

**Körmendi Krisztina**  
[krisztina.kormendi@gmail.com](mailto:krisztina.kormendi@gmail.com)

**Solymosi József**  
[solymosi.jozsef@zmne.hu](mailto:solymosi.jozsef@zmne.hu)

## **AZ ENERGIAPOLITIKA MEGVÁLASZTÁSÁNAK KÖRNYEZETBIZTONSÁGI SZEMPONTJAI A VILLAMOSENERGIA TERMELÉS VONATKOZÁSÁBAN**

### *Absztrakt*

*A 21. századi modern társadalom egyre növekvő villamosenergia igényének kielégítése számos problémát vet fel, ezek egyike a termelés a környezetre gyakorolt hatása, mely globális klímaváltozáshoz vezethet, károsíthatja az épített környezetet, az élővilágot, az emberi egészséget. A fenntarthatósági szempontokat figyelembe vevő energiapolitikának ezen hatásokat, környezetbiztonsági szempontokat is figyelembe kell vennie és a kedvezőbb környezeti hatású termelési módokat kell támogatnia. A különböző energiahordozókon és technológiákon alapuló termelési módok környezeti hatásai között jelentős eltérések lehetnek. Egy, a környezeti hatások összehasonlítását lehetővé tevő módszer az ún. életciklus elemzés. Jelen közleményben a magyarországi villamosenergia termelésben alkalmazott módok összehasonlítását célzó vizsgálat eredményei közül mutatunk be néhányat egy 2009.-ben megjelent kutatási összefoglaló jelentés alapján. Majd röviden áttekintjük, hogy a magyar energiapolitika mennyire van összhangban a környezetbiztonsági szempontokkal, azaz mennyire támogatja a kedvezőbb környezeti hatású termelési módok alkalmazását.*

*To supply the growing electricity needs of the modern life of the 21th century raises several problems, one of them is the power generation's impact to the environment. This impact could lead to the global climate change, could harm the built environment, the nature and the human health. An energy policy that considers the aspects of sustainability, should consider these environmental impacts and should promote the power generation techniques which have the most advantageous environmental impacts. The different power generation methods based on different primary energy resources and technologies have different environmental impact. The environmental impact of different power generation methods can be compared applying the so called life cycle analysis method. In this article we present some of the results of a research which aim was to compare the environmental impacts of the power generation methods used in Hungary, according to a research summary report published in 2009. After that we outlines how these environmental security aspects appear in the Hungarian energy policy, whether it promotes the power generation methods which have the most advantageous environmental impacts.*

**Kulcsszavak:** villamosenergia-termelés, környezeti hatások, életciklus elemzés ~  
power generation, environmental impacts, life cycle analysis

## A VILLAMOSENERGIA TERMELÉS KÖRNYEZETI HATÁSAI

A 21. századi lét alapvető kelléke a villamosenergia. A modern gazdaság működése, a modern társadalom élete elképzelhetetlen megfelelő villamosenergia ellátás nélkül. A fejlődés előrehaladásával egyelőre a villamosenergia igény is nő. A villamosenergia termelés fokozása azonban számos kedvezőtlen hatással van környezetünkre, mely következményei károsítják az épített környezetet, az élővilágot, kedvezőtlen hatással vannak az emberi egészségre, hozzájárulnak a globális klímaváltozás kialakulásához.

A különböző energiahordozókat és technológiákat használó termelési módok környezeti hatása eltérő. A következőekben ezeket a hatásokat próbáljuk szemléltetni a teljesség igénye nélkül. A fosszilis energiahordozók elégetésén alapuló termelés során számos olyan káros anyag kerül a légkörbe, mint pl.:

- üvegházhatású szén-dioxid, mely a globális felmelegedés, globális klímaváltozás okozója;
- nitrogén és kén oxidok, melyek az épített környezetet és az állatvilágot károsító savas eső okozói;
- szilárd anyagok (por, el nem égett olajszármazékok), melyek belélegzése hozzájárul különböző emberi betegség kialakulásához.

Valamint számolni kell az üzem során keletkező veszélyes hulladékok és hő terhelés környezeti hatásaival is.

Az atomenergia esetén példaként a radioaktív hulladékok környezeti hatásait, a hő terhelést, a lakossági sugárterhelést említjük meg. A radioaktív terhelés egy esetleges baleset hatására igen erős is lehet. Mindemellett az atomenergia használata nem jár szén-dioxid kibocsátással.

A megújuló energiákkal történő energiatermelés szintén nem jár szén-dioxid kibocsátással, általánosságba véve környezetszennyező hatásai is igen alacsonyak, ezért zöld energiának is nevezik. Megjegyzendő azonban, hogy ha nem csak a villamosenergia termelést, hanem a teljes életciklus tekintetében vizsgáljuk a megújuló energiát hasznosító technológiákat számos környezetszennyező hatás - köztük a szén-dioxid kibocsátás, veszélyes hulladékok – jelenik meg, nem beszélve pl. a szélenergianál megjelenő zajszennyezésről valamint egyéb táj és természetvédelmi szempontokról (pl. élővilágra, talajszerkezetre, felszíni és felszín alatti vizekre gyakorolt hatás). A vízenergia kapcsán például a talajvízszintre, a terület vízháztartására, mikroklímájára gyakorolt hatásokat kell figyelembe venni.

Összességében a villamosenergia termelés és ellátás számos nemkívánatos hatással jár, a főbb környezet- és egészségkárosító hatások:

- Légszennyezés (légnemű anyag, szilárd lebegőanyag kibocsátás)
- Vízszennyezés (felszíni vizek, talajvizek, rétegvizek szennyezése folyékony és oldódó szilárd anyagokkal)
- Talajszennyezés (talajfelszín szennyezése kiülepedés által, mélyebb talajrétegek szennyezése beszívargás által, szilárd, folyékony szennyezőanyagokkal)
- Bioszféra (élővilág) közvetlen és közvetett károsítása (erdőpusztulás, bizonyos fajok eltűnése, mérgező anyagok felszívódása növényekbe, növényzet sugárterhelése, vizek

élővilágának (pl. halállománynak) pusztulása, mérgező anyagok felszívódása állatokba, állatok sugárterhelése)

- Mesterséges környezet károsodása (pl. műszaki létesítmények, épületek, vasszerkezetek, szerkezeti anyagok stb. károsodása, intenzív korróziója)
- Klímaváltozás (mikroklíma, vagy globális klíma esetében)
- Mezőgazdasági termékek (termelés) károsítása (hozamok csökkenése, minőségromlás, tisztítási többletköltségek felmerülése)
- Káros fizikai környezeti hatások (zajterhelés, rezgés, bűz, láthatóság romlása)
- Környezet esztétikai károsítása (romboló környezeti látvány, pl. meddőhányók, elhagyott bányák) [1]

A főbb szennyező anyagokat és hatásaikat az 1. számú táblázat foglalja össze.

<i>Hatások</i>	<i>Szennyezőanyagok</i>
Üvegházhatás	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , NO <sub>x</sub> , N <sub>2</sub> O, CFCs <sup>1</sup> , CO
Ózonpajzs károsodása	CFCs
Savasodás	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub>
Fotoszmozg	VOC <sup>2</sup> , NO <sub>2</sub>
Nitrifikáció	NO <sub>x</sub> , foszfátok (PO <sub>4</sub> )
Radioaktív sugárzás	Trícium, radon, <sup>14</sup> C, <sup>85</sup> Kr, <sup>90</sup> Sr, <sup>238</sup> U, <sup>232</sup> Th stb.
Biológiai degradáció	Környezetszennyezés okozta terméshozam-csökkenés, biológia életképesség csökkenése
Káros hanghatások, vibráció	Nagy forgógépek, csővezetékek, erőművi technológia, tüzelőanyag-előkészítés
Légköri láthatóság romlása	Füst, aeroszolok, fotoszmozgok, vízgőz
Mikroklíma megváltozása	Nagy, intenzív párolgású vízfelületek (víztározók, hűtőtornyok, hűtőtavak stb.)
Mesterséges környezetben (épületekben, ipari létesítményekben, szerkezeti anyagokban, közlekedési eszközökben stb.) bekövetkezett, – környezetszennyezés okozta, - anyagi károk	Savas esők, szennyezés okozta intenzív korrózió

**1. táblázat.** Legfontosabb szennyező hatások és szennyezőanyagok. Forrás [1]

<sup>1</sup> chlorofluorocarbons, halogénezett szénhidrogének

<sup>2</sup> volatile organic compound, illékony szerves vegyületek

A környezeti hatások az egyes energiatermelési módoknál eltérő mértékben jelennek meg, így az egyes termelési módok környezeti hatásai között jelentős különbségek vannak. Az energiapolitika megválasztásakor – tekintettel a fenntartható fejlődés szempontjaira – figyelembe kell venni, hogy a villamosenergia termelés (ellátás) nemkívánatos környezetszennyező hatással jár. Az energiapolitikának és a környezetpolitikának egymással összhangban kell lennie.

Az objektív döntéshozáshoz azonban objektív adatokra, az egyes technológiák összehasonlíthatóságára van szükség. A villamosenergia-termelési technológiák összehasonlításakor számos tényezőt figyelembe kell venni, értékelni kell, például:

- az energiaátalakítás alapvető jellegét,
- az egyes villamosenergia-termelési technológiák főbb műszaki jellemzőit, a technológiai fejlesztésük jelenlegi állapotát, gyakorlati alkalmazásukat, bevezettségüket,
- a primer energia hordozók rendelkezésre állását,
- a potenciális termelési kapacitást,
- az energetikai hatékonyságot,
- a gazdasági hatékonyságot (költségeket),
- a környezetterhelést,
- az egészségkárosító és anyagi károsodást okozó hatásokat,
- a villamosenergia-rendszer irányítására gyakorolt hatásokat,
- az externális költségeket,
- a fajlagos területigényt,
- a társadalmi elfogadottságot. [1]

Mindezek közül jelen közleményben csak a környezetterhelés szempontját ragadjuk ki és megkíséreljük e mentén összehasonlítani a villamosenergia termelési módokat a magyar energiaszektor viszonylatában.

Jelen közleményben az egyes energiahordozókat csak a villamosenergia szektorban vizsgáljuk. Megjegyzendő, hogy az egyes energiahordozók értékelésénél más összképet kapnánk, ha más szektorokat (pl. a geotermikus energia a lakossági hő ellátásban vagy a bioetanol a közlekedésben betöltött szerepét stb.) is figyelembe vennénk.

## **A VILLAMOSENERGIA TERMELÉSI MÓDOK ÖSSZEHOSONLÍTÓ ELEMZÉSE A MAGYAR ENERGIASZEKTORBAN KÖRNYEZETTERHELÉSÜK SZEMPONTJÁBÓL**

A villamosenergia termelési módok környezetterhelésének összehasonlítására alkalmas egyik módszer az ún. életciklus elemzés vagy életciklus hatásvizsgálat. (Az angol nyelvű szakirodalomban Life Cycle Analysis ill. Life Cycle Assessment, LCA)

A módszer azt vizsgálja, hogy egy termék, folyamat vagy szolgáltatás milyen környezeti hatásokkal jár, annak teljes életciklusa vagy az életciklus egy szakasza<sup>3</sup> során. A környezeti

---

<sup>3</sup> az életciklus szakaszai: nyersanyagok kitermelése és feldolgozása, gyártás, szállítás és terjesztés, használat, újrafelhasználás, újrahasznosítás, hulladék elhelyezés [2]

Az elemzés lépései:

- a vizsgálat céljának és a vizsgált rendszer határainak kijelölése
- inputok (természeti erőforrások) és outputok (kibocsátások) szisztematikus leltárba vétele

hatások módszeres feltárása egyrészt lehetőséget teremt ezen hatások tudatos csökkentésére másrészt azonos funkcionalitású, de eltérő környezeti hatású termékek, folyamatok, szolgáltatások közötti döntés megalapozására.

Az LCA módszert használták abban a vizsgálatban is, mely eredményeit „ *A magyar energiaszektor villamosenergia-termelésének életciklus-, és „carbon footprint” elemzése*” [3] című 2009-ben megjelent kutatási jelentés mutatja be. A vizsgálat célja az energiatermelési módok összehasonlítása volt környezeti terhelésük alapján a magyarországi villamosenergia termelésre vonatkozóan.

Az alábbiakban a vizsgálat néhány eredményét mutatjuk be a kutatásról készült összefoglaló jelentés [3] alapján. A kutatás során vizsgálták valamennyi villamosenergia termelési technológiát, melyeket a vizsgálat idején Magyarországon alkalmaztak illetve amelyek alkalmazására a vizsgálat idején a közeljövőben számítani lehetett. Ezek a következők:

- villamosenergia termelés atomenergiából;
- villamosenergia termelés fosszilis energiahordozókból: lignit, barnaszén, feketeszén, földgáz, olaj;
- villamosenergia termelés hulladéktüzeléssel;
- villamosenergia termelés megújuló forrásokból: fatüzelés (biomassza), biogáz, bioetanol, vízenergia, szélenergia, napenergia.

A vizsgálathoz szükséges adatokat több forrásból szerezték be illetve állították elő. Felhasználtak hazai aggregált, ágazati és vállalati adatokat, külföldi adatbázisokat, hatástanulmányokat, fenntarthatósági jelentéseket és becslési algoritmusokat. A kiértékeléshez az ökoindikátor'99 és CML 2001 módszereket<sup>4</sup> használták.

Jelen közlemény keretei között nem térünk ki a vizsgálati módszertan, az alkalmazott kiértékelési módszerek, a rendszerhatárok meghatározásának, a felhasznált adatok és az elemzés lépéseinek részletezésére, mindezen információ a kutatási összefoglaló jelentésben [3] megtalálható. Az összefoglaló jelentésből a következő vizsgálatok eredményét emeljük ki és mutatjuk be:

1. gyengepont analízis
2. technológiák összehasonlító életciklus elemzése

A gyengepont analízis célja az volt, hogy meghatározza azokat a folyamatokat, melyek a környezetre gyakorolt hatás szempontjából gyenge pontnak számítanak, azonosítsa a jelentősnek mondható környezeti hatásokat és azt, hogy ezeket a hatásokat milyen folyamatok okozzák.

A technológiák összehasonlító életciklus elemzésének célja pedig az egyes technológiák környezeti hatásainak összehasonlítása volt.

A vizsgálat során egyrészt kiértékeltek a különböző termelési módokat azonos mennyiségű megtermelt energiára vetítve, másrészt vizsgálták ezeket olyan rendszerben, melyben a különböző energiatermelési módok a valóságnak megfelelő arányban vesznek részt az 1 MJ

- 
- környezeti hatások értékelése, hatásbecslés (figyelembe véve a források felhasználását, az emberi egészséget és az ökoszisztéma állapotát)
  - eredmények értelmezése, dokumentálása [2]

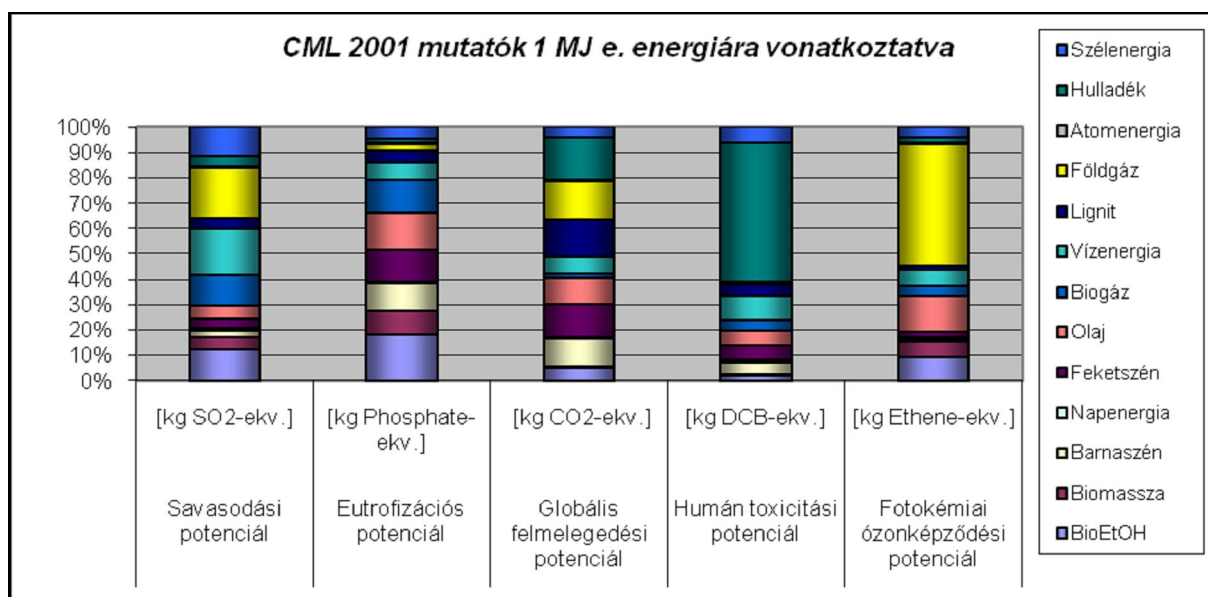
<sup>4</sup> Az ökoindikátor'99 módszer lehetővé teszi egy adott technológia környezeti teljesítményének jellemzését egy aggregált, dimenzió nélküli mutatószámmal. A CML 2001 módszerben alkalmazott mutatók az emissziókat referencia anyagok mennyiségére normálják. [3]

funkcionális egység villamosenergia megtermelésben, így a termelésből származó kibocsátásokat ebben az arányban vették figyelembe.

A környezeti hatások tekintetében az alábbi indikátorokat használták (CML 2001 mutatók):

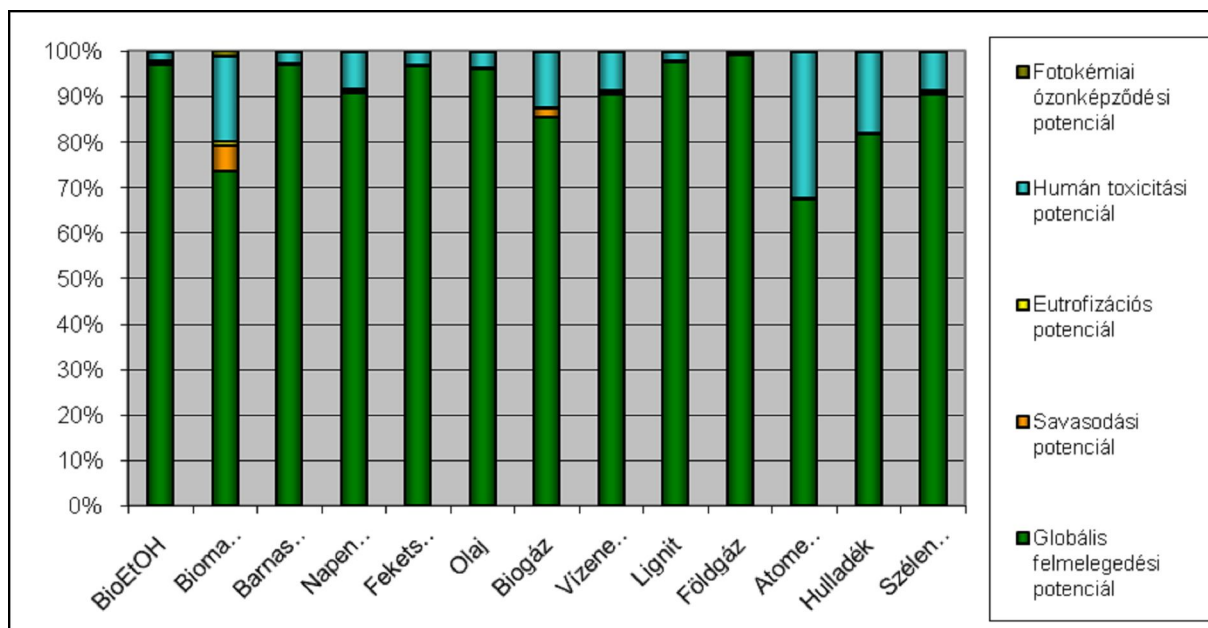
- Savasodási potenciál (regionális környezeti hatás, a környezet pH-jának változásához való hozzájárulást mutatja meg, kén-dioxidra normálva).
- Eutrofizációs potenciál (helyi hatás, a környezet tápanyagban való feldúsulásához való hozzájárulás mértékét mutatja meg, foszfátra normálva).
- Globális felmelegedési potenciál (globális hatás, a globális felmelegedéshez való hozzájárulás mértékét mutatja meg, szén-dioxidra vetítve).
- Humán toxicitási potenciál (helyi hatás, az emberre gyakorolt mérgezőséget mutatja meg, dikloro-benzolra normálva).
- Fotokémiai ózonképző potenciál (az alacsony légköri ózon képződéséhez való hozzájárulást mutatja meg, etilénre normálva). [3]

A kapott eredményt az 1. ábra mutatja be, abban az esetben amikor mindegyik termelési mód esetén azonos mennyiségű (1MJ) kiadott energiát vettek alapul.



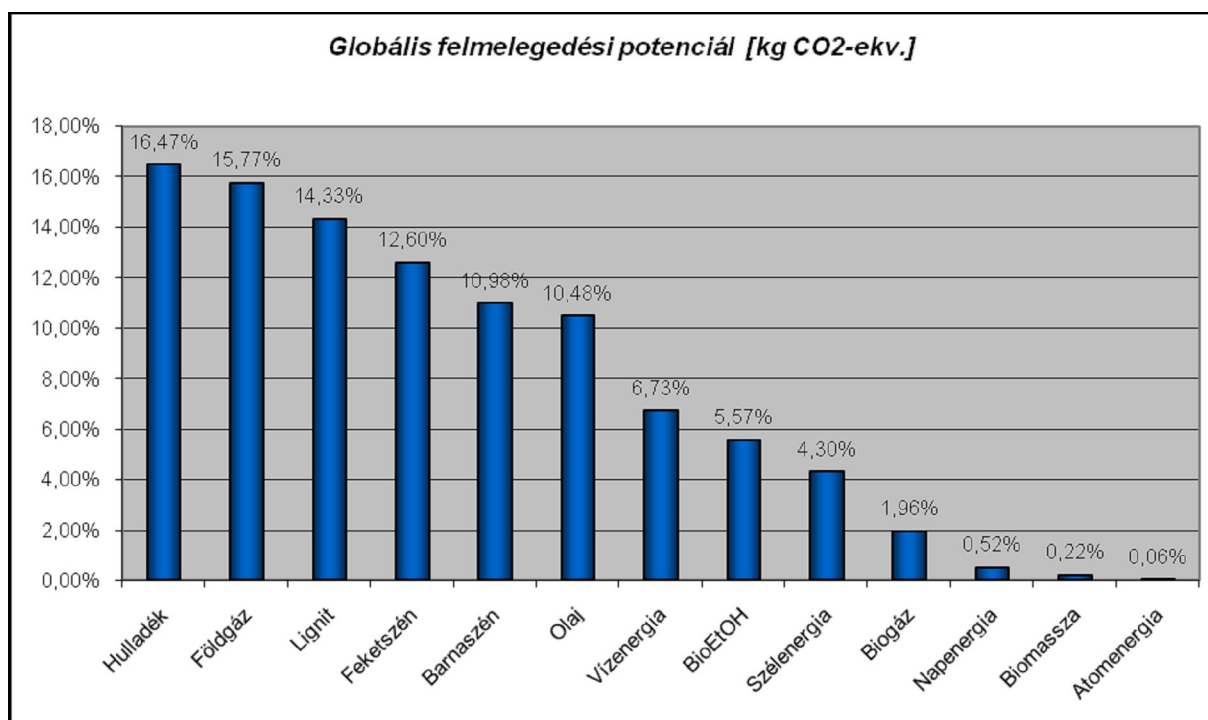
**1. ábra.** A CML 2001-es mutatók megoszlása 1MJ elektromos energia funkcionális egység esetén. Forrás [3]

Ugyanezeket az eredményeket indikátorokra rendezve a 2. ábra mutatja be.



2. ábra. A különböző termelési módok környezeti hatásai, indikátorok szerinti rendezésben. Forrás: [3]

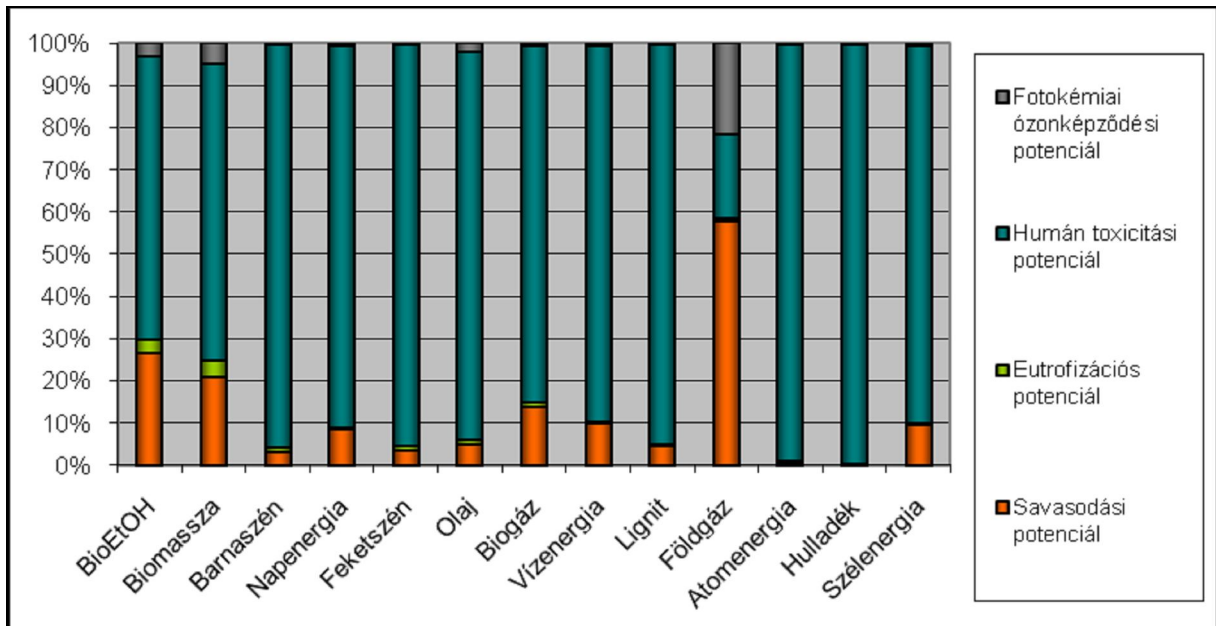
Látható, hogy valamennyi termelési mód esetén a globális felmelegedés potenciál indikátora a legmagasabb, főképp a fosszilis tüzelőanyagokon alapuló termelési módoknál, oka az üvegházhatású gáz kibocsátás. Az indikátor termelési módok szerinti alakulását a 3. ábra mutatja be.



3. ábra. A globális felmelegedési potenciál összehasonlítása. Forrás [3]

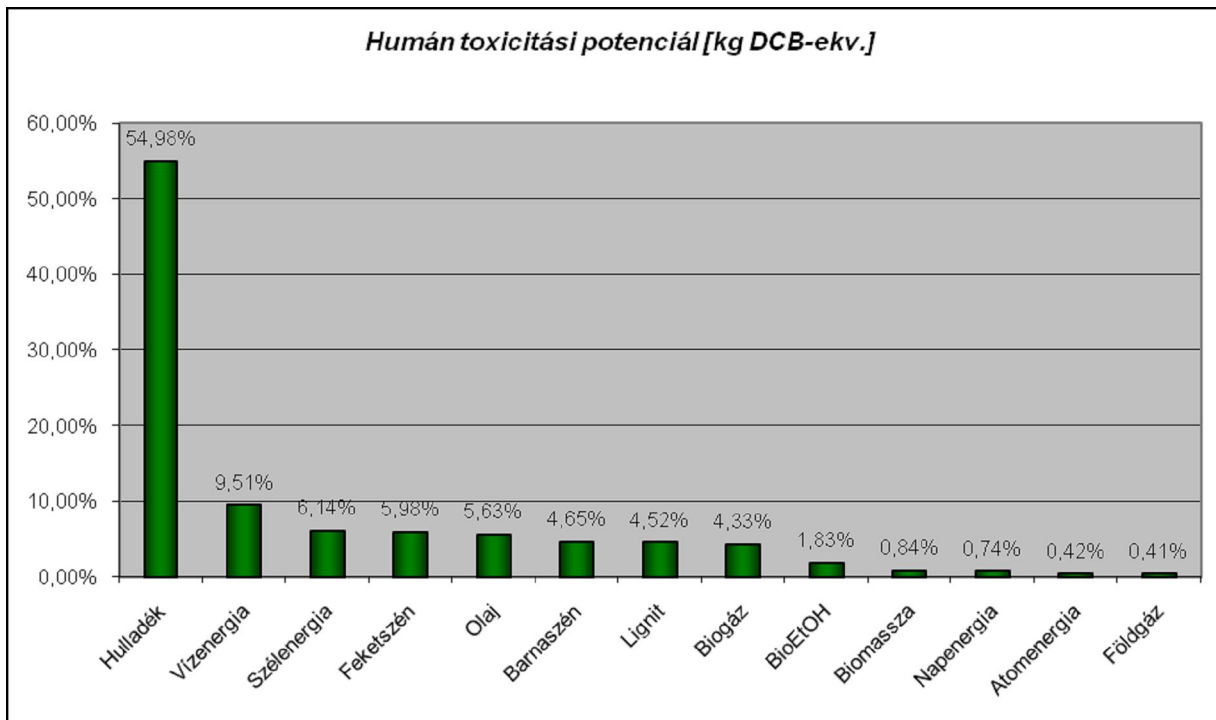
A 3. ábrán látható, hogy a legnagyobb értékek a hulladéktüzelés és a fosszilis tüzelőanyagokra alapuló termelési módoknál jelennek meg. A földgáz kivételével a hatásért döntő mértékben az erőműből származó, az égetés során keletkező szén-dioxid felelős és kisebb mértékben a metán és más szénhidrogének. A földgáz esetében a metán jelenik meg nagyobb mértékben, mely a földgáz kitermeléskor kerül a légtérbe. [3]

Az indikátorok szerinti rendezésben a globális felmelegedési potenciál indikátort leválasztva láthatóbbá válik a többi indikátor mértéke.



4. ábra. A különböző termelési módok környezeti hatásai, a globális felmelegedési potenciál nélkül, indikátorok szerinti rendezésben. Forrás: [3]

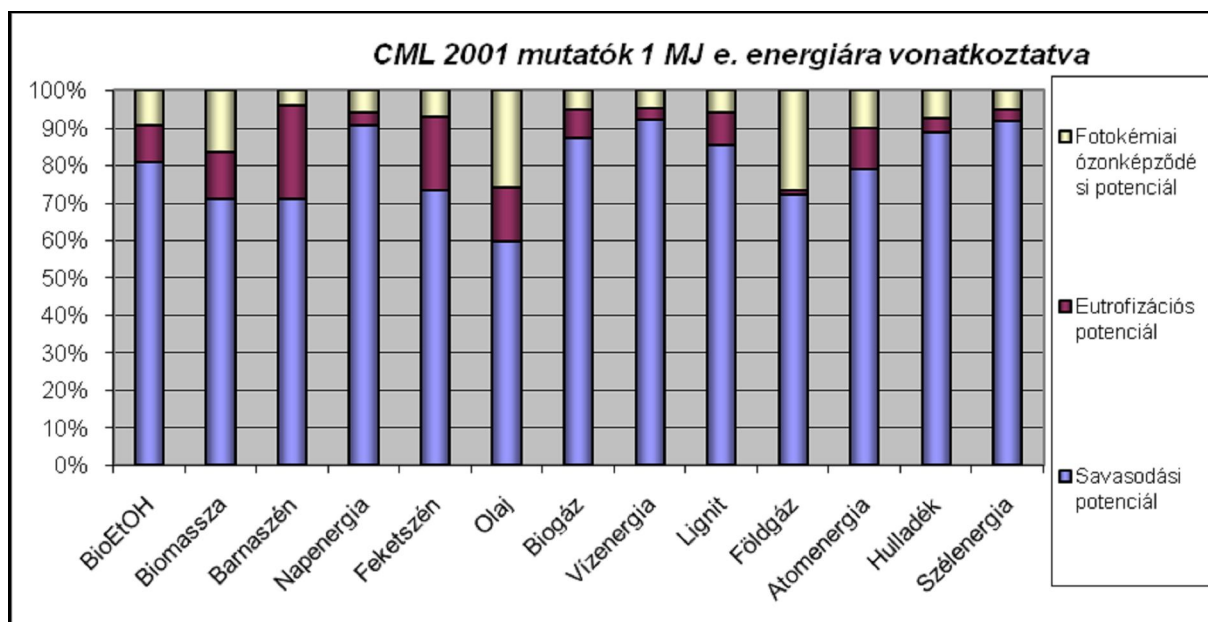
A 4. ábra szerint a globális felmelegedési potenciált követően a humán toxicitási potenciál mutatkozik a második legdominánsabb hatásnak. Elsősorban a légköri-, többek közt a nehézfém emissziók okozzák. A hatás a hulladéktüzelés esetén mutatkozik a legmagasabbnak (lásd 5. ábra) a nehézfém, dioxin származékok, hidrogén-klorid és hidrogén-fluorid kibocsátása miatt. Az atomenergiánál és a fosszilis tüzelőanyagokra alapozódó termelési módoknál ez a hatás a bányászatból származik. [3]



5. ábra. A humán toxicitási potenciál összehasonlítása. Forrás [3]

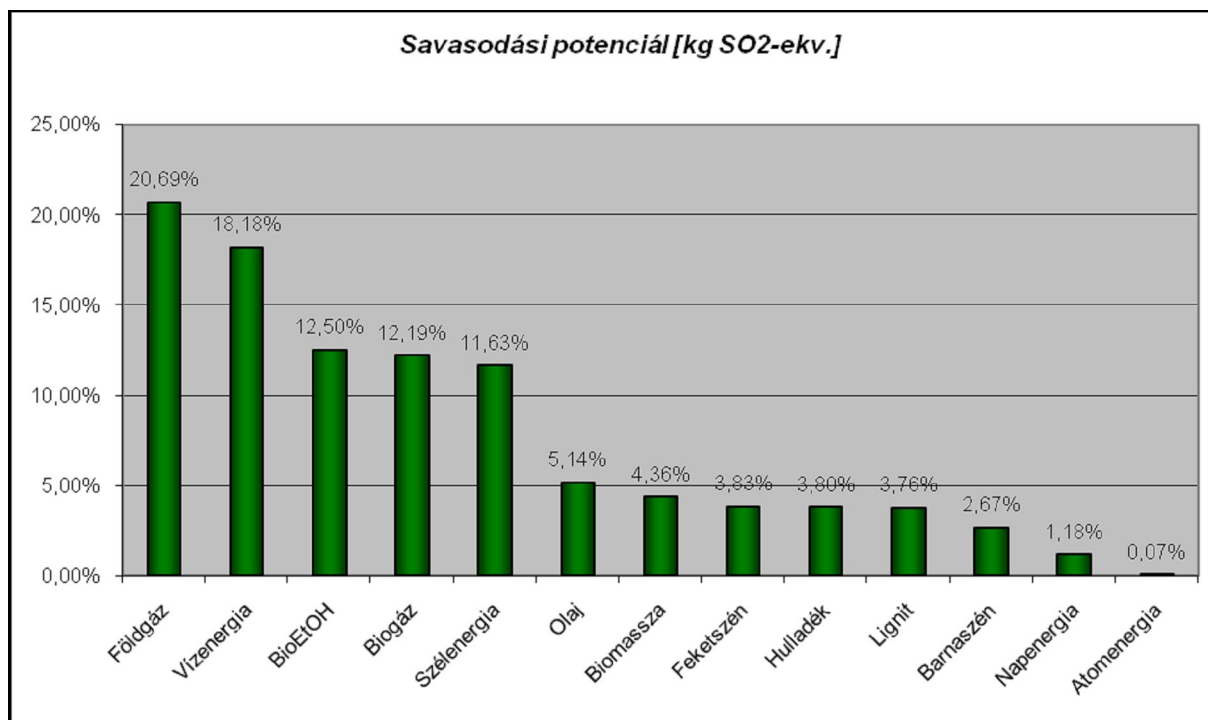


A humán toxicitási potenciált is leválasztva a savasodási potenciál jelenik meg, mint a harmadik legdominánsabb tényező. (Lásd 6. ábra) [3]



**6. ábra.** A különböző termelési módok környezeti hatásai, a globális felmelegedési potenciál és a humán toxicitási potenciál nélkül, indikátorok szerinti rendezésben. Forrás: [3]

A savasodási potenciál a földgáz esetén a legnagyobb, oka hidrogén-szulfid kibocsátás, ami a bányászatnál és szállításkor fellépő veszteségből adódik. Megjelenik még a nitrogén-oxidok kibocsátása, mely a szállítás energiafelhasználásából, a gázbányászatból és gázegetésből származik; valamint a kén-dioxid kibocsátás, mely döntő mértékben a gázbányászatból származik. A megújulóknál a szél és vízenergia esetén az építés folyamataiból (váz és alapépítés, betongyártás, acélgégyártás) származó kén-dioxid a meghatározó. Megjelenik még a betongyártásból származó nitrogén-oxidok és hidrogén-klorid kibocsátás is kisebb mértékben. A biogáznál a kén-dioxid kibocsátás a meghatározó, megjelenik a nitrogén-oxidok kibocsátása is, melyekért legnagyobb részt a vágóhídi maradék rothasztásának folyamata felelős magas energiaigénye miatt. Megjelenik továbbá a kénhidrogén és ammónia kibocsátás, melyek a kukoricatermesztésben felhasznált műtrágyák gyártásakor kerülnek a légkörbe illetve a földeken végbemenő anaerob folyamatokból származnak. [3]



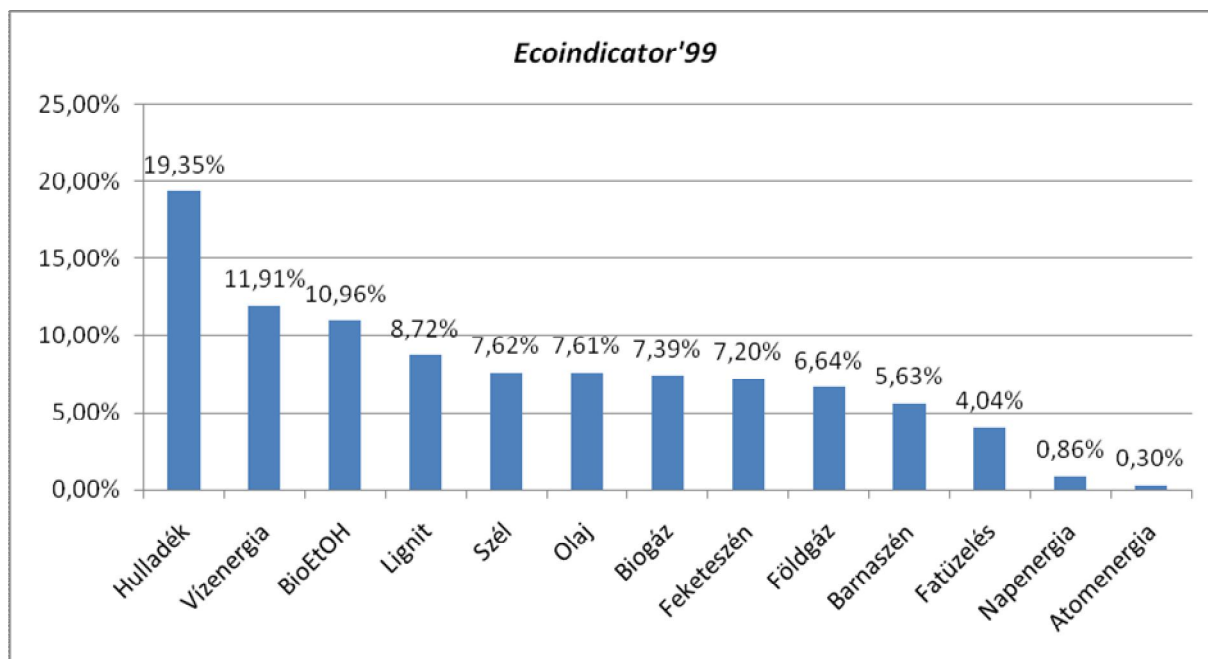
**7. ábra.** A savasodási potenciál összehasonlítása. Forrás [3]

Az eredményeket összefoglalva az egyes energiatermelési módok gyenge pontjainak a vizsgálat szerint a következők mutatkoznak:

- A földgáz felhasználás gyenge pontja az nyersanyag kitermelés, a környezetterhelésért nagyobb részt ez a folyamat felelős.
- A többi fosszilis tüzelőanyagot felhasználó technológiák esetén az emissziók főként az energiatermelésből származnak, az üzemanyag előállításnak kisebb szerepe van a környezeti hatás kialakításában, mind a földgáznál.
- A hulladékégetés hátránya a magas humán toxicitási potenciálja.
- A biomassza savasodási, eutrofizációs és fotokémiai ózontképző potenciálja a fosszilis tüzelőanyagokéhoz hasonló, a globális felmelegedési és humán toxicitási potenciálja azoknál kedvezőbb.
- A biogáz és bioetanol savasodási, eutrofizációs, globális felmelegedési és fotokémiai ózontképző potenciálja magas a megújulókhöz képest. A főbb kibocsátások a mezőgazdasági művelésből adódnak.
- A szél és a vízenergia esetén a létesítmény építéshez használt anyagok gyártásának energiaigényessége miatt jelenik meg környezeti hatás.
- A napenergia környezeti hatása egyik hatáskategóriában sem jelenik meg értékelhető mértékben.
- Az atomenergia szintén nem jelenik meg környezetterhelőként egyik kategóriában sem. [3]

Összességében a legkedvezőbb környezeti hatást az atomenergia és a napenergia alkalmazása mutatta, emellett jó teljesítményűnek mutatkozott még a szélenergia, valamint elfogadható a földgáz a kitermelés környezeti teljesítményének javítása esetén. [3]

A különböző termelési módok környezeti hatásának egy, aggregált mutatóval történő jellemzését az ökoindikátor'99 módszer teszi lehetővé. Az értékeket a 8. ábra mutatja be.



**8. ábra.** Az egyes termelési módok EI'99 értékei. Forrás [3] alapján szerkesztve.

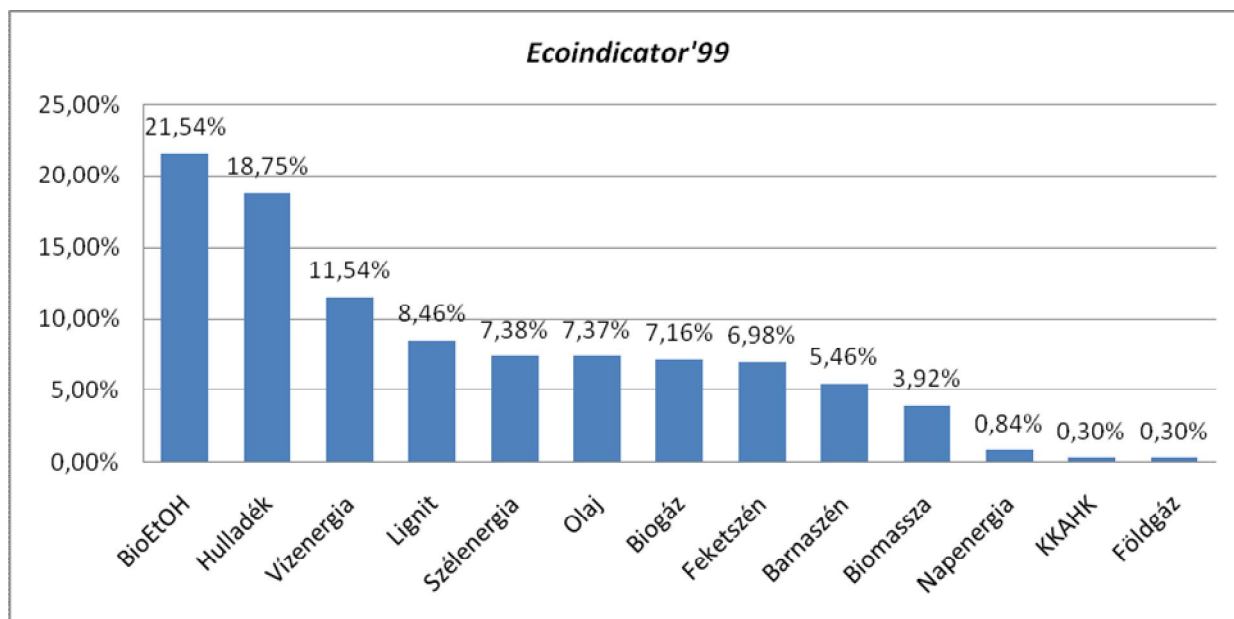
A hulladéktüzelés mutatkozik a legszennyezőbb termelési módnak. Ezt követi a vízenergia és a bioetanol, majd a fosszilis tüzelőanyagok. Legkedvezőbbek az atomenergia, a napenergia és a fatüzelés. A fosszilis tüzelőanyagok közel azonos értéket képviselnek, megjegyzendő, hogy a vizsgálatnál nem vették figyelembe a kapcsolt villamosenergia termelésénél termelt hőenergiát, csak a villamosenergia termelést. A termelt hőenergia figyelembe vétele javíthat ezen technológiák megítélésén. A vízenergia viszonylag kedvezőtlen teljesítménye a nagytömegű építőanyag felhasználásból adódik. A bioetanol környezeti terhelése főleg a mezőgazdaság környezeti hatásaiból adódik. [3]

Megjegyzendő, hogy az atomenergia esetén 4 különböző forgatókönyvet vizsgáltak:

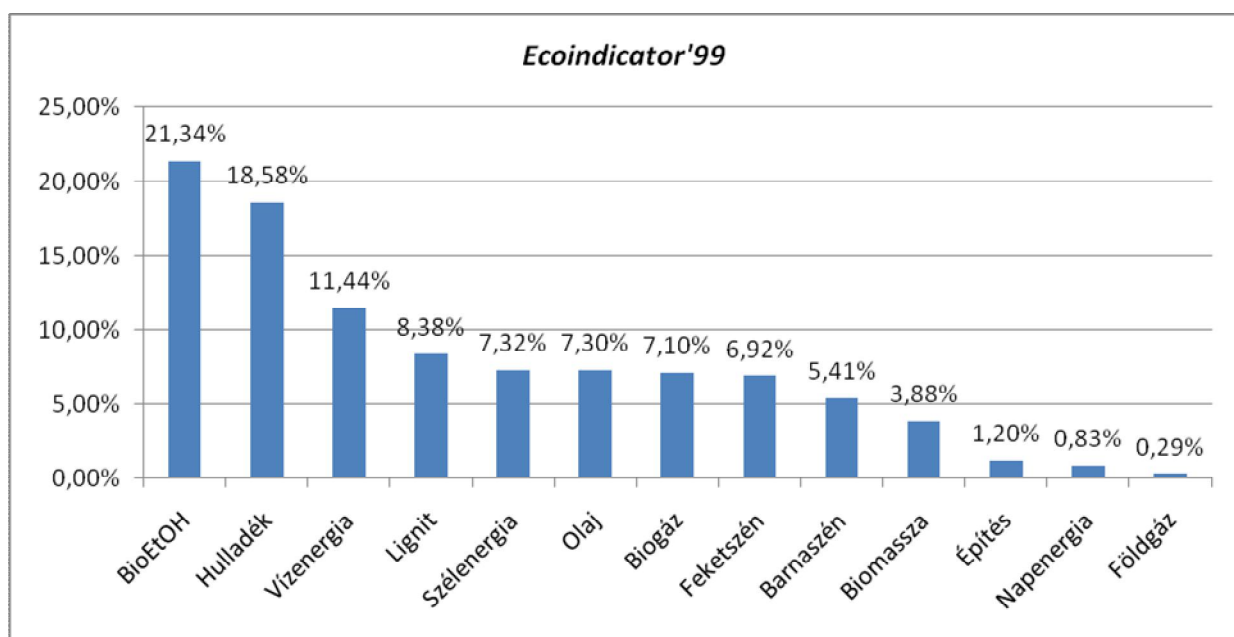
1. Az első forgatókönyv az üzemanyag előállítás és a villamosenergia termelés folyamatait veszi figyelembe az uránérc kibányásztól az energia termelésig.
2. A második forgatókönyv emellett figyelembe veszi a kis és közepes aktivitású hulladékok kezelésének folyamatait.
3. A harmadik forgatókönyv a fentieket kibővíti az atomerőmű építés és felhagyás folyamatival.
4. A negyedik forgatókönyv a harmadik forgatókönyv kiterjesztett változata, melyben az erőmű 20 éves élettartam hosszabbítását építik be a vizsgálatba. A negyedik forgatókönyv adatai - az élettartam kivételével - lényegében megegyeznek a harmadikkal. [3]

A fentiekben bemutatottak az atomenergia esetében az 1. forgatókönyv szerinti adatokat tartalmazzák, de érdemes a másik két forgatókönyv adatai szerinti összehasonlítást is megvizsgálni.

A 2. és 3. forgatókönyvvel kapott adatokat az 1. függelékben található 3. és 4. táblázat mutatja be illetve a 9. és 10. ábra szemlélteti. Fontos megjegyezni, hogy a hulladékkezelés és építés folyamatait nem vették figyelembe sem a fosszilis tüzelőanyagot használó energiatermelési módok, sem a biomasszát, biogázt és bioetanol hasznosító termelési módok környezeti hatásának vizsgálatánál [3].



**9. ábra.** Az atomenergia 2. forgatókönyvének (KKAHK) összehasonlítása a többi energiatermelési módszerrel az EI'99 értékek alapján. Forrás [3]



**10. ábra.** Az atomenergia 3. forgatókönyvének (Építés) összehasonlítása a többi energiatermelési módszerrel az EI'99 értékek alapján. Forrás [3]

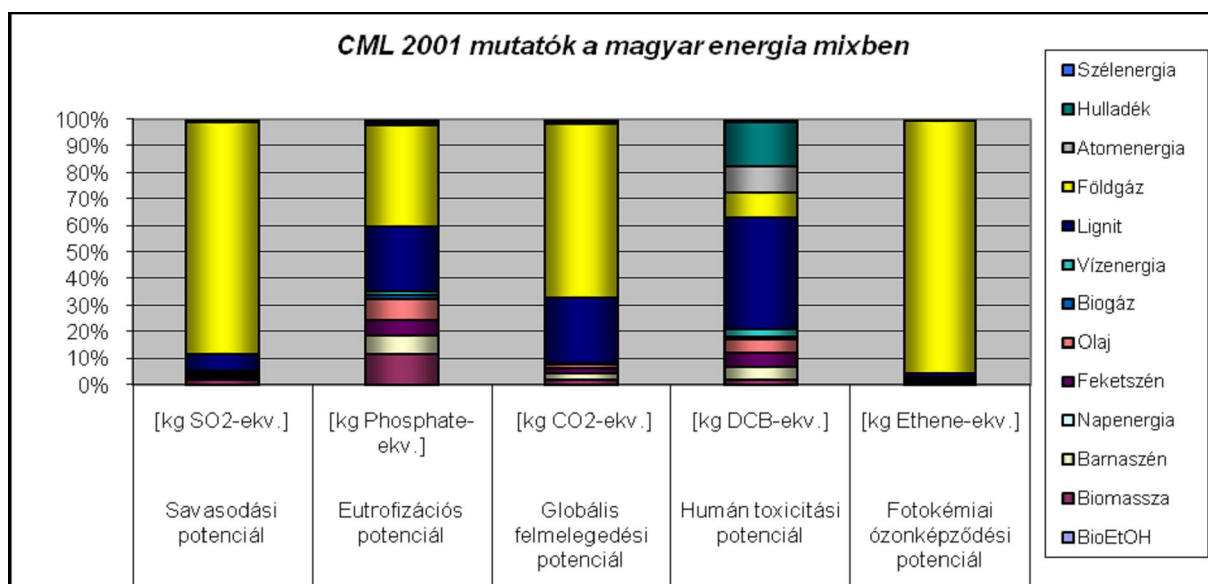
Az összesített EI'99 mutató alapján az atomenergia mindkét kibővített forgatókönyv esetén valamennyivel rosszabb helyezést kap, de még így is jóval kedvezőbb értéket mutat a termelési módok zöménél.

A következőekben bemutatásra kerülő összehasonlításnál az egyes energiatermelési módokat az energiamixben (2. táblázat) betöltött arányukban vették figyelembe és az ekkor fellépő környezeti hatást vizsgálták és hasonlították össze. A CML 2001 módszer mutatóinak alakulását a 11. ábra mutatja.

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

**2. számú táblázat.** A különböző energiatermelési módok megoszlása a magyar energiamixben. Forrás [3]

A legnagyobb arányban a földgáz, az atomenergia és a lignit tüzelés szerepel, együttesen a teljes termelés 89,9%-át teszik ki. Alapvetően azt várhatnánk, hogy a környezeti hatások között is e három termelési mód jelenik majd meg dominánsan.

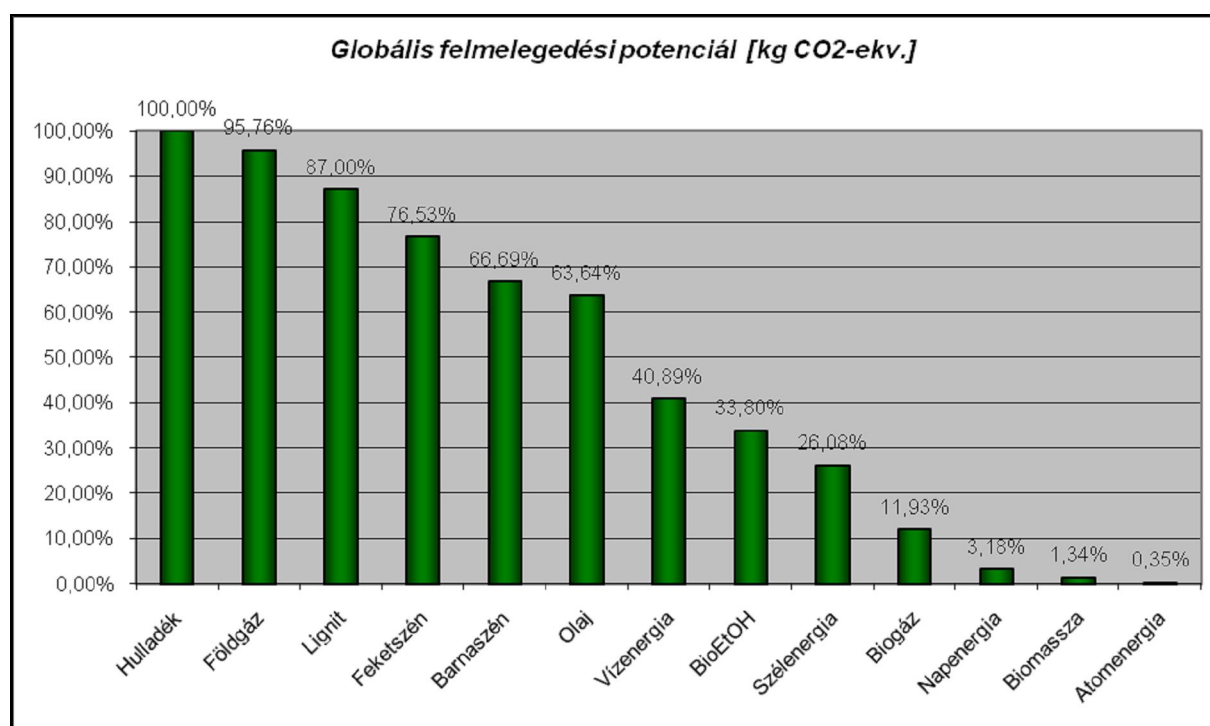


**11. ábra.** A magyar energiamix szerinti megoszlás környezeti mutatói. Forrás [3].

A savasodási potenciál alakulásában a földgáztüzelés (35%) és a lignittüzelés (15%) a legjelentősebb hatású. Az eutrofizációs potenciál alakulásában a földgáz és a lignit mellett a többi fosszilis tüzelőanyag és a biomassza hatása is megjelenik. A globális felmelegedési potenciálban szintén a földgáz a legmagasabb hatású, az energiamixben képviselt magas részaránya miatt, mellette megjelenik a többi fosszilis tüzelőanyag is. A humán toxicitási potenciál alakulásában a legnagyobb hatást a lignit és a hulladéktüzelés mutatja, de megjelenik csaknem valamennyi termelési mód hatása; az atomenergia és a földgáz hozzájárulása közel azonos mértékű. A fotokémiai ózontképződési potenciálban láthatóan a földgáztüzelés dominál. [3]

Összességében elmondható, hogy legnagyobb környezeti hatást a földgáz és a lignit tüzelés mutatja, ami összhangban van azzal, hogy mindkettő az energiamixben viszonylag nagy százalékban szerepel. A földgáz valamennyi kategóriában megjelenik többnyire elég magas aránnyal járul hozzá a környezeti hatáshoz. A lignit egy kivételével az összes hatáskategóriában megjelenik, többnyire közepesen magas hozzájárulással. A legkedvezőbbnek az atomenergia mutatkozik: az energiamixben elfoglalt második helye ellenére, csak a humán toxicitási potenciál hatáskategóriában jelenik meg értékelhető hozzájárulással. [3]

A mutatók közül itt most csak a globális felmelegedési potenciál indikátorát ragadjuk ki és mutatjuk be arányát az egyes termelési módok esetén a 12. ábrán.



**12. ábra.** Globális felmelegedési potenciálok összevetése az energiamixben

A hulladék, földgáz és lignittüzelés vezet, ezeket követi a többi fosszilis energiahordozó, legkedvezőbb hatásúak a megújulók és az atomenergia. A legmagasabb hatású hulladéktüzelést vették 100%-nak és ehhez viszonyították a többi termelési mód hatását. [3]

## A KÖRNYEZETBIZTONSÁGI SZEMPONTOK MEGJELENÉSE A MAGYAR ENERGIAPOLITIKÁBAN

A különböző energiatermelési módok összehasonlítását bemutató előző fejezetben láthattuk, hogy a környezeti hatásuk szempontjából legkedvezőbb energiatermelési módok az atomenergia, a napenergia és a biomassza felhasználására épülnek. A környezetbiztonsági szempontokat is figyelembe vevő energiapolitikának tehát ezen termelési módokat célszerű előnyben részesítenie. Nézzük, hogy hogyan alakul mindez a magyar energiapolitikában.

A 2008-2020 közötti időszakra vonatkozó energiapolitikát [4] az Országgyűlés 40/2008. (IV. 17.) határozatával hagyta jóvá. Az energiapolitika elsődleges célokként az ellátásbiztonságot, a versenyképességet és a fenntarthatóságot jelöli meg. Előírja az összhangot a klíma- és az energiapolitika között és azt, hogy a gazdaság és a lakosság energiaigénye - biztonságos és gazdaságos módon – a környezetvédelmi szempontok

figyelembevételével kerüljön kielégítésre. Szorgalmazza az energiafelhasználás csökkentését, energiahatékonyság javítását, a megújuló energiaforrások arányának növelését és környezet- és természetbarát technológiák bevezetését, természetesen gazdaságossági, versenyképességi szempontok és a Magyarországon rendelkezésre álló természeti adottságok figyelembe vételével.

Az energiapolitika nem veti el az atomenergia alkalmazásának lehetőségét, a határozatban az Országgyűlés felkéri a Kormányt új atomerőművi kapacitások létrehozására vonatkozó döntés előkészítő munka megkezdésére; a szakmai, környezetvédelmi és társadalmi megalapozás elvégzésére valamint a beruházás szükségességére, feltételeire, az erőmű típusára és telepítésére vonatkozó javaslat előterjesztésére. Emellett a nukleáris hulladékok végleges elhelyezésére irányuló programok megvalósításához szükséges feltételek biztosítására.

Az energiapolitika támogatja a megújuló energiaforrások alkalmazásának növelését is, a határozatban az Országgyűlés felkéri a Kormányt a megújuló alkalmazása növelésére vonatkozó stratégia kidolgozására. Olyan stratégia kidolgozására, mely megfelel a legkisebb költség és környezeti fenntarthatóság elvének, összhangban áll az Európai Unió célkitűzéseivel és hozzájárul az üvegházhatású gáz kibocsátás csökkentési célok megvalósításához.

Az EU a megújuló energiaforrások 2020-ra elérendő részarányát EU szinten 20%-ban határozza meg. Erről az Európai Tanács 2007. márciusi ülésén határozott. A tagállamok szintjére lebontott elvárásokat az Európai Parlament és Tanács 2008. január 30-án megjelent, a megújuló energiaforrások támogatásáról szóló irányelv javaslata határozza meg. Magyarország felé az elvárás a megújuló részarányának 13%-ra történő emelése 2020-ig.

Az EU elvárásoknak történő megfelelés elősegítése érdekében a Kormány 2008. szeptember 3.-án elfogadta a „Stratégia a magyarországi megújuló energiaforrások felhasználásának növelésére 2008 – 2020” című KHEM előterjesztést. A stratégiai célkitűzés („policy” szkenárió) szerint a villamosenergia termelésben a megújuló energiából termelt villamosenergia mennyiségét a 2006. évi 1,63 TWh-ról 2020-ra 9,47 TWh-ra kell növelni. A tervezett megújuló energiának három fő eleme van: a szélenergia, a biomassza és a geotermikus energia. [5]

Az előző fejezetben ismertetett kutatási összefoglaló jelentés értelmében a biomassza (fatüzelés) a három legkedvezőbb környezeti mutatóval (lásd 8. ábra) rendelkező termelési mód között van. A szélenergia a közepes értékkel rendelkezik, a geotermikus energiát a bemutatott kutatás keretei között nem vizsgálták.

A jelen közleményben megjelentetett információ alapján azt mondhatjuk, hogy a magyar energiapolitika a környezetbiztonsági szempontokkal összhangban van. A megújuló stratégiában megcélzott fő termelési módok (szélenergia, biomassza, geotermikus energia) csak részben igazodnak a környezeti teljesítmények értékeihez, de ez érthető is, hiszen a stratégiában a környezetvédelmi szempontok mellett más szempontokat - pl. az egyes energiaforrások hazai adottságait, rendelkezésre állását és felhasználásának lehetőségét - is figyelembe kell venni.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A 21. századi modern lét alapvető kelléke a villamosenergia. A társadalom és a gazdaság villamosenergia igénye globálisan - az energiahatékonysági, energiatakarékos programok mellett is – jelenleg folyamatosan nő. A termelés növelésével számolni kell a termelés környezeti hatásainak egyre erősebb megjelenésével is. Napjainkban a legnagyobb hangsúlyt a globális klímaváltozás kapja, melyet az üvegházhatású gázok légkörben való felszaporodására vezetnek vissza, de más, a légkör, a talaj a vízi környezet szennyezésével, az

épített környezet és az élővilág károsításával járó hatással is számolni kell. A különböző elsődleges energiaforrásokon és technológiákon alapuló termelés környezeti hatásai között jelentős eltérések lehetnek. Mindezek okán a környezetbiztonsági szempontokat figyelembe vevő energiapolitikának a legkedvezőbb környezeti hatású termelési módokat kell támogatnia, természetesen az egyéb – gazdaságossági, versenyképességi, fenntarthatósági – szempontok figyelembe vétele mellett.

Az egyes villamosenergia termelési módok környezeti hatásának összehasonlítására alkalmazható az ún. az életciklus elemzés módszer. 2009.-ben jelent meg egy, a magyar energiaszektor villamosenergia termelésének életciklus elemzését, az alkalmazott energiatermelési módok összehasonlítását célzó vizsgálatról készített összefoglaló kutatási jelentés [3]. A kutatás során a Magyarországon alkalmazott villamosenergia termelési technológiák LCA modelljét készítették el, vizsgálták és hasonlították össze. A kiértékelésnél az ún. EcoIndicator'99 és a CML 2001-es módszert használták.

A vizsgálat során meghatározták az egyes – Magyarországon alkalmazott – villamosenergia termelési módok környezeti hatás szempontjából vett gyenge pontjait. Azt vizsgálták, hogy az egyes termelési módok esetén melyek a hátrányos környezeti hatások és milyen folyamat felelős ezekért. Ezen gyengepont analízis során azt állapították meg, hogy a legkedvezőbb környezeti hatással az atomenergia és a napenergia bír, de jó teljesítményűnek mutatkozik a szélenergia is és a kitermelés környezeti teljesítményének javítása esetén elfogadható a földgáz is.

A környezeti hatások összehasonlító vizsgálatát elvégezték a magyar energia mixből – azaz az egyes termelési módok termelésben betöltött valóságos megoszlásából – kiindulva is, így a környezeti hatásokat a valós kibocsátások arányában hasonlították össze. Az eredmények azt mutatták, hogy a legerősebb környezeti hatással a földgáztüzelés jelentkezik, mely az energiamixben a legnagyobb arányban vesz részt. Környezeti hatása mind a hat vizsgált hatáskategóriában megjelenik. Az energiamixben harmadik helyet elfoglaló lignit tüzelés környezeti hatása szintén jelentős, egy kivételével valamennyi hatáskategóriában megjelenik. A mixben második helyet elfoglaló atomenergia környezeti hatása viszont nagyon kedvező, csupán egy hatáskategóriában jelenik meg.

A különböző termelési módok üvegházhatású gáz kibocsátásának összehasonlítása a globális felmelegedési potenciálok mentén végezhető el. Itt a legkedvezőtlenebb a hulladék, a földgáz és a lignit tüzelés. Ezeket követi a többi fosszilis energiahordozón alapuló termelés, a legkedvezőbbek az atomenergia és a megújuló energiaforrásokon alapuló termelési módok.

Végül megvizsgáltuk, hogy mennyire jutnak érvényre a magyar energiapolitikában a fenti elvek. A jelen közleményben szereplő információ alapján azt mondhatjuk, hogy a magyar energiapolitika ezekkel jó összhangot mutat: előírja az energia- és klímapolitika összhangját, támogatja a megújulókat és az atomenergia használatát. A megújulókat részarányának növelését célzó stratégia elsősorban a szélenergia, a biomassza és a geotermikus energia felhasználásának növelésére épít. A biomassza (fatüzelés) az egyik legkedvezőbb környezeti mutatóval rendelkezik a bemutatott kutatási jelentés szerint, a szélenergia közepesen jó értéket kapott, a geotermikus energiát a kutatás nem vizsgálta. A stratégia által preferált energiatermelési módok nem esnek teljesen egybe a legkedvezőbb környezeti hatású módokkal a megújulókon belül, de ez érthető is, hiszen a stratégiában a környezeti hatás mellett más szempontokat - pl. az egyes energiahordozók hazai adottságait, rendelkezésre állását és felhasználásának lehetőségét - is figyelembe kell venni.



## Irodalomjegyzék

- [1] Dr. Fazekas András István: 6. Villamosenergia termelési technológiák összehasonlítása. A komplex összehasonlítás szempontrendszere. Magyar Atomforum Egyesület. 2005. január  
<http://www.atomforum.hu/pdf/06%20villamosenergiatermeles%20tech%20osszehasonlitas.pdf> (2009.12.15)
- [2] Oktatási segédanyag a Környezetgazdaságtan című tantárgyhoz. Összeállította: dr. Tóthné Szita Klára. Miskolci Egyetem. 2003. [http://www.uni-miskolc.hu/~euint/20031002zzz20031231/kornyoktseg1\\_2003lev.pdf](http://www.uni-miskolc.hu/~euint/20031002zzz20031231/kornyoktseg1_2003lev.pdf) (2009.12.15)
- [3] Green Capital Zrt.: A magyar energia szektor villamosenergia-termelésének életciklus-, és „carbon footprint” elemzése. Budapest. 2009.  
[http://www.greencapital.hu/dokumentumok/LCA\\_villenergia\\_GreenCapital\\_osszefoglas.pdf](http://www.greencapital.hu/dokumentumok/LCA_villenergia_GreenCapital_osszefoglas.pdf) (2010.01.07)
- [4] 40/2008. (IV. 17.) OGY határozat a 2008-2020 közötti időszakra vonatkozó energiapolitikáról.  
[http://www.complex.hu/jr/gen/hjegy\\_doc.cgi?docid=A08H0040.OGY](http://www.complex.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A08H0040.OGY) (2010.01.10)
- [5] Körmendi Krisztina, Solymosi József: A villamosenergia termelés környezetre gyakorolt hatása, a szén-dioxid kibocsátással nem járó villamosenergia termelés lehetőségei és korlátai. Hadmérnök. IV. Évfolyam 3. szám. 2009. szeptember  
[http://www.hadmernok.hu/2009\\_3\\_kormendi.pdf](http://www.hadmernok.hu/2009_3_kormendi.pdf) (2010.01.20)

**I. számú függelék: Az atomenergia kibővített forgatókönyv eredményeinek összehasonlítása a többi energiatermelési mód eredményeivel**

		KKAHK	BioEtOH	Biomassza	Barnaszén	Napenergia	Feketszén	Olaj	Biogáz	Vízenergia	Lignit	Földgáz	Hulladék	Szélenergia
Savasodási potenciál	[kg SO <sub>2</sub> -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 CO <sub>2</sub> -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%

*1. táblázat: Az atomenergia 2. forgatókönyv eredményeinek összehasonlítása a többi energiatermelési mód eredményeivel*

		Építés	BioEtOH	Biomassza	Barnaszén	Napenergia	Feketszén	Olaj	Biogáz	Vízenergia	Lignit	Földgáz	Hulladék	Szélenergia
Savasodási potenciál	[kg SO <sub>2</sub> -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 CO <sub>2</sub> -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%

*2. táblázat: Az atomenergia 2. forgatókönyv eredményeinek összehasonlítása a többi energiatermelési mód eredményeivel*