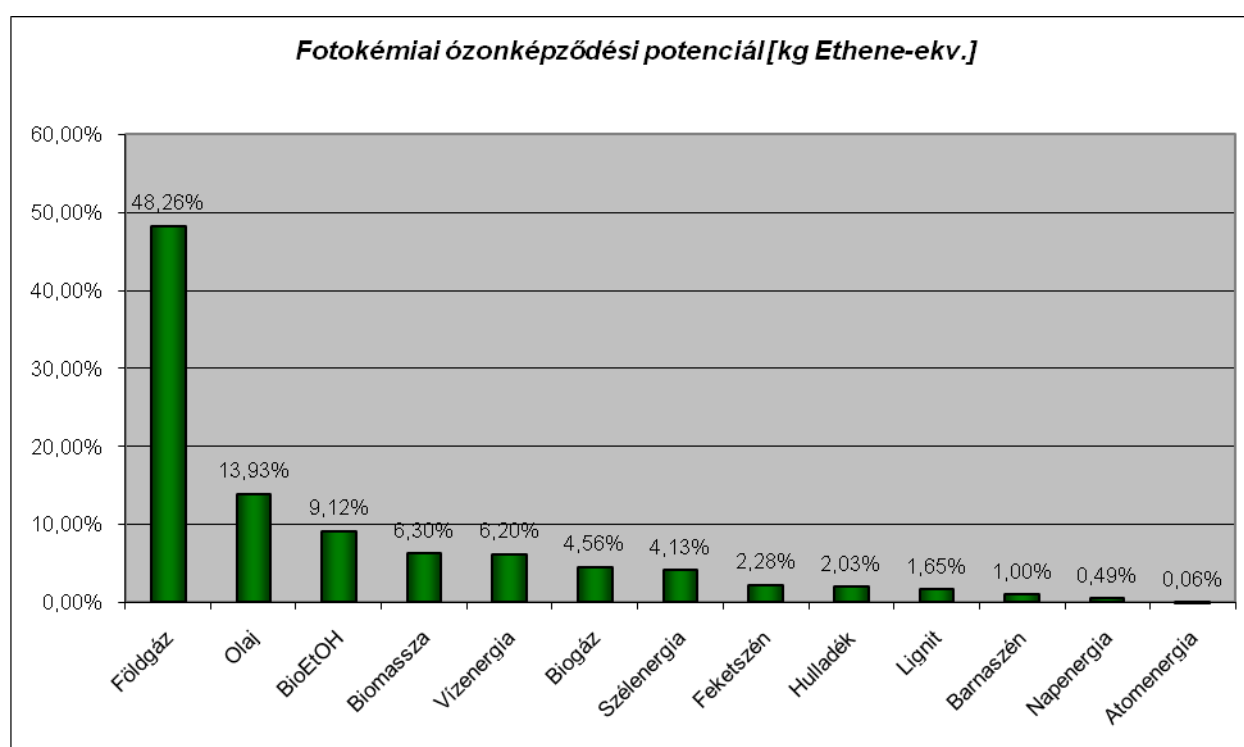


155. ábra A humán mérgezőségi potenciál megoszlása a különböző technológiák között

A **Fotokémiai Ózonképződés Potenciál (POCP)** esetében a gáztüzelés ismét megjelenik, méghozzá igen nagymértékben. Ezen kívül az olaj és a bioalkohol használatánál is megfigyelhető ennek az indikátornak a növekedése.

Ide olyan vegyületek tartoznak, mint amilyen az etán, ami a gáztüzelésű erőmű modelljében a POCP értékének képzésében 26%-os súllyal vesz részt, vagy a propán ami további 25%-ot tesz hozzá (156. ábra). Ez a két vegyület szinte 100%-ban a földgáztermelés során szabadul fel, és kerül a légkörbe. Szervetlen vegyületeknek is van hasonló hatása, bár nem annyira jelentős, mint a szénhidrogéneké, de a CO, NO_x és SO₂ is hozzájárul az alacsony légköri ózonképződéshez.

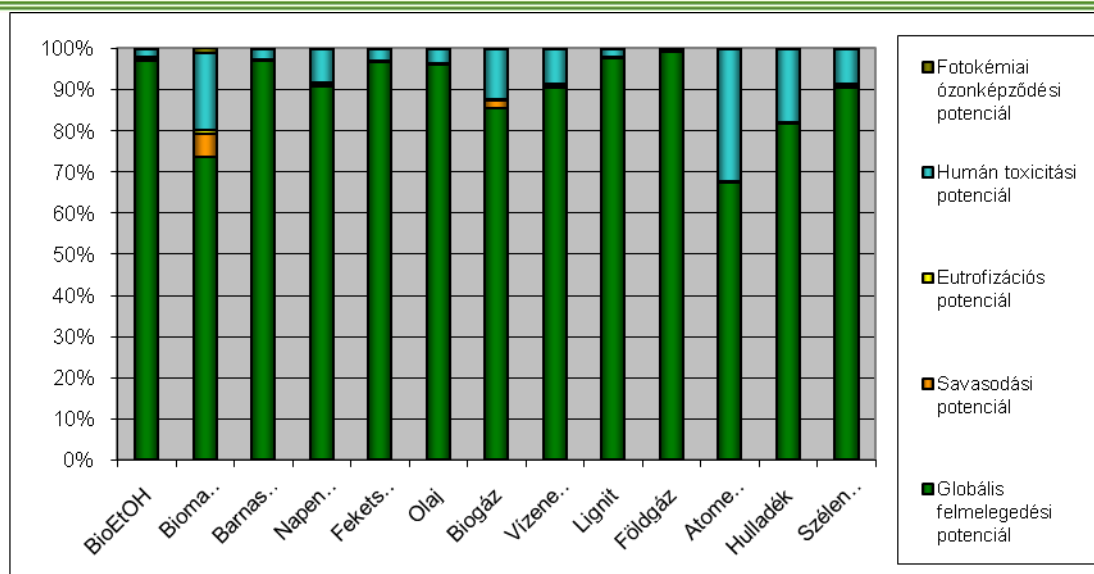
Az olajtüzeléskor is kell számítani nagyobb mennyiségű illékony szerves anyagok légkörbe jutására, ez ennél a technológiánál a POCP 85%-áért felelős.



156. ábra Troposzférikus ózonképző potenciál megoszlása

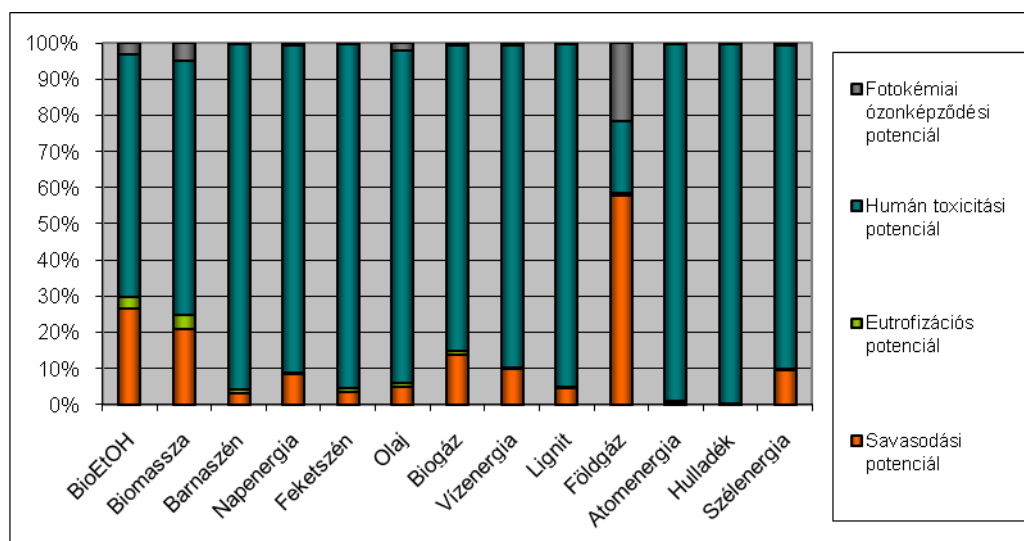
6.15 Indikátorok szerinti rendezés

A kapott értékeket rendezhetjük az indikátorok szerint is. Ekkor egy új megvilágításban vizsgálhatjuk tovább a rendszerünket. A 158. ábrán jól látszik, hogy a Globális felmelegedési potenciál indikátora a legmagasabb minden technológia esetében (mivel ez légköri emissziók függvénye). Ezek közül is a fosszilis alapú technológiák állnak az első helyen.



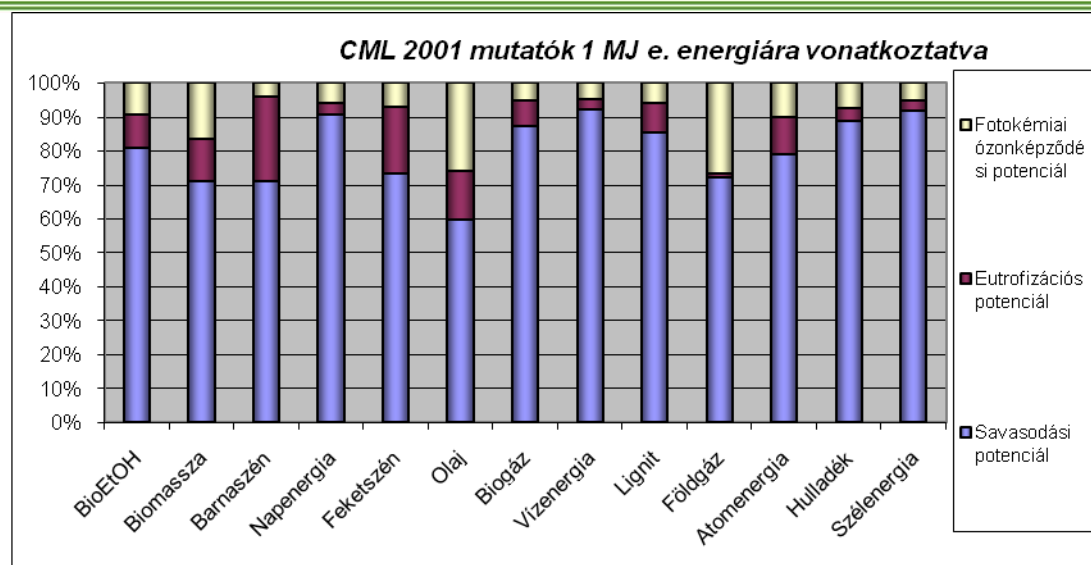
157. ábra Indikátorok szerinti rendezés / I.

Ezt az indikátor eltávolítva újabb domináns hatást láthatunk meg. Ez a humán toxicitás. Első helyen a hulladéktüzelés áll, a már említett nehézfém és dioxin származékok kibocsátása miatt. Ebben a hatáskategóriában a földgáz teljesít messzemenően a legjobban. Mivel ez helyi hatásnak fogható fel, leginkább a termelő egység közelében található emberi egészséget károsítja. Az atomenergia esetében már felderítettük, hogy ez a hatás a bányászatból származik, és ez többnyire a többi, fosszilis technológiára is igaz.



158. ábra Indikátorok szerinti rendezés / II.

A Humán toxicitási potenciált is leválasztva előtűnik a savasodás, mint a következő jelentős hatás. Ez regionális hatás, nagyobb területekre hat, az erőművekből, vagy az üzemanyag-előkészítésből (pl.: atomenergia) származó légköri emissziók okozzák.



159. ábra Indikátorok szerinti rendezés / III.

6.16 Az eredmények értelmezése

A gyenge pontokat áttekintve a következő megállapításokat tehetjük:

- A földgáz energetikai célú felhasználásának gyenge pontja a nyersanyag kitermelése, környezetterhelésének nagy része ebből a folyamatból származik.
- A vízenergia bár „emissziómentes”, a létesítmény építéséhez használt anyagok gyártása energiaigényes, a savasodási potenciálban hatása jelentős, és a többi hatáskategóriában is megjelenik.
- Egyéb fosszilis tüzelőanyagot felhasználó technológiák minden hatáskategóriában megjelennek, bár egyes helyeken nem olyan mértékben, mint a földgáz technológia. Emissziói főként az energiatermelésből származnak, az üzemanyag előállításának kisebb környezeti hatása van, mint a földgázénak.
- A hulladékégetés, mint energiatermelés nem preferálandó magas emberi mérgezőségi potenciálja miatt, ugyanakkor a globális felmelegedési potenciálja azonos mértékű a földgázéval.
- A szélenergia minden hatáskategóriában megjelenik, a létesítmények építésének hatásaként, bár az elemzésben a fosszilis erőművek építése nincs a rendszerhatárokon belül.
- Az atomenergia egyik hatáskategóriában sem jelenik meg, mint környezetterhelő technológia.
- A napenergia környezeti teljesítménye nagyon jó, egyik hatáskategóriában sem jelenik meg értékelhető mértékben, hasonlóan az atomenergiához.
- A biomassza a szilárd fosszilis tüzelőanyagokhoz hasonló mértékben jelenik meg a savasodási potenciálnál, az eutrofizációs potenciálban, és a fotokémiai ózonképző

potenciálban, környezeti teljesítménye a globális felmelegedési potenciálban és a humán toxicitási potenciálban igen jó.

- A bioetanol savasodási potenciálja, eutrofizációs potenciálja, globális felmelegedési potenciálja és fotokémiai ózonképző potenciálja magas a megújulókhöz képest, a biogázhoz hasonlóan. Főbb emissziói a mezőgazdasági művelésből származnak.

Egyértelműen az atomenergia teljesített a legjobban, a napenergiával együtt, preferálandó energiatermelési módszer még a szélerenergia, valamint a földgáz, amennyiben a kitermelés környezeti teljesítményén javítani lehet.

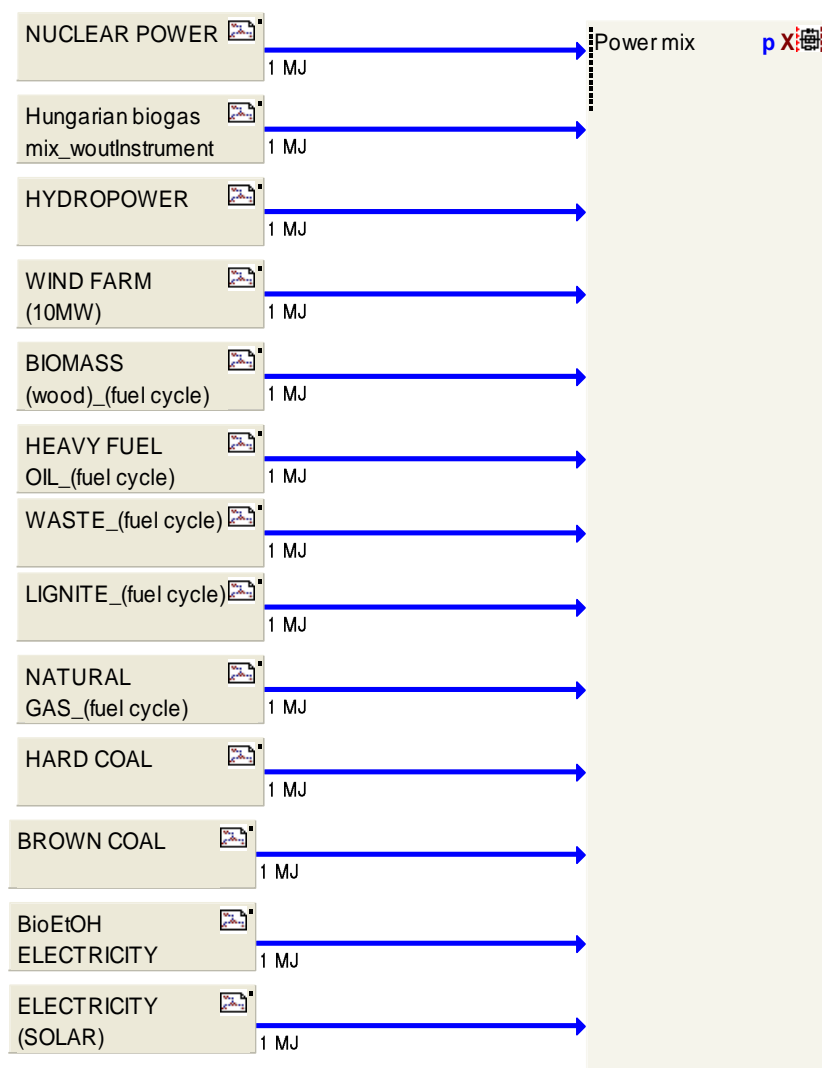
Összehasonlító analízis a magyar energiamix alapján (a vizsgálat összefoglalása)

A tanulmányrész a különböző energiatermelési alternatívák összehasonlítását tartalmazza, a gyengepont analízisben bemutatott magyar energiamixből kiindulva. A mix egy parametrizált folyamat, ahol be lehet állítani minden termelő egység részarányát a teljes termelésben. Az összehasonlításnál a funkcionális egységnek (jelen esetben 1 MJ elektromos áram) azonos szinten kell lennie, így a paraméterek alapján minden egység azonos funkcionális egységet állít elő.

További követelmény, hogy a rendszerhatárok átfedésben legyenek. Az áramtermeléskor gyakran alkalmazzák a kapcsolt hőtermelést is, ami növeli az erőmű hatásfokát. Ez akkor gazdaságos, ha van a közelben felvásárló. Az elemzés kizárólag az elektromos áramra vonatkozik, ezért a hőhasznosítás kimarad az elemzésből.

POWER MIX_II

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



160. ábra az energiamix modellje

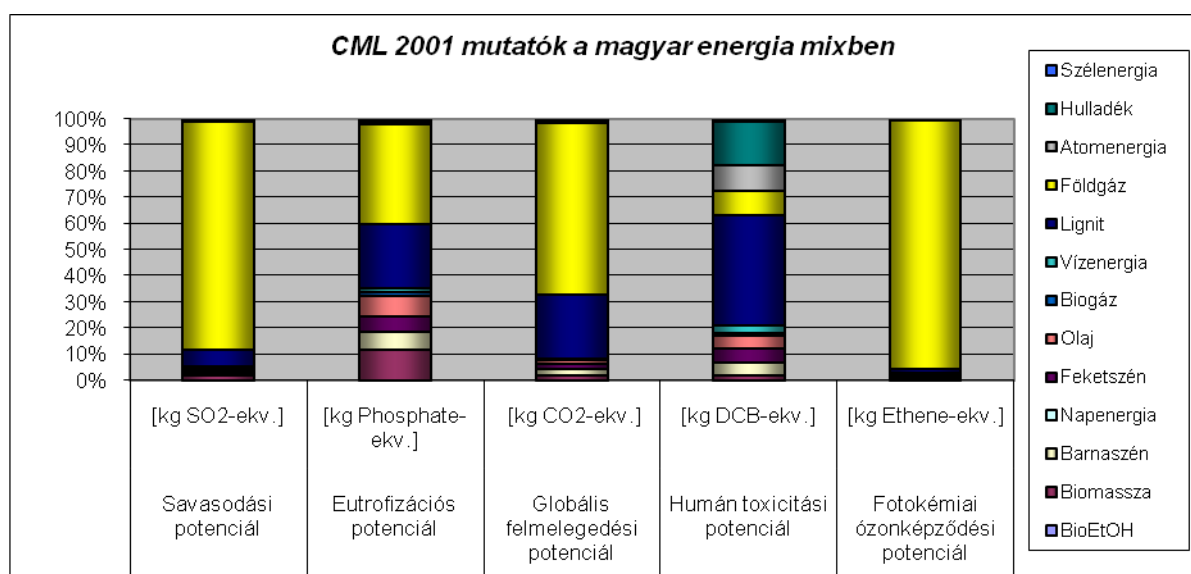
6.17 Az elemzés célja

Az elsődleges cél a gyengepont vizsgálat alapján a technológiák összehasonlítása környezeti teljesítményük alapján.

6.18 Az elemzések eredményei

A 162. ábra az előbb vázolt rendszer kiértékelését mutatja, amihez a CML 2001-es módszer következő mutatóit használtuk:

- Savasodási potenciál (kg SO₂-ekv.), azaz mennyire járul hozzá a környezet pH-jának változásához az adott rendszer. Az értékek kén-dioxidra normáltak, mivel ez a vegyület legismertebb hatású a környezet savasodását illetően.
- Eutrofizációs potenciál (kg foszfát-ekv.), azaz a környezet tápanyagfeldúlásának jellemzése foszfátra vonatkoztatva, mivel ez a vegyület erről a hatásáról a legismertebb.
- Globális felmelegedési potenciál (kg CO₂-ekv.), azaz a hozzájárulás a globális felmelegedés hatásához szén-dioxidra vetítve. Ez az érték megadja a „carbon footprint”-et, mivel minden üvegházhatású gáz CO₂ egyenértékre konvertál.
- Humán toxicitási potenciál (kg DCB-ekv.), azaz az emberre gyakorolt mérgezőség, ami a dikloro-benzolra van normálva.
- Fotokémiai ózontképzési potenciál (kg etilén-ekv.), azaz a folyamat alacsony légköri ózon képződésének elősegítésében játszott szerepe az etilénre normálva.



161. ábra A magyar energiamix szerinti megoszlás környezeti mutatói (CML 2001)

A savasodási potenciálban (AP) nagy szerepet játszik a földgáztüzelés, ez érthető, hiszen az energiaellátás 35%-át ez fedezi. Itt megjelenik még a lignit hatása is, amely a 15%-ért felelős.

A tápanyag-feldúsulás (EP) esetében a lignittüzelés is megjelenik, majdnem akkora mértékben, mint a 35%-os gáztüzelésnél ez tapasztalható, annak ellenére, hogy részaránya az energiamixben csak a fele, 15% körüli. Itt láthatóvá válik másik kettő fosszilis tüzelőanyagot használó technológia hatása is, az olaj, és a feketeszén és a barnaszén is, pedig ezek részaránya csupán 1-2%. Mellettük a biomassa (tűzifa) tüzelés is értékelhető hatással bír a maga 3,7%-os részesedésével az energiamixben.

A globális felmelegedési potenciálban (GWP) látható eloszlásban továbbra is a földgáz foglalja el a legnagyobb helyet, ami lehet az energiaszolgáltatásban betöltött fontos szerepének hatása is. Ezt a lignit követi, majd a többi „fosszilis technológia”.

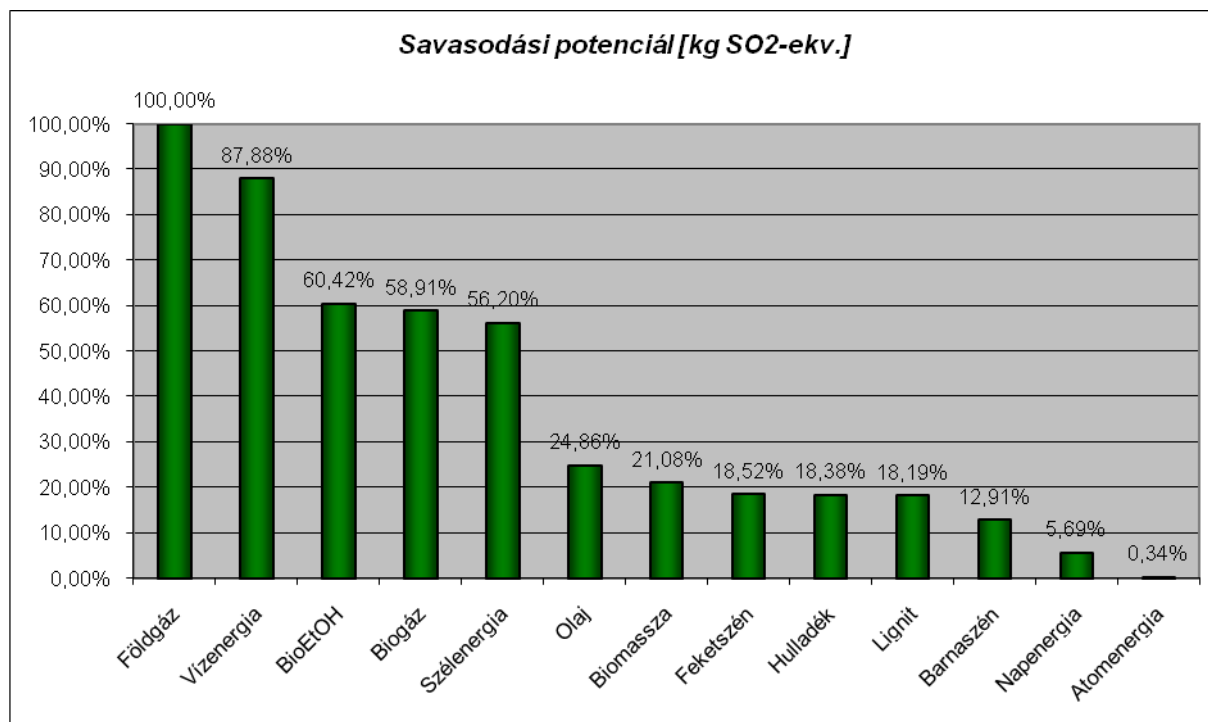
A humán mérgezőségi potenciál (HTP) kialakításában már több energiatermelési módszer is megjelenik. Legnagyobb arányban a lignit van jelen, amit a hulladékégetés követ. A gáz jelentősége itt már csökken, a nukleáris energiáéval szinte azonos mértékű, ami az energiatermelésben betöltött szerepüknek (közel 35-35 %) megfelelő, bár az atomenergia eddig egyik mutatóban sem volt értékelhetően kimutatható.

A fotokémiai ózonképződési potenciálban (POCP) szinte 100 %-ban a földgáztüzelés játszik szerepet. Mindebből kitűnik, hogy a lignit és a földgáztüzelés részarányának további emelése a magyar energiatermelésben a környezeti teljesítmény szempontjából nem volna előnyös. Az atomenergia csak a HTP-ben jelenik meg kimutathatóan, ezért ennek a technológiának a legjobbba környezetterhelése a vizsgált magyar energiamixben.

A következő fejezetekben a CML 2001-es kiértékelés segítségével, indikátorok szerint bontva összehasonlítjuk azokat a termelési módszereket, amelyek a magyar energiamixben jelenleg szerepelnek, valamint a közeljövőben szerepet kapnak. .

6.18.1 Savasodás potenciál (AP)

A savasodásban szerepet játszó vegyületek kibocsátásában a földgáztüzelés áll az első helyen. Ezt vettük 100 %-nak, és ehhez viszonyítottuk a többi technológia eredményeit.



162. ábra Savasodási potenciálok összevetése az energiamixben

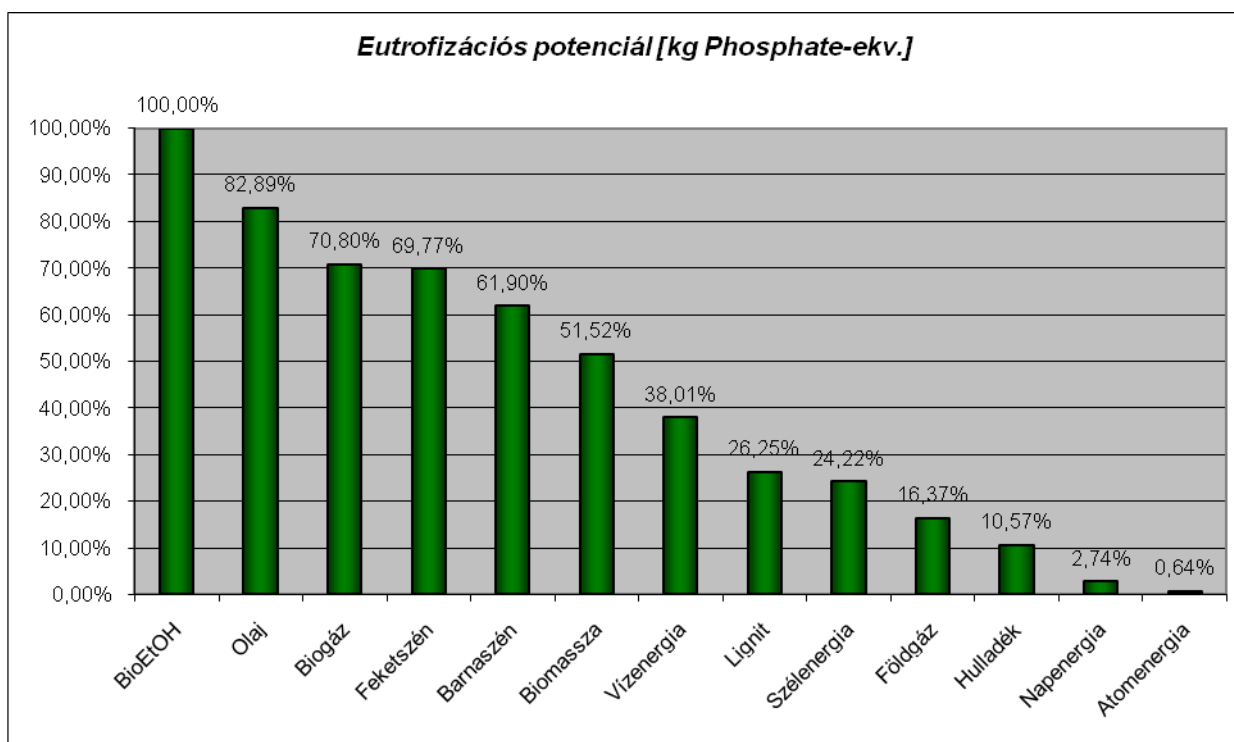
Az 50% fölötti elemek közül a víz- és szélenergia esetében az építéshez használt cement okozza a kiemelkedő terhelést. A bioetanol felhasználásának AP-je nagy részben az ammónia kibocsátásból ered, ami erősen megváltoztatja a környezet pH-ját. Ennek az emisszióknak fő forrása a kukoricatermesztés, és a termesztés során felhasznált nitrogén műtrágya gyártása.

A biogáz esetében a gázmotorok nitrogén-oxid kibocsátása okozza a magas savasodási potenciált.

Az egyéb fosszilizsek használatánál látható, hogy az alacsonyabb tüzelési hőmérséklet miatt a (NO_x csökken), alacsonyabb a savasodási potenciál is a földgázhoz viszonyítva.

6.18.2 Eutrofizációs potenciál (EP)

Az eutrofizációs potenciált a környezetben tápanyagként viselkedő vegyületek kibocsátása okozza. A bioetanolnál a kukoricatermesztésből származó ammóniának van ilyen hatása, hasonlóan a biogázhoz, ahol szintén szerepel a modellben a kukoricatermesztés. A többi erőműtípusnál a keletkező szennyvíz kémiai oxigénigényével magyarázható ez a jelenség.

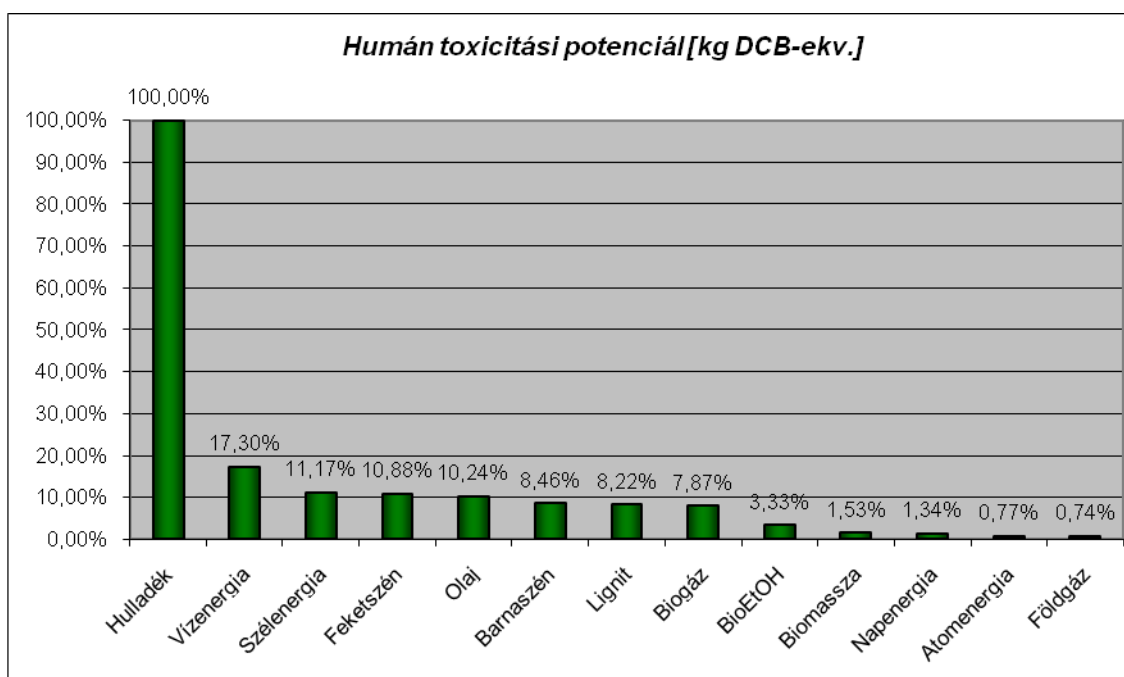


163. ábra Eutrofizációs potenciálok összevetése az energiamixben

6.18.3 Humán toxicitási potenciál (HTP)

A toxicitás kialakulásában elsőként a nehézfémek légköri emissziójának van szerepe. A hulladékégetés során a hulladék nehézfém tartalma jut ki ilyenkor a légkörbe. Mértéke azért itt a legmagasabb, mivel ennek a tüzelőanyagoknak van a legnagyobb nehézfém-tartalma. További emissziós tényező a dioxinok kibocsátása, amely a hulladékégetés esetében szintén jelentős lehet.

A víz- és szélenergia esetében erre a paraméterre hatással lévő szennyező anyagok a cementgyártás során kerülnek a levegőbe, a fosszilizseknél pedig a tüzelőanyag összetétele határozza meg ezt.

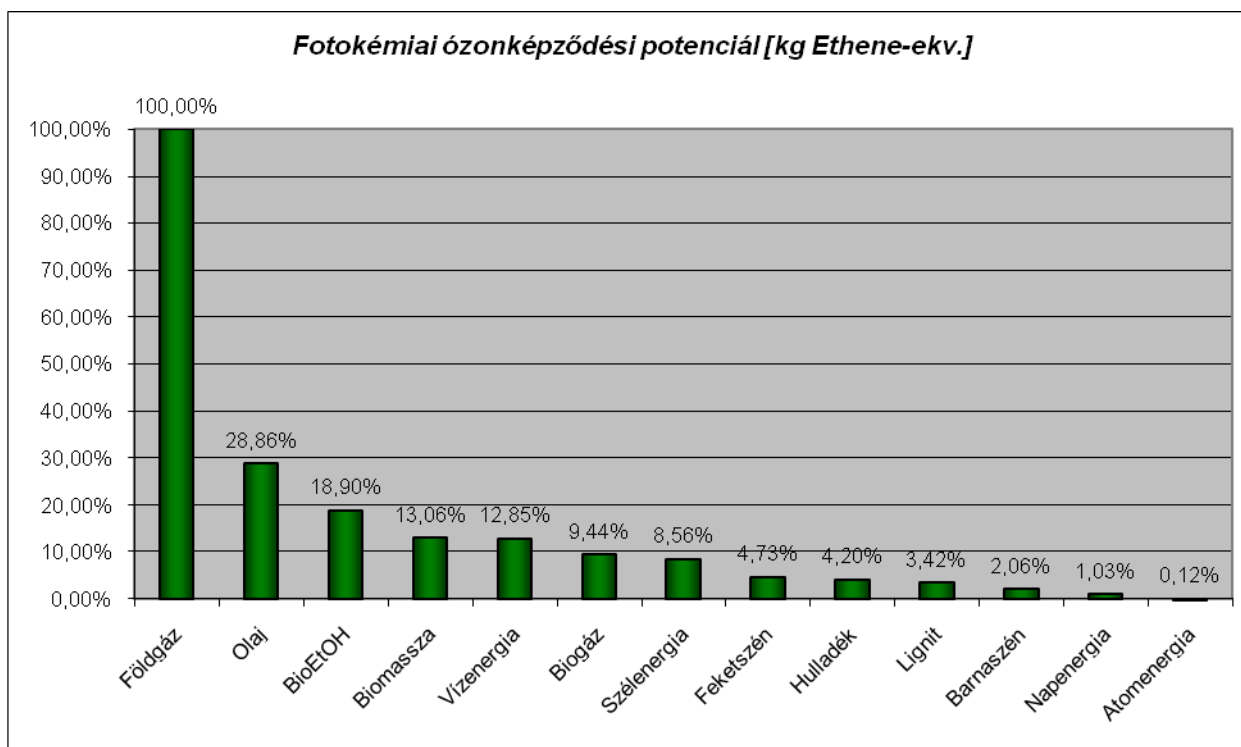


164. ábra humán toxicitás potenciálok összevetése az energiamixben

6.18.4 Fotokémiai ózontképződési potenciál (POCP)

A szénhidrogének légkörbe jutása elősegíti a földfelszín közeli ózon képződését. Az ózon egy olyan fotokémiai reakció során keletkezik, ahol a szénhidrogéneknek és nitrogén-oxidoknak is nagy szerep jut, így érthető, hogy a földgáz használatának magas a POCP szintje.

A többi esetben mind a szénhidrogén, mind a NO_x emisszió csökken, így hatásuk a troposzférikus ózon kialakulására kisebb mértékű.



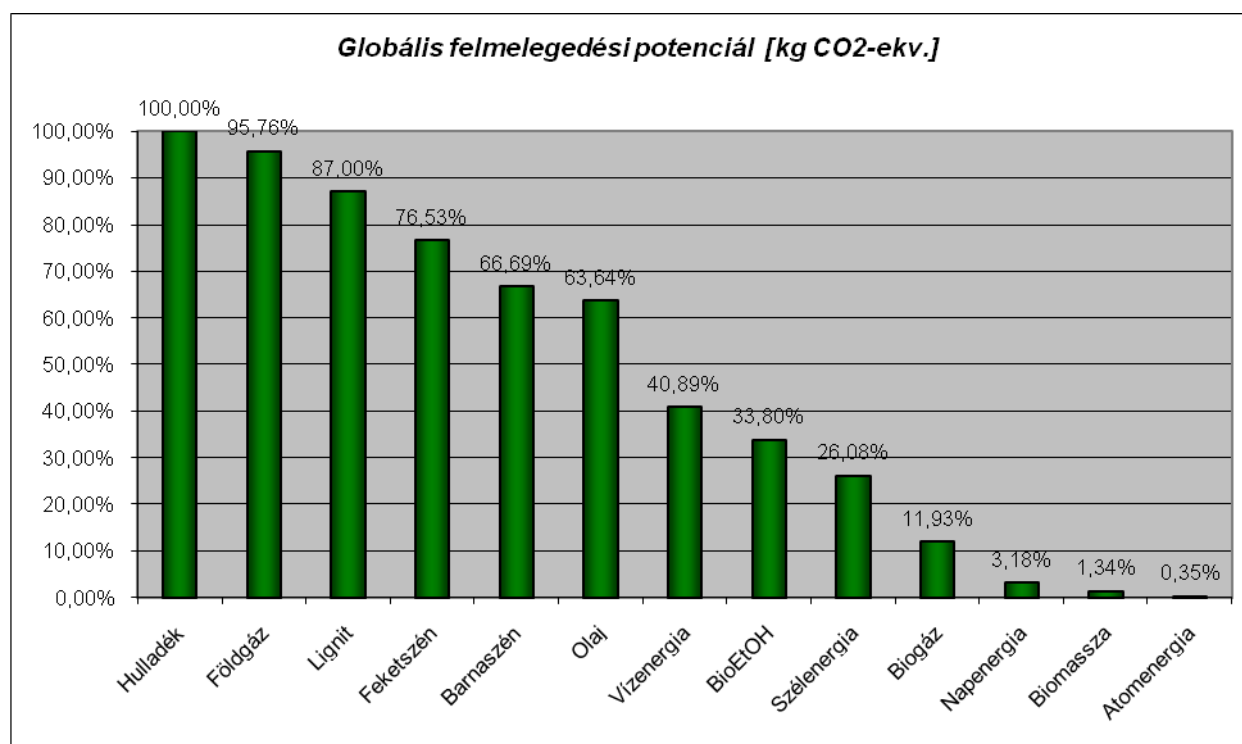
165. ábra „nyári szmog” potenciálok összevetése az energiamixben

6.18.5 Globális felmelegedés (GWP)

A globális felmelegedésben legismertebb okozója a szén-dioxid. Tulajdonképpen minden ilyen hatással rendelkező vegyület kvantitatív konvertálható ebbe a vegyületbe. A CML 2001-es indikátor csoport GWP-je ezt teszi. A legerősebb hatása a hulladékégetésnek van, amit a földgáz követ. A földgáz használata nem a CO₂ kibocsátás miatt szerepel a 2. helyen, hanem a bányászat közben légkörbe jutó metán miatt, amelynek a CO₂-hoz képest 23-25-szörös GWP hatása van.

A szél- és vízenergia közötti különbség a felhasznált cement mennyiségéből adódik, tehát azonos mennyiségű energia megtermeléséhez a kettő közül a szélenergia ajánlott, ha a GWP a döntéshozás alapja.

Az atomenergia itt is az előkelő utolsó helyet foglalja el, környezeti teljesítménye ebből a szempontból is a legjobb.



166. ábra üvegház potenciálok összevetése az energiamixben

6.18.6 Interpretáció

Eddig megismerhettük az okokat, amelyek az egyes energiahordozóknál meghatározzák az EI '99 paraméterek értékeit. A következő ábra segít összegezni, és összehasonlítani az eddig megismert környezetterhelési adatokat.

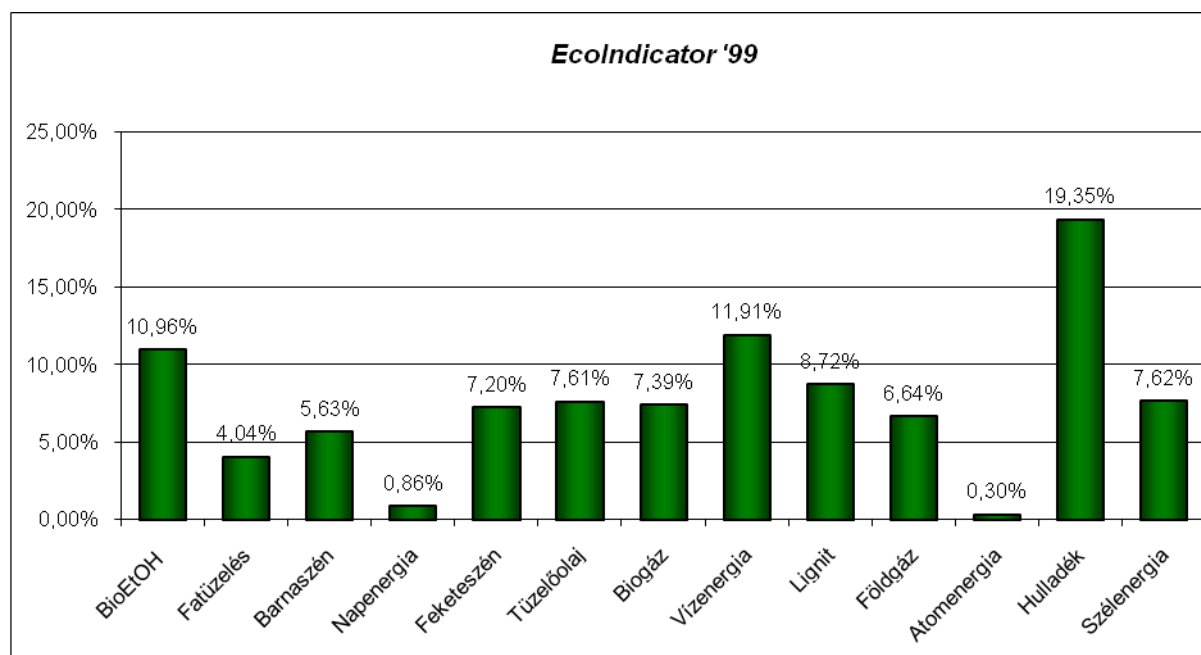
A vizsgált energiatermelési módszerek közül a **hulladékégetés** számít a leginkább környezetterhelő eljárásnak. Mivel az alkalmazott hierarchista megközelítés az EcoIndicaton belül figyelembe veszi a karcinogén hatásokat (a hulladékégetés a többinél magasabb nehézfém és dioxin kibocsátása ebbe a kategóriába tartozik), az indikátorérték magasabb lesz.

A **fosszilis tüzelőanyagot** használó technológiák közel azonos szinten vannak, kisebb eltérések az üzemanyag előállításának módjai miatt lehetnek. A legjobb értéket ebben a kategóriában a földgáztüzelés érte el. További elemzésekben természetesen figyelembe lehet venni a termelt hőenergiát, ami sokat javíthat egyes technológiák megítélésében. (Ez a megújulóknál túlnyomó részénél nem lehetséges, mivel azok nem tüzeléstechnikai megoldáson alapulnak.)

A **fatüzelés** (biomassza) az égetéses technológiák között a legjobb, de itt meg kell jegyezni, hogy ehhez megfelelően működő erdőgazdálkodási rendszer is szükséges, ami mindig fenntarthatóan biztosítani tudja a tüzelőanyagot.

Érdekes a **vízenergia** helyzete, amelynek a hulladékégetés után a legrosszabb a teljesítménye. Ezt a nagytömegű építőanyag-felhasználás okozza, és ekkor még nem számoltunk a különböző gáttípusoknál fellépő problémákkal, mint a gát mentén a hordalék rothadásából származó kibocsátások, vagy az ökoszisztéma károsodása.

A **bioalkohol** tüzelésnek a földgázéval azonos szintű terhelése van, ami főleg a mezőgazdaság környezeti hatásaiból adódik, a hagyományos tüzelési technológia helyett üzemanyagcella használata még javíthat a helyezésén.



167. ábra Az egyes technológiák EI '99 értékei

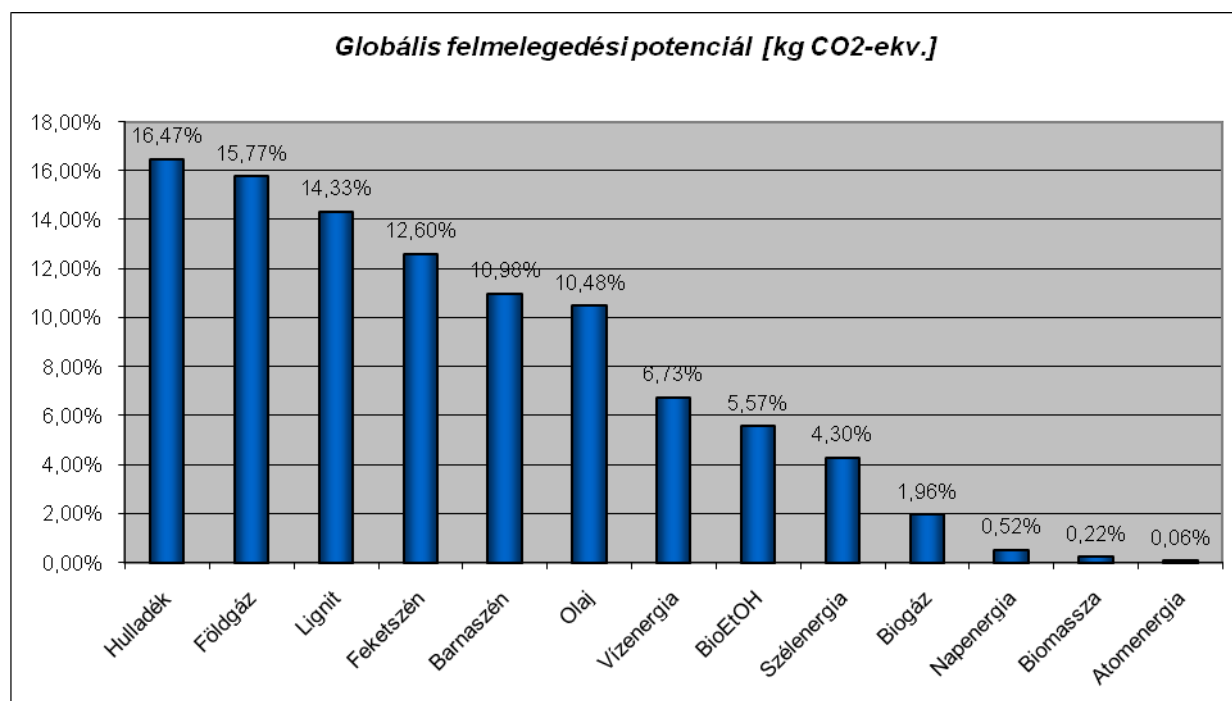
A **szélenergia** a bioalkohollal azonos szinten van, de munkaigénye kisebb, nem kell évente a mezőgazdasági alapanyagot megtermelni. A megújulók közül a **napenergia** teljesített a legjobban, a többinél egy nagyságrenddel kisebb környezetterheléssel.

A legjobb teljesítményt az **atomenergia** nyújtotta, a többinél sokkal jobb mutatókkal. Az atomenergia jó teljesítményének oka a közvetlen energiatermelés alacsony, vagy zérus „hagyományos” káros anyag kibocsátása.

Összegezve az **üvegházhatású gáz kibocsátást**, szembevetve az atomenergia alacsony értéke, ezt a biomassza tüzelés (fatüzelés) és a napenergia hasznosítása követi. Jól teljesít a többi megújuló energia kategóriába tartozó technológia is, a szél- és vízenergia, valamint a bioetanol és a biogáz.

A fosszilisok közül a földgáznak igen magas kibocsátási értékei vannak, a kitermeléskor bekövetkező veszteség miatt. A fosszilisok közül az olaj volt a legalacsonyabb kibocsátású technológia, míg a hulladékégetés zárja a sort a legmagasabb üvegház hatású gáz kibocsátással.

A modell nem tartalmazza a kapcsolt hőenergia-termelést, amivel egyes erőművek hatékonysága az eredeti 30-35 %-ról akár 80-85 %-ra is feljavíthatók, és a megtermelt nem csak villamos energia függvényében környezeti teljesítményük is javulhat. Alapesetben a hulladék áll a negatív lista első helyén, majd a földgáz követi, ami inkább a földgázkitermeléskor jelentkező metánvesztés miatt található itt, és rendre következnek a fosszilisok, majd a megújulók, és a sort az atomenergia zárja, mint a vizsgált paraméter szempontjából a legkedvezőbb.



168. ábra Globális felmelegedési potenciál (összehasonlítás)

Ábrajegyzék

1. ábra Az elemzés mélységei	11
2. ábra Technológia lépések a gyártási folyamat környezeti terhelésének megállapítására	12
3. ábra A metodológia általános ábrázolása; az alsó sárga dobozok az eljárásokat, a felső színesek pedig a részeredményeket jelölik.....	15
4. ábra Osztályozás a CML módszerben	16
5. ábra Az 1. lépés	18
6. ábra Példa a rendszerhatár ábrázolására	20
7. ábra Az elemzés 2. lépése	21
8. ábra Az elemzés 3. lépése	24
9. ábra Erőművi termelés modellje (üzemanyagciklus - bányászattól a termelésig)	27
10. ábra Az atomerőművi termelés forgatókönyvei közötti különbségek.....	28
11. ábra A KKA hulladékkezelés	28
12. ábra Az atomerőmű felhagyásának modellje	29
13. ábra A bányászat modellje	30
14. ábra „yellow cake” gyártás modellje.....	30
15. ábra Uránkonverzió modellje	31
16. ábra A nedves konverzió	32
17. ábra Az üzemanyag-kazetta gyártása	33
18. ábra A paksi atomenergia-termelés modellje	33
19. ábra Atomenergia LCI.....	34
20. ábra egységes adattábla	35
21. ábra Az EI ‘99 három megközelítésénél kapott eredmények összehasonlítása az atomenergia esetében	36
22. ábra A hatáskategóriák súlyának megoszlása az EI ‘99 három megközelítésének esetében	36
1. Táblázat Az atomenergia részfolyamatainak EI ‘99 értékei	37
23. ábra EI’99 megoszlása az 1. forgatókönyv szerint-atomenergia.....	37
24. ábra Az EI ‘99 megoszlása az alrendszerek között (atomenergia).....	38
25. ábra Az EI ‘99 értékét jelentősen befolyásoló emissziók /atomenergia/ (98 %-ban légköri; Nehézf. = nehézfém, radioa. em. lev. = radioaktív emisszió levegőbe /90 %-ban C ¹⁴).....	38
2. Táblázat CML 2001-es mutatók (atomenergia)	39
26. ábra Az atomerőművi villamosenergia-termelés CML diagramja	39
27. ábra Az atomerőművi villamos energia-termelés GWP diagramja.....	40

28. ábra Az atomerőművi termelés forgatókönyvei közötti különbségek.....	41
29. ábra A KKA hulladék kezelésének modellje	41
30. ábra A felhagyás modellje.....	42
31. ábra A második forgatókönyv leltáranalízise 1	43
32. ábra A második forgatókönyv leltáranalízise 2	44
33. ábra A második forgatókönyv leltáranalízise 3	45
34. ábra Emissziók arány az EI ‘99 módszerben	46
35. ábra A hulladékkezelés integrálása a rendszerhatárba	46
36. ábra Savasodási potenciál a 2. forgatókönyvben	47
37. ábra Eutrofizációs potenciál a 2. forgatókönyvben	48
38. ábra Humán toxicitási potenciál a 2. forgatókönyvben.....	49
39. ábra „nyári szmog” a 2. forgatókönyvben.....	50
40. ábra Üvegház potenciál a 2. forgatókönyvben	50
41. ábra Az építés-felhagyás integrálása a rendszerhatárba	51
42. ábra Savasodási potenciál a 3. forgatókönyvben	52
43. ábra Eutrofizációs potenciál a 3. forgatókönyvben	53
44. ábra Humán toxicitási potenciál a 3. forgatókönyvben.....	54
45. ábra Ózonképződési potenciál a 3. forgatókönyvben.....	55
46. ábra Üvegház potenciál a 3. forgatókönyvben	56
47. ábra A rendszerhatárok vizsgálati eredményeinek összevetése az atomenergia esetében .	57
48. ábra Lignites energiatermelés rendszerhatárai	61
49. ábra Egységes adattábla	61
50. ábra A lignites erőmű leltár-táblája	62
51. ábra A lignites energiatermelés környezeti indikátorainak (CML 2001 & EI ‘99) értékei	63
52. ábra Az EI ‘99 megoszlása az alrendszerek között (lignit)	64
53. ábra Az EI ‘99 értékét jelentősen befolyásoló emissziók /lignit/.....	64
54. ábra A termelési mód CML diagramjai	65
55. ábra Globális felmelegedési potenciál (lignit)	66
56. ábra Barnaszemes energiatermelés rendszerhatárai	67
57. ábra A barnaszemes erőmű leltár-táblája	68
58. ábra Egységes adattábla	69
59. ábra A barnaszemes energiatermelés környezeti indikátorainak (CML 2001 & EI ‘99) értékei.....	70
60. ábra Az EI ‘99 megoszlása az alrendszerek között (barnaszén)	71

61. ábra Az EI ‘99 értékét jelentősen befolyásoló emissziók /barnaszén/	71
62. ábra A barnaszénes erőmű CML ábrái	72
63. ábra Globális felmelegedési potenciál (barnaszén)	73
64. ábra A feketeszénes energiatermelés rendszerhatárai	74
65. ábra A feketeszénes erőmű leltár-táblája.....	75
66. ábra egységes adattábla	76
67. ábra A feketeszénes energiatermelés környezeti indikátorainak (CML 2001 & EI ‘99) értékei	77
68. ábra Az EI ‘99 megoszlása az alrendszerek között (feketeszen)	77
69. ábra Az EI ‘99 értékét jelentősen befolyásoló emissziók /feketeszen/	78
70. ábra A feketeszénes erőmű CML eredményei	79
71. ábra Globális felmelegedési potenciál (feketeszen)	80
72. ábra A földgáztüzelés rendszerhatárai.....	81
73. ábra Földgázkitermelés és szállítás	81
74. ábra A földgáztüzelés leltár-táblája	82
75. ábra egységes adattábla	83
76. ábra A földgáztüzeléses technológia környezeti indikátorainak (CML 2001 & EI ‘99) értékei	84
77. ábra Az EI ‘99 megoszlása az alrendszerek között (földgáz)	85
78. ábra Az EI ‘99 értékét jelentősen befolyásoló emissziók /földgáz/	85
79. ábra A földgáztüzelés CML táblái	86
80. ábra Globális felmelegedési potenciál (földgáz)	87
81. ábra Az olajtüzeléses technológia rendszerhatárai	88
82. ábra Az olajtüzelés leltár-táblája	89
83. ábra egységes adattábla	90
84. ábra Az olajtüzeléses technológia környezeti indikátorainak (CML 2001 & EI ‘99) értékei	91
85. ábra Az EI ‘99 megoszlása az alrendszerek között (olaj)	92
86. ábra Az EI ‘99 értékét jelentősen befolyásoló emissziók /olaj/	92
87. ábra Az olajtüzelés CML ábrái	93
88. ábra Globális felmelegedési potenciál (olaj)	94
89. ábra A hulladékégetés rendszerhatárai	95
90. ábra A hulladék hasznosítás leltár-táblája	96
91. ábra egységes adattábla	97
92. ábra A hulladékégetés környezeti indikátorainak (CML 2001 & EI ‘99) értékei	97

93. ábra Az EI ‘99 megoszlása az alrendszerek között (hulladék).....	98
94. ábra Az EI ‘99 értékét jelentősen befolyásoló emissziók /hulladék/	98
95. ábra A hulladék hasznosítás CML eredményei	99
96. ábra Globális felmelegedési potenciál (hulladék)	100
97. ábra A fatüzelés rendszerhatárai.....	101
98. ábra A fatüzelés (pellet) leltár-táblája	102
99. ábra egységes adattábla	103
100. ábra A fatüzelés környezeti indikátorainak (CML 2001 & EI ‘99) értékei.....	104
101. ábra Az EI ‘99 megoszlása az alrendszerek között (fatüzelés)	105
102. ábra Az EI ‘99 értékét jelentősen befolyásoló emissziók /fatüzelés/.....	105
103. ábra A fatüzelés CML ábrái.....	106
104. ábra Globális felmelegedési potenciál (fatüzelés).....	107
3. Táblázat Alapanyagokból előállítható metángáz mennyisége (elméleti).....	108
105. ábra A biogáz tüzelés rendszerhatárai	109
106. ábra Biohulladék fermentációja	110
107. ábra A biogáz alapú villamosenergia-termelés leltár-táblája	110
108. ábra egységes adattábla	111
109. ábra A biogáz tüzelés környezeti indikátorainak (CML 2001 & EI ‘99) értékei.....	112
110. ábra Az EI ‘99 megoszlása az alrendszerek között (biogáz).....	112
111. ábra Az EI ‘99 értékét jelentősen befolyásoló emissziók /biogáz/.....	113
112. ábra Globális felmelegedési potenciál (biogáz)	114
113. ábra A bioetanol fermentációjának rendszerhatárai	115
114. ábra A biogázos rendszer leltár-táblája	116
115. ábra egységes adattábla	117
116. ábra A bioetanol környezeti indikátorainak (CML 2001 & EI ‘99) értékei.....	117
117. ábra Az EI ‘99 megoszlása az alrendszerek között (bioetanol)	118
118. ábra Az EI ‘99 értékét jelentősen befolyásoló emissziók /bioetanol/	119
119. ábra a biogázos erőmű CML eredményei	120
120. ábra Globális felmelegedési potenciál (bioetanol).....	121
121. ábra A vízenergia rendszerhatárai	122
122. ábra a vízenergia leltár-táblája	123
123. ábra egységes adattábla	124
124. ábra A vízenergia környezeti indikátorainak (CML 2001 & EI ‘99) értékei.....	125
125. ábra Az EI ‘99 megoszlása az alrendszerek között (víz)	125

126. ábra Az EI ‘99 értékét jelentősen befolyásoló emissziók /vízenergia/.....	126
127. ábra Globális felmelegedési potenciál (víz).....	127
128. ábra A szélenergia rendszerhatárai.....	128
129. ábra A szélerőmű leltár-táblája.....	129
130. ábra egységes adattábla.....	130
131. ábra A vízenergia környezeti indikátorainak (CML 2001 & EI ‘99) értékei.....	130
132. ábra Az EI ‘99 megoszlása az alrendszerek között (szél).....	131
133. ábra Az EI ‘99 értékét jelentősen befolyásoló emissziók /szélenergia/.....	131
134. ábra Globális felmelegedési potenciál (szél).....	132
135. ábra A napenergia rendszerhatárai / I.....	133
136. ábra A napenergia rendszerhatárai / II.....	134
137. ábra A napenergia rendszerhatárai / III.....	134
138. ábra a napenergia hasznosításának leltár-táblája.....	135
139. ábra egységes adattábla.....	136
140. ábra A napenergia környezeti indikátorainak (CML 2001 & EI ‘99) értékei.....	136
141. ábra Az EI ‘99 megoszlása az alrendszerek között (nap).....	137
142. ábra Az EI ‘99 értékét jelentősen befolyásoló emissziók /napenergia/.....	137
4. Táblázat A különböző energiatermelési technológiák megoszlása a magyar energia mixben.....	139
144. ábra A magyar energiamix rendszermodellje.....	140
145. ábra A CML 2001-es mutatók megoszlása 1 MJ elektromos energia funkcionális egység esetén.....	141
146. ábra A földgáztüzelésű technológia főbb kibocsátásai.....	141
147. ábra A vízenergia-termelés főbb kibocsátásai.....	142
148. ábra A biogázos energiatermelés főbb kibocsátásai.....	143
149. ábra A savasodási potenciál értékek összehasonlítása.....	144
150. ábra A bioetanolos technológia főbb kibocsátásai.....	145
151. ábra A feketeszenes technológia főbb kibocsátásai.....	146
152. ábra A környezet tápanyag-feldúsulásában játszott szerepek súlyának megoszlása.....	147
153. ábra A hulladékégetés főbb emissziói.....	148
154. ábra A Globális felmelegedési potenciál összehasonlítása.....	149
155. ábra A hulladékégetés dioxin kibocsátása.....	150
156. ábra A humán mérgezőségi potenciál megoszlása a különböző technológiák között....	151
157. ábra Troposzférikus ózonképző potenciál megoszlása.....	152
158. ábra Indikátorok szerinti rendezés / I.....	153

159. ábra Indikátorok szerinti rendezés / II.	153
160. ábra Indikátorok szerinti rendezés / III.....	154
161. ábra az energiamix modellje	156
162. ábra A magyar energiamix szerinti megoszlás környezeti mutatói (CML 2001)	157
163. ábra Savasodási potenciálok összevetése az energiamixben.....	159
164. ábra Eutrofizációs potenciálok összevetése az energiamixben	160
165. ábra humán toxicitás potenciálok összevetése az energiamixben	161
166. ábra „nyári szmog” potenciálok összevetése az energiamixben	162
167. ábra üvegház potenciálok összevetése az energiamixben	163
168. ábra Az egyes technológiák EI ‘99 értékei.....	164
169. ábra Globális felmelegedési potenciál (összehasonlítás)	165