



Externális költségek vizsgálata az erőművi kibocsátások terén EcoSense modellel

Molnár S., Sleiszné Csábrági A.

Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Matematikai és Informatikai Intézet, 2100 Gödöllő, Páter Károly u. 1.

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben az externális költségek módszertani áttekintése után az EcoSense modellrendszer keretében röviden vizsgáljuk az egyes szennyezés-terjedési modelleket. A módszertani áttekintés után a nukleáris energia felhasználásának egyes környezeti hatásainak áttekintését végezzük, majd a villamosenergia-termelésre fókuszálva, a MAVIR hosszútávú kapacitásbővítési tervére alapozva bemutatjuk az egyes kapacitásbővítési forgatókönyvek (alternatív erőművi technológiák) externális hatásait.

(Kulcsszavak: externális költségek, erőművi kibocsátások, hatások monetizálása, villamosenergia-termelés, környezeti hatásvizsgálat)

ABSTRACT

Environmental impact assessment of power production with the EcoSense model

S. Molnár, A. Sleiszné Csábrági

Szent István University, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Mathematics and Informatics
H-2100 Gödöllő, Páter Károly u. 1.

In the paper an overview is presented of external costs of power production and the respective methodological tools applied to assess such costs, together with air quality models. An overview is then given of the external costs of nuclear energy utilisation, and focusing on power production environmental impacts of alternative capacity extension scenarios are assessed utilising results from EcoSense based on the long term expansion plans of the Hungarian Transmission System Operator (MAVIR).

(Keywords: impact assessment, external costs, power production)

BEVEZETÉS

Externális költségek a villamosenergia-termelésben

A villamosenergia-termelés környezeti hatásainak elemzése során felmerülő alapvető kérdés, hogy a piaci ár megfelelő leképezését adja-e a villamosenergia-termelés során felmerülő összes társadalmi költségnek. Más szóval, az ún. externális költségek megjelennek-e valamilyen módon az ármechanizmusokban? A különböző villamosenergia-források megfelelő és konzisztens értékeléséhez olyan összehasonlítás szükséges, amely az összes, a társadalom számára felmerülő költséget figyelembe veszi. Az Európai Közösség általános definíciója szerint az externáliák olyan hasznok és költségek, amelyek egy csoport gazdasági tevékenységéből keletkeznek egy másik csoportra irányuló olyan hatás során, melynek teljes számításba vétele nem sikerül vagy nem történik meg.

Az externális költségeket két fő csoportba osztja a szakirodalom:

- *Környezeti és egészségügyi externáliák:* Ezeket továbbbonthatjuk lokális, regionális, vagy globális hatásokra, pl. klímaváltozás, vagy az ózonréteg pusztulása
- *Nem egészségügyi externáliák:* Rejtett költségek, például amelyeket az adófizetők ártámogatások és K+F költségek formájában fizetnek ki.

A villamosenergia termelése során felmerülő externáliák elemzése során a környezeti és egészségügyi externáliák vizsgálatát kell elsősorban elvégezni, amennyiben valós költségértékelést akarunk. A költségek externalitása itt is azt jelenti, hogy azokat harmadik fél (és a jövő generáció) fizeti.

A következőkben a nukleáris erőművek externális hatásainak általános áttekintését, majd a nukleáris és konvencionális erőművi technológiák komparatív elemzését mutatjuk be az externális költségek szempontjából.

Nukleáris üzemanyagciklus

A nukleáris üzemanyagciklust, amely az urániumoxid használatával állít elő energiát, 8 különálló szakaszra lehet bontani. Minden egyes szakaszon speciális technológiát alkalmaznak, és minden egyes folyamatot más helyen hajtanak végre. A fő szakaszok a következők:

1. Bányászat és őrlés
2. Átalakítás
3. Dúsítás
4. Fűtőelem előállítása
5. Elektromos áram előállítása
6. Kimerült fűtőelem reprocessálása
7. Kis és közepes aktivitású hulladék-anyag eltávolítása
8. Nagy aktivitású hulladék-anyag eltávolítása

A nukleáris üzemanyagciklus radioaktív hulladékokat állít elő. A radioaktivitás szintjétől függően a hulladékok nagy, közepes és kis aktivitási szinteken vannak besorolva. A kis és közepes aktivitású hulladék hatástalanításához már megvan a terület, de eddig még nincs végleges döntés a nagy aktivitású hulladékok hatástalanítására. Lehetségesnek tűnik, hogy mélyen a föld alatt fogják elhelyezni ezeket a hulladékokat, de eddig még nem jelöltek ki telephelyet erre a műveletre. A nyolc szakaszon kívül figyelembe kell venni a telephelyek közötti radioaktív anyagok szállítását is.

A nukleáris energiatermelés externális költségeinek értékelésének és becslési módszertanának bemutatásához az üzemanyagciklus összes lépcsőjére vonatkozó referencia-helyszíneket és technológiákat alkalmaztak a kutatók.

Az elsődleges útvonalak kiértékeléséhez foglalkozni kell a népeiségre ható fizikai hatásokkal. Általánosan elfogadott tény, hogy komoly üzemi baleset kivételével a nukleáris üzemanyagciklus szokásos kibocsátásainak környezeti hatásai elhanyagolhatóak (Molnár, 2001, 2002). Egy lehetséges komoly reaktorbaleset hatásai kockázatalapú módszertan és egy baleset következményeit számító modell használatával lettek meghatározva.

Az atomenergia jelenlegi és jövőbeli szerepe Magyarországon

A MAVIR villamosenergia-rendszerre vonatkozó közép- és hosszú távú forrásoldali kapacitásterve (MAVIR, 2007) szerint a hazai villamosenergia-rendszerre a vizsgált időtávon (2015-ig, és 2025-ig) az alábbiak lesznek a jellemzők.

Jelenleg a hazai erőművekből kiadott villamos energia mintegy 37%-a származik az atomerőműből, 20%-a a szilárd tüzelőanyagot is felhasználó erőművekből, a szénhidrogén-tüzelésű nagyerőművek pedig 28%-át állítják elő a hazai erőművekből

származó villamos energiának. Az előrejelzés szerint 2015-re a villamosenergia-iparág teljes energiafelhasználásának (~450 PJ) többsége földgázból származik majd (37% - kicsit növekedve), de jelentős lesz a hasadóanyag-felhasználási arány (34% - növekedve) és a szén részaránya (18% - csökkenve), a megújulók aránya elérheti a 8%-ot.

A MAVIR tanulmány szerint középtávon 2015-ig legalább 10500 MW bruttó forrásoldali kapacitásra van szükség. A ma meglévő 8800 MW hazai és 700 MW körüli beszerzési – összesen 9500 MW – forrásból akár 2000 MW megszűnésére is lehet számítani, ezért legalább 3000 MW – évente 350-400 MW – bruttó forrásoldali többletre kell hazánkban felkészülni.

Hosszú távon, 2025-ig legalább 12000 MW bruttó forrásoldali teljesítőképesség szükséges. A ma meglévő összes kapacitás azonban addigra akár 4500 MW-tal is csökkenhet, ezért legalább 7000 MW – évi átlagban közel 400 MW – új forrást kell az évszázad első negyedének végéig megteremteni.

A Paksi Atomerőmű 2030-ig az élettartam-hosszabbítás miatt normál módon működik tovább, tehát évente mintegy 15 TWh villamos energiát termelhet. Az élettartamának 40- 50. éve között feltehetően üzembiztonsági gondok nem jelentkeznek. Hosszú távon azonban elő kell készíteni a helyettesítést, amely átmenetileg bővítést jelent. A húszas években már foglalkozni kell azzal, hogy két, harmadik nemzedékes atomerőműves egységekhez tartozó blokkal bővíteni kell annak érdekében, hogy a hazai termelésben továbbra is meghatározó helyet foglaljon el a hasadóanyag. Ha nem bízánk – nem várt események miatt – a meglévő egységek üzemidejének a harmincas évekre való kiterjesztésében, akkor a bővítés – helyettesítés – előkészítésével már a tízes években foglalkozni kellene. A szakemberek mindazonáltal nem várják, hogy 2025 előtt új blokkok üzembe helyezésére sor kerülne.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Az ExternE projekt

A légköri kibocsátások környezetterhelésének vizsgálata növekvő figyelmet kapott az elmúlt időszakban, különös tekintettel a kibocsátások externális költségeire vonatkozó vizsgálatokra. A kutatások intenzifikálódásával megjelent az igény egy közös adatbázis kifejlesztésére, amely regionális szinten értékeli a légszennyező anyagok környezeti hatásait. Az ExternE Projekt első szakaszában a munka a helyi hatásokra koncentrált, a különböző országok szakértői olyan adatforrásokat készítettek, amelyek minden országban elérhetővé váltak. Később ezeket az adatokat összehasonlították, és rájöttek, hogy minden ország más adatforrást és rácsalapú módszereket használt, amelyek nehezen összehasonlíthatóak. Logikus lépésként kiterjesztették a munkát és az elemzést európai szintre, és egy közös adatbázist fejlesztettek ki, amely az összes ExternE Projektben résztvevő kutató számára elérhető. A következő lépés pedig az volt, hogy kapcsolatot teremtsenek az adatbázis és modellek között, amely garantálja a keretmunka összehangolt, egységes kivitelezését. Ennek a kutatásnak az eredményeként született meg az *EcoSense modell*, melyet nemzetközi (TÉT) együttműködés keretében hazai kutatók is megvizsgáltak (*Debrecin et al., 2007*).

Az EcoSense számítógépes modellrendszer

Egy adott erőművi rendszer externáliáinak kiszámításához szükséges az erőművi ártalmak terjedési útvonalának (impact pathway, IP) vizsgálata a kibocsátó forrástól a különböző receptorokig, pl. lakosság, állatállomány, növénytakaró, termények, anyagi javak, amelyek több ezer kilométeres távolságban is lehetnek. Mivel a légköri

kibocsátások számos receptort károsíthatnak, hatásaik elemzése komplex feladat. Ennek elérésére, az EU ExternE (*Externalities of Energy*) kutatási együttműködésének keretében fejlesztették ki több mint tíz év alatt az EcoSense modellrendszert. A következőkben a modell alapvető tulajdonságait mutatjuk be.

Az ártalmak terjedési útvonalaának módszertana az alábbi négy analitikus lépésre osztható:

- A kibocsátások kiszámítása (CO₂, SO₂, NO_x stb. /kWh) az adott erőművi forrásból.
- Terjedési modellezés meteorológiai és egyéb adatok segítségével, a légköri koncentrációs értékek változását vizsgálva regionális szinten
- Hatásvizsgálat: a szignifikáns koncentrációváltozással sújtott területeken levő receptorokra gyakorolt hatást a dózis-válasz függvényekkel lehet modellezni. A fontosabb, receptorokra vonatkozó adatok a modelladatbázisban találhatóak.
- A hatások monetizálása: utolsó lépésként a kWh-nkénti hatások pénzben való kifejezése történik, a kiszámított fizikai-fiziológiai károsodás pénzügyi skálán való értékelésével.

A modell-összefüggések az adatbázisban egyenletekként, pénzügyi értékeként, dózis-válasz függvényekként vannak rögzítve, melyeket a felhasználó módosíthat. A rendszer megengedi a modell paramétereinek módosítását is, így a modell nem viselkedik „fekete dobozként”, a felhasználó nyomon tudja követni, hogy éppen mit csinál a rendszer.

Az EcoSense modellezési területe

Az EcoSense a levegőben terjedő szennyező anyagok elsődleges, azaz az egészségre, a mezőgazdasági termésre, az épületek állagára, az erdőkre és az ökoszisztémára vonatkozó hatásait vizsgálja. A globális felmelegedés bár természetesen elsődleges hatás, a modell mégsem vizsgálja a teljesen eltérő mechanizmusok miatt, sőt a foglalkozási és nyilvános balesetekkel sem foglalkozik, mert ez inkább a statisztikai becsléseken alapul, mint a modellezésen.

Az EcoSense moduljai

Az 1. ábra az EcoSense modellstruktúráját mutatja. Az összes adat – a bemenő adatok, a közbeni és a végeredmények - a relációs adatbázisban vannak tárolva. Az EcoSense-be integrált két szennyezőanyag-terjedési modell önálló egység, amelyek a rendszerrel elő-, és utófeldolgozó egységen keresztül vannak kapcsolatban. Az egyes hatásvizsgálatokhoz önálló modulok állnak rendelkezésre, amelyek azonban a közös adatbázist használják. A technológiai adatbázisban főleg légminőségi vonatkozású erőművi adatok találhatóak, például kibocsátási tényezők, füstgáz-jellemzők, a földrajzi koordináták, és kéménygeometriai adatok. A környezeti adatbázis az EcoSense alapvető eleme, amely áttekintést ad a receptorok eloszlásáról, a meteorológiai jellemzőkről, és egy európai szintű kibocsátási leltárt is tartalmaz. Az összes földrajzi információ az EuroGRID rendszer használatával került bevitelre, amely egyforma területű (10000 km² és 100 km²) rácscellákat határoz meg, lefedve ezzel Európa összes uniós és nem uniós országát.

Szennyezés-terjedési modellek

Az EcoSense rendszer két terjedési modellt tartalmaz a különböző légszennyező anyagokra vonatkozó és különböző léptékű vizsgálatok számára.

- Az első a Komplex Ipari Forrásmodell (*Industrial Source Complex Model-ISC*). Ez egy Gauss-féle csóvamodell, melyet az USA Környezetvédelmi Hivatala (US-EPA) fejlesztett ki (*Brode és Wang, 1992*). Ez a modell az elsődleges légszennyező anyagok (SO₂, NO_x és makrorészecskék) helyi méretű terjedési modellezésére használható.

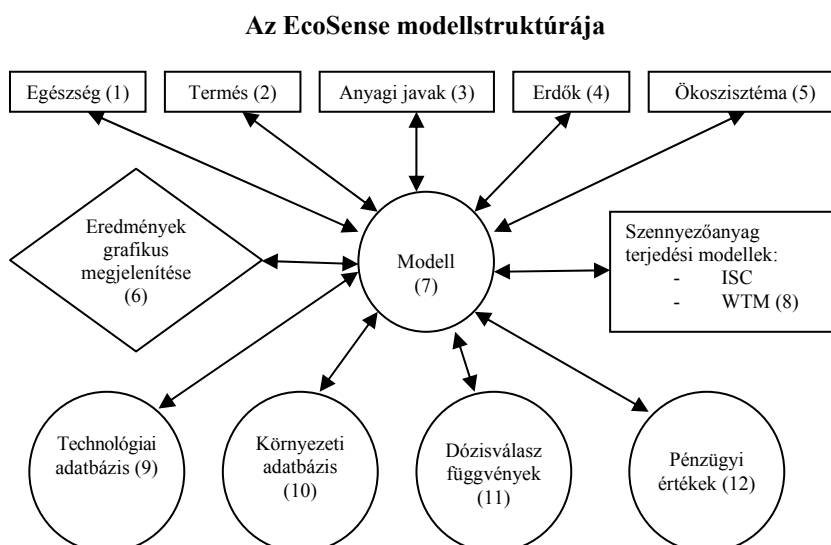
- A második modell a Szélirány-Pálya Modell (*Windrose Trajectory Model-WTM*). Ez a felhasználóbarát pályagörbe modell a Harwell Trajektória Modell szélrózsa-közelítő modelljén alapul, amelyet a Harwell Laboratory (*Derwent et al., 1988*) fejlesztett ki.

Az összes, a WTM számára szükséges bemenő adatot az EcoSense adatbázis biztosítja.

A lokális szintű, egyedi meteorológiai adatokat a felhasználónak kell bevennie a rendszerbe a lokális szintű modell (ISC) lefuttatásához.

A környezeti adatbázis tartalmazza azokat a terjedési modelleket, amelyekkel számítható egy terület lerakódási koncentrációja.

1. ábra



Forrás (Source): <http://www.ier.uni-stuttgart.de/forschung/modmeth/ecosense/ecosense.html>

Figure 1 Structure of the EcoSense model

Human Health(1), Crops(2), Materials(3), Forests(4), Ecosystems(5); Grafical Display of Results(6), Model(7), Air Transport Models: ISC, WTM(8), Technology Database(9), Reference Environment Database(10), Dose-response Functions(11), Monetary Values(12)

Hatásértékelő modul

A hatásértékelő modul fizikai hatások, és lehetőség szerint azok által okozott károk költségeit számítja a hatás-válasz függvények alkalmazásával, amiket a felhasználó választ ki az egyes ráccsellákban figyelembe véve a környezeti adatbázisban megadott légszennyező anyagok eloszlási és koncentrációs szintjét.

Az eredmények megjelenítése

A bemenő adatok és a közbülső eredmények a hatáselemzés néhány lépése után kvantitatív vagy grafikus formában jelennek meg. Földrajzi információk, mint például népességeloszlás vagy a szennyezőanyagok koncentrációja térképen is megjeleníthető.

EREDMÉNY ÉS ÉRTÉKELÉS

Az 1. táblázatban az EcoSense 4.0-val kapott futtatási adatokat ismertetjük. A kárkölségeket eurocent/kWh mértékegységben adjuk meg.

A 2. ábra szemlélteti a kapott eredményeket. Az erőművi technológiák teljes társadalmi költségeit tekintve legköltségesebbnek a szén és lignitalapú tüzelési technológiák bizonyultak, míg a legkedvezőbbek a megújuló alapú termelési technológiák és a nukleáris energia hasznosítása.

A globális felmelegedés hatásait kiszűrve a vizsgálatból megjegyzendő, hogy a gáztüzelés környezeti externáliáinak hatása nagyon kedvezőeknek bizonyultak. A megújuló energiaforrások a hagyományos externáliákat tekintve gyakorlatilag elhanyagolható hatással bírnak, kivétel ez alól a napenergia fotovillamos hasznosítása.

1. táblázat

Villamos energia előállításának számított externális költségei

	Erőművi technológia(1)						
	Kőszén(2)	Lignit(3)	Gáz(4)	Nukleáris(5)	Nap(6)	Szél(7)	Víz(8)
Kárkölségek(9)*							
Zaj(10)	0	0	0	0	0	0,005	0
Egészség(11)	0,73	0,99	0,34	0,17	0,45	0,072	0,051
Anyagi javak(12)	0,015	0,020	0,007	0,002	0,012	0,002	0,001
Termés(13)	0	0	0	0,0008	0	0,0007	0,0002
Ökoszisztéma(14)	0,20	0,78	0,04	0,05	0,04	0,04	0,03
Globális felmelegedés(15)	1,6	2,00	0,73	0,03	0,33	0,04	0,03

* Eurocent/kWh, 19 Euro/t CO₂ széndioxid-kvótaárral számolva (Numbers in Eurocent/kWh, CO₂ emissions are valued with avoidance costs of 19 Euro/t CO₂)

Table 1 Quantified marginal external costs of electricity production

Power generation technologies(1), Coal(2), Lignite(3), Gas(4), Nuclear(5), PV(6), Wind(7), Hydro(8), Damage Costs(9), Noise(10), Health(11), Materials(12), Crops(13), Ecosystems(14), Global Warming(15)

Hazai kapacitásbővítés externális költségeinek szimulációja

A hazai kapacitásbővítést az alábbi feltételezések mellett vizsgáltuk. A MAVIR tanulmányban adott kapacitásbővítési és rendszerfejlesztési terveket figyelembe véve, a paksi kapacitások 2030-ig, az élettartam-hosszabbítás végéig működnek. A kieső kapacitás pótlásáról való döntés hosszú távú tervezés eredményeként kell, hogy előálljon, és dinamikusan változó körülményekhez igazodik majd, emiatt jelenlegi vizsgálata feleslegesnek tűnhet, ugyanakkor számos tanulsággal szolgálhat a jelenleg működő erőművi kapacitások hatásbecslése, és a jövőbeli döntéshozatal megalapozása szempontjából is.

Az előrejelzések szerint 2030-ra hozzávetőleg 62,3 TWh lesz a hazai villamosenergia-fogyasztás, ebből a meglévő paksi blokkok 15 TWh-t tudnak biztosítani alaperőműként. A megnövekedett igényt tekintve kívánatosnak egy 20 TWh-t biztosító alap erőművi egység lenne tekinthető (nagyjából 2400 MW beépített teljesítménnyel).

2. ábra

Aggregált externális költségek az Ecosense modell futtatásai szerint

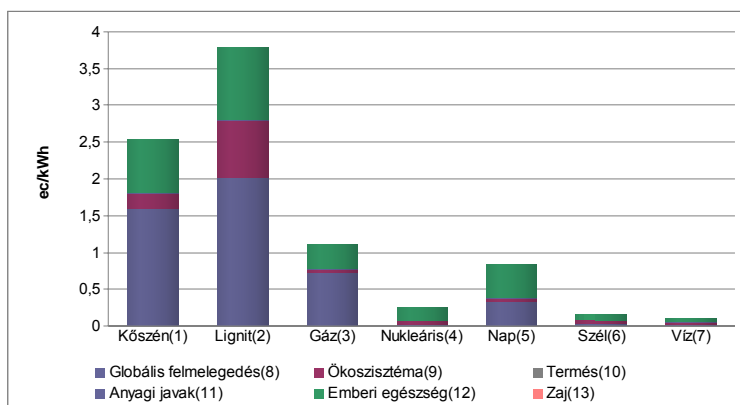


Figure 2 Aggregated external costs from the EcoSense model runs

Coal(1), Lignite(2), Gas(3), Nuclear(4), PV(5), Wind(6), Hydro(7), Global Warming(8), Ecosystems(9), Crops(10), Materials(11), Health(12), Noise(13)

Hazai viszonylatban ezt reálisan gáztüzelésű egységekkel, szén/lignittüzeléssel, és nukleáris egységgel lehet megvalósítani, a megújuló források alap erőművi hasznosítása nem reális, a kiserőművek pedig hasonló fajlagos hatású gáztüzelésű egységeket alkalmaznak. A biomassza-tüzelés az üzemanyag-ellátás megoldatlansága illetve a termelési volumen nagysága miatt szintén nem tekinthetjük reális alternatívának.

A feltett kapacitáspótlást a hazai importdiverzifikációs stratégia értelmében egy kevert lignit és gáztüzelésű bővítéssel is vizsgáltuk, a nukleáris energiát azonban a kapacitás miatt nem érdemes kisebb teljesítménnyel üzembe helyezni, tehát kevert nukleáris forgatókönyvet nem tételezünk fel.

Itt, mivel hosszútávú tervezésről van szó, az erőművi beruházási és üzemeltetési költségeket nem becsüljük, csupán az externális költségek szempontjából állítunk fel sorrendet. Meglehet, sőt valószínű, hogy az összesített, teljes költségigény eltérő sorrendet ad majd a döntéshozó számára. Hangsúlyozni kell azonban, hogy a környezeti rangsor a fenntartható fejlődés szempontjait figyelembevevő hazai energiastratégia kialakítása során a döntéshozók számára fontos inputadatként szolgálhat, így vizsgálata mindenképpen indokolt.

KÖVETKEZTETÉSEK

A vizsgálatok eredményét a 3. ábra és a 2. táblázat összegezi. A kapott eredmények alapján látható, hogy a nukleárisenergia-felhasználás externális, környezeti, társadalmi költségei egy nagyságrenddel alacsonyabbak az egyéb, fosszilis tüzelőanyagot hasznosító erőművi megoldásoknál. A megújuló energiák nem jelennek meg alaperőművi megoldásként, azonban meg kell jegyezni, hogy környezetileg a legtöbb esetben előnyösebbek a nukleáris energiánál, technikailag azonban nem versenyképesek (szabályozhatóság, stabilitás, méretgazdaságosság).

3. ábra

Összes számított éves externális költség az egyes scenáriókban

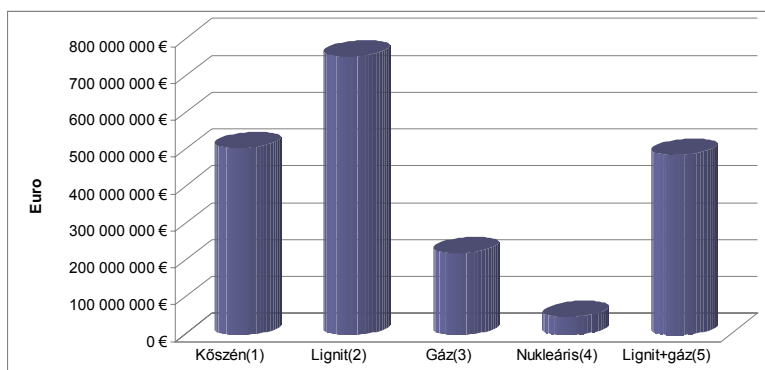


Figure 3 Total annual external costs in the respective scenarios

Coal(1), Lignite(2), Gas(3), Nuclear(4), Lignite + Gas(5)

2. táblázat

20 TWh/év kapacitás alternatív megoldásainak externális költsége Euróban

20 TWh/év (1)	Kőszén (2)	Lignit (3)	Gáz (4)	Nukleáris (5)	Lignit+gáz (6)
Emberi egészség(7)	$1,46 \cdot 10^8$	$1,98 \cdot 10^8$	$6,8 \cdot 10^7$	$3 \cdot 10^7$	$1,33 \cdot 10^8$
Anyagi javak(8)	$3 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^6$	10^6	$4 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^6$
Termés(9)	0	0	0	$1,6 \cdot 10^5$	0
Ökoszisztéma(10)	$4 \cdot 10^7$	$1,56 \cdot 10^8$	$8 \cdot 10^6$	10^7	$8,2 \cdot 10^7$
Globális felmelegedés(11)	$3,2 \cdot 10^8$	$4 \cdot 10^8$	$1,5 \cdot 10^8$	$6 \cdot 10^6$	$2,73 \cdot 10^8$
Összes externális költség(12)	$5,09 \cdot 10^8$	$7,58 \cdot 10^8$	$2,2 \cdot 10^8$	$5,056 \cdot 10^7$	$4,907 \cdot 10^8$

Table 2 External costs (in Euro) of alternative solutions of 20 TWh/a capacity

20 TWh/a(1), Coal(2), Lignite(3), Gas(4), Nuclear(5), Lignite + Gas(6), Health(7), Materials(8), Crops(9), Ecosystems(10), Global Warming(11), Total External Costs(12)

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők szeretnék köszönetüket kifejezni az OTKA 68187. számú pályázatának a támogatásáért.

IRODALOM

- Brode R.W., Wang J. (1992): Users's Guide for the Industrial Source Complex (ISC2) Dispersion Models. Volumes I-III. EPA-450/4-92-008a. EPA-450/4-92-008b. EPA-450/4-92-008c. U.S. Environmental Protection Agency. North Carolina.
- Derwent R.G., Dollard G.J., Metcalfe S.E. (1988): On the nitrogen budget for the United Kingdom and north-west Europe. In: Q. J. R. Meteorol. Soc. 114. 1127-1152. p.
- ExternE (2010): Externalities of Energy. A Research Project of the European Commission Online: <http://www.externe.info/>
- EuroGRID rendszer(2010): Online: <http://www.eurogrid.org/>
- Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító ZRt., Rendszerirányítási Igazgatóság (RIG), Kapacitástervezési Osztály (KTO) (2007): A villamosenergia-rendszer közép- és hosszú távú forrásoldali kapacitásterve
- Molnár M. (2001): Analysis of Nuclear and other Energy Options in Greenhouse Gas Emission Reduction. IAEA, Progress Report. (I1.40.02). CRP 9628
- Molnár M. (2002): Possible role of nuclear power in reducing greenhouse-gas emissions in the Hungarian power sector. Proceedings of the 4th International Conference on Nuclear Option In Countries With Small and Medium Electricity Grids. 2002, HND, Zagreb, 1-7. p. (S.3.3.)
- Debrecin N., Kovacevic T., Molnár M., Molnár S. (2007): The Impact Pathway Method for Estimating External Costs of Electricity Generation, In: Hungarian Agricultural Engineering, 20. 70-72. p.

Levelezési cím (*Corresponding author*):

Molnár Sándor

Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar
2100 Gödöllő, Práter Károly u. 1.

*Szent István University, Faculty of Mechanical Engineering,
Institute of Mathematics and Informatics
H-2100 Gödöllő, Práter Károly u. 1.*

Tel: +36-28-522-000/1511

e-mail: molnar.sandor@gek.szie.hu