

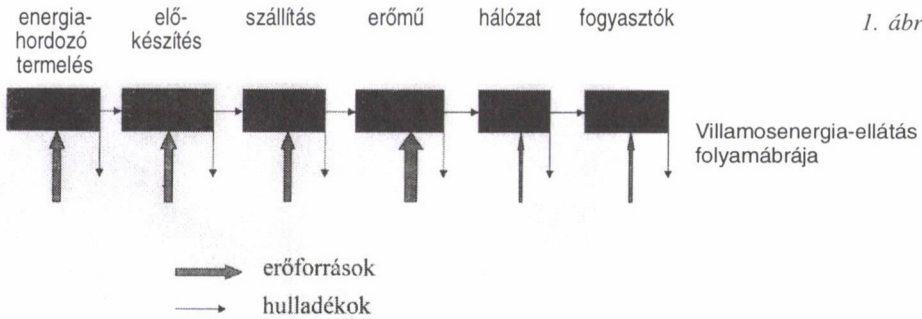
Vajda György

## A villamosenergia-ellátás társadalmi kockázata

---

Az utóbbi évtizedben világszerte erősen megnőtt a félelem a villamosenergia-ellátás veszélyei és ártalmai miatt. Hazánkban is nemritkán nyilvánult meg társadalmi konfliktusokban. Példaképp említem Bős—Nagymaros ügyét, az atomerőművi radioaktív hulladéktároló ellenzését Ófalun és másutt, a demonstrációkat az erőmű légszennyezése miatt többek között Ajkán és Százhalombattán, a polgári engedetlenséget Kelenföldön az erőművet ellátó gázvezeték építésének megakadályozására, a villamos távvezeték építésének megakadályozását Budakalászon, a Mohi Atomerőművel kapcsolatban megnyilvánuló aggályokat, és még lehetne folytatni a sort. Meg kell tanulnunk e problémák kezelését, egyrészt a döntések során a hatások mértékének értékelésére, másrészt a társadalmi beleszólás lehetőségét komolyan vevő állampolgárok támogatására, hogy reálisan tudják megítélni a veszélyek mértékét. El kell kerülnünk, hogy érzelmek és indulatok befolyásolják állásfoglalásainkat, nehogy vélt veszélyek elhárítására fordítsuk véges anyagi erőforrásainkat, háttérbe szorítva a valós veszélyek elleni fellépést. Munkámmal<sup>1</sup> ehhez kívántam hozzájárulni. Természetesen egy rövid referátumban a témakör részletes kifejtése helyett csupán néhány kiragadott eredmény szemléltetésére nyílik mód. Ezek értelmezésének megkönnyítésére néhány módszertani megjegyzést előre kell bocsátani.

Ha meg akarjuk ítélni, hogy milyen kockázattal jár együtt egy társadalmi szükséglet kielégítése, akkor számba kell venni az ehhez szükséges összes tevékenység veszélyeit. Egyes elszigetelt létesítmények — például egy erőmű — kiragadott vizsgálata nem ad teljes képet a kockázatról. A villamosenergia-ellátás esetében ez egy olyan vertikum vizsgálatát igényli, mely a primer energiahordozók kitermelésétől a villamos fogyasztók ellátásáig terjed (1. ábra). A teljes képhez hozzátartoznak az egyes fázisok (energiahordozók kitermelése, szállítása, előkészítése, erőmű, villamosenergia-átvitel, fogyasztók) létrehozásához és működtetéséhez szükséges erőforrások biztosításával együtt járó kockázatok, sőt a hulladékok hatása is. Az Ágazati Kapcsolatok Mérlegéből (ÁKM) meghatározható, hogy a különféle ágazatok tevékenységük mekkora hányadával



1. ábra

járultak hozzá a villamos energetika működéséhez, feltételezhető, hogy ártalmaknak is ilyen aránya növeli a villamos energetikáét.

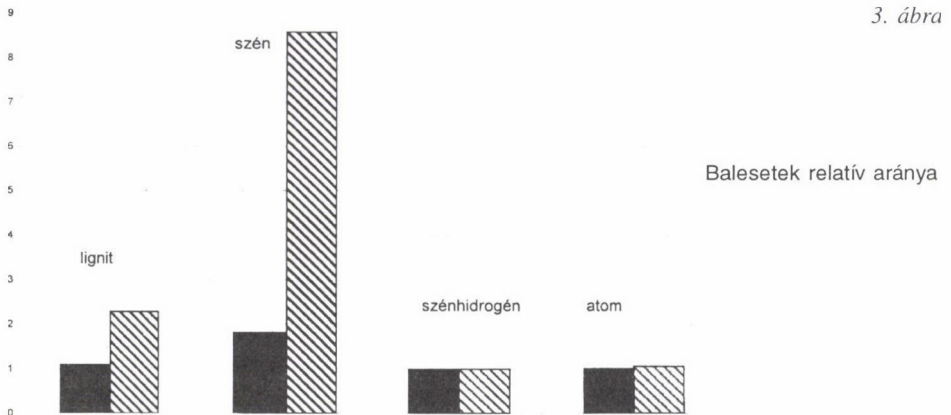
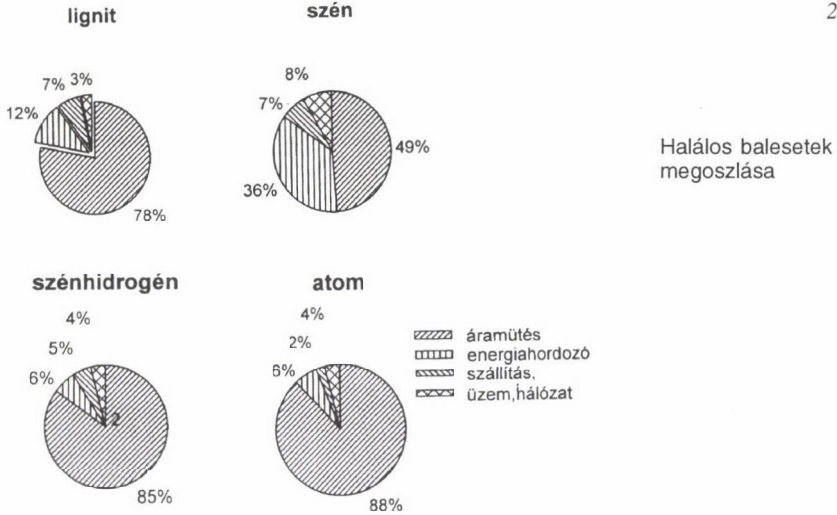
A társadalom tűrőképessége szubjektív. Jobban tolerálja az önként vállalt veszélyeket, mint a kényszerűen elviseltek, egyes tevékenységek (például foglalkozások, közlekedés) kockázatait magától értetődőnek tartja, viszont sokkal kisebbeket (például hulladéktárolók) esetleg elviselhetetlennek tekint. Fogódnak híján fogas kérdés, hogy egy villamos energetikai vertikum eredő kockázata elviselhető-e vagy nem. Biztosabb talajon mozgunk, ha egyetlen megoldás helyett a szükséglet kielégítésére alkalmas változatokat hasonlítunk össze, és így keressük a legkisebb kockázattal járó megoldást. Vizsgálatomnál az energia-bázis tekintetében a Magyarországon reális alábbi négy változatot vettem figyelembe:

- külfejtési lignit,
- mélyművelési szén,
- szénhidrogén,
- atomenergia.

A kockázatvizsgálat többnyire az egészségi ártalmakra korlátozódik. Teljesebb a kép, ha ezt kiterjesztjük az életkörülményeket befolyásoló hatásokra is, vizsgálva a természeti és az épített környezet károsodását, az anyagi károkat, sőt bizonyos gazdasági és társadalmi kölcsönhatásokat is. A döntéseknél ugyanis a társadalomnak mindezekkel szembesülnie kell.

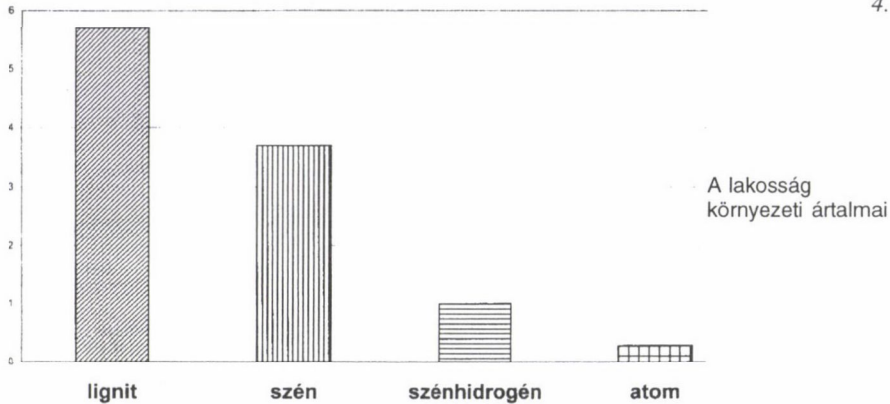
Az értékeléshez a számszerűsíthető következményekből, az adott ellátási mód szerint fejlesztett villamosenergia mennyiségére vetítve, fajlagos mutatókat képeztünk, ezek aránya szerepel az ábrákon. Nem mérhető következményeknél a tapasztalatokra alapuló szubjektív sorolást alkalmaztunk. Az utóbbi eljárás védelmére szolgál, hogy a látszólag objektív eljárások is előbb-utóbb szubjektív módszerre kényszerülnek. Például a költség—haszon számításnál meg kell becsülni, hogy fognak alakulni a jövőben az olyan alapvető tényezők, mint a kamatláb, az infláció, az olajár vagy a nemzeti jövedelem. Méghozzá a létesítmények hosszú élettartama miatt több évtizedes előretartással. A Boole-algebra módszereire alapozott PSA számításoknál is szubjektíven kell eldönteni, milyen eseményláncokat vesznek figyelembe, melyek a közös okokból eredő hibák, a hiányzó adatokat milyen analógiákkal vagy valószínűségi eloszlásokkal helyettesítik.

Természetesen az embereket a legjobban az egészségüket, testi épségüket, életüket veszélyeztető hatások nyugtalanítják. Nem léteznek olyan emberi tevékenységek, melyek nem járnak együtt ilyen kockázatokkal — a villamos energetikában a balesetek és a környezeti ártalmak tartoznak ebbe a körbe.



A balesetekről sokirányú statisztikákkal rendelkezünk, jelleg, ok, kimenet stb. szerinti csoportosításokban. A legtöbb baleset az energetikai vállalatok dolgozóit érinti, de főleg az anyagszállítás és az áramutések a kívülálló lakosságot is veszélyeztetik. A súlyos kimenetű balesetek száma kereken egy nagyságrenddel haladja meg a halálos kimenetűekét, a könnyű balesetek mértéke egy további nagyságrenddel nagyobb. Meglepő módon a halálos balesetek domináns oka mind a négy változatnál áramútés a nem professzionális körben (2. ábra). A 3. ábra a halálos balesetek relatív arányát hasonlítja össze, a vonalkázott hasábok az áramutések nélküli esetre vonatkoznak, ebben kitűnik a mélyműveléses szénbányászat veszélyessége.

A fejlett országokban igen sok epidemiológiai vizsgálatot végeztek a környezeti ártalmakról, de ezek eredménye nagyon ellentmondó. Nehéz korrelációt találni a sokféle, egymásra szuperponálódó környezetszennyezés és a sokféle okból bekövetkező ártalmak egy-egy eleme között. Feltételezhető viszont, hogy az ártalmak a szennyező kibocsátással arányosak. A fosszilis tüzelőanya-



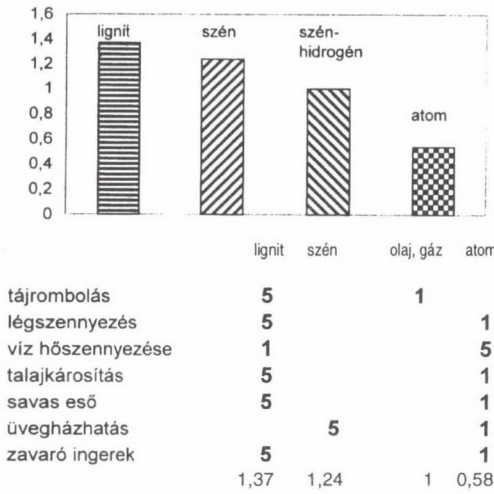
gokra alapuló változatoknál az erőművek légszennyezése által okozott légzőszervi ártalmakat, a nukleáris opciónál a teljes vertikum ionizáló sugárzás okozta sztochasztikus ártalmait tekintettük mértékadónak (4. ábra).

A szubjektív megítélés miatt külön kell kezelni az atomerőmű nagymértékű környezeti kibocsátással járó súlyos balesetének kérdését. Ilyen akkor következhet be, ha a nem kielégítő hűtés miatt a reaktor aktív zónája megolvad, és egyidejűleg az aktív anyagokat befoglaló primer kör, valamint a környezetet védő hermetikus burkolat is megsérül. A csernobili katasztrófához hasonló méretű baleset még az RBMK<sup>2</sup> típusú reaktoroknál sem ismétlődhet meg, többek között e szörnyűséges esemény tapasztalatai<sup>3</sup> alapján megvalósított biztonságnövelő intézkedéseknek köszönhetően. A nyomottvízes atomerőművek — amilyen a Paksi Atomerőmű is — inherens tulajdonságai miatt pedig lehetetlen egy ilyen méretű katasztrófa előfordulása. Természetesen azt nem lehet kizárni, hogy sokkal kisebb méretű környezetszennyezéssel járó zónaolvadási baleset Pakson is előfordulhasson, de ennek nagyon kicsi a valószínűsége. Pakson a biztonságnövelés révén a zónaolvadás valószínűségét sikerült egy nagyságrenddel csökkenteni és megközelíteni az IAEA<sup>4</sup> által a jelenleg épülő atomerőművekre ajánlott  $10^{-5}$  valószínűséggel. Ilyen valószínűséggel a lehetséges ártalmak számszerű mértéke nem riasztó, különösen ha e feltételezett következményt összevetjük a fosszilis erőművek folyamatos és tényleges környezetszennyezésének ártalmaival. A baleset determinisztikus következményeképpen fellépő sugárbevitelségek lehetőségét a baleseteknél vettük figyelembe (ezek száma Csernobilban sem volt kiugróan nagy érték, mivel az ennek feltételét jelentő nagy dózis csak a reaktor közvetlen környezetében lépett fel). Ugyancsak a baleseteknél vettük figyelembe a mélybányászat számottevő munkahelyi környezeti ártalmait (szilikózis, ionizáló sugárzás okozta rák).

Az 5—12. ábrák azonos szerkezetűek, alsó részükben egy táblázat foglalja össze a figyelembe vett fontosabb hatásokat, 1, illetve 5 számmal jelezve a legkedvezőbb, illetve legkedvezőtlenebb változatot. Az ábra felső részében a hatások minősítésének összegzése alapján kialakított relatív arányok szerepelnek.

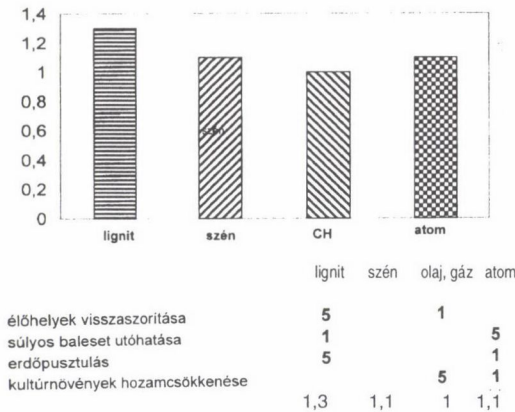
A környezetszennyezésnek az egészségkárosításon kívüli hatásairól ad képet az 5. ábra. Az atomos változat kedvező helyezése a kibocsátások kis mértékén múlik. A legnagyobb tájrombolást a lignit külfejtésének sok km<sup>2</sup>-es munka-

5. ábra



Környezetszennyezés

6. ábra



Az élővilág károsítása

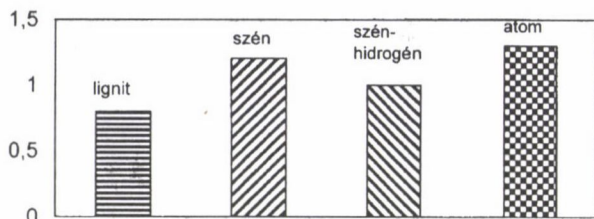
szereplő. Az O<sub>3</sub> keletkezésében alapvető az NO<sub>x</sub> katalizáló szerepe, a legtöbb nitrogén-oxidot a közlekedés bocsátja ki, de a magas égési hőmérséklet miatt a földgáztüzelésű erőművek szerepe sem jelentéktelen.

Az emissziók mellett a környezet károsításában a természeti erőforrások terhelése is szerepet játszik (7. ábra). A villamos energetika — a védőtávolságok számításba vételével — az ország területének mintegy 1,5%-át fedi le. A területfoglalásnál nemcsak a lefedett térség nagysága, hanem az igénybevétel idő-

gödre jelenti. A légkör fizikai állapotát leginkább a széntüzelésből származó aeroszokok befolyásolják. A füstköd keletkezésében az aeroszokok és a savas alkotók, a fotokémiai ködképződésben az NO<sub>x</sub> és CO szerepe meghatározó. Az élővizeket hővel a frissvízhűtési erőművek szennyezik, fajlagosan az atomerőműből kell a legtöbb hőt elvezetni. A legnagyobb mértékű talajkárosítást is a lignitbányászat rovására lehet írni. A savas eső keletkezésében a főszerepet az SO<sub>2</sub> és NO<sub>x</sub> kibocsátás játssza, ezen égéstermékekből a lignittüzelés emittálja a legnagyobb mennyiséget. Az üvegházhatásban a CO<sub>2</sub> a domináns tényező, szénerőműveink rossz hatásfoka perdöntő a sorolásnál. Az egyéb hatások — zaj, láthatóság csökkenése — szerepe másodlagos.

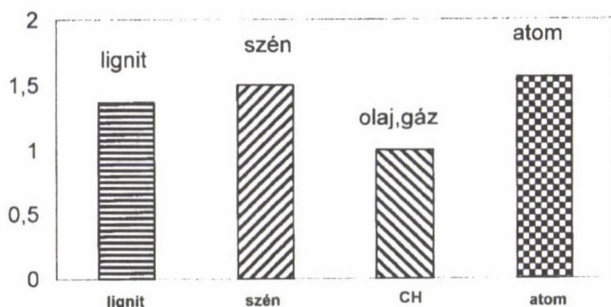
A 6. ábra bizonytalan terepről, az élővilág károsításáról ad képet. Ennek oka, hogy egyrészt a kutatások világszerte kezdeti állapotban vannak, másrészt az eredmények nem általánosíthatók, mert minden élőhelyen más élővilág alakul ki. Élőhelyeket legnagyobb mértékben a hatalmas lignitbánya szorít ki. Vitathatatlanul egy atomerőművi súlyos balesetnek lehet a legnagyobb utóhatása. Az újabb felfogás szerint az erdőpusztulás okainak egyike a talajsavasodás, ami a kén-dioxid emisszió következménye. A kultúrnövények hozamcsökkenésében egy másodlagos légszennyező, az ózon a fő-

7. ábra



A természeti erőforrások terhelése

	lignit	szén	olaj, gáz	atom
területfoglalás és időtartama			1	5
vízki vétel felszíni vizekből	1			5
vízemelés felszín alól		5	1	
ásványvagy on kiaknázása	0,8	1,2	1	1,3



8. ábra

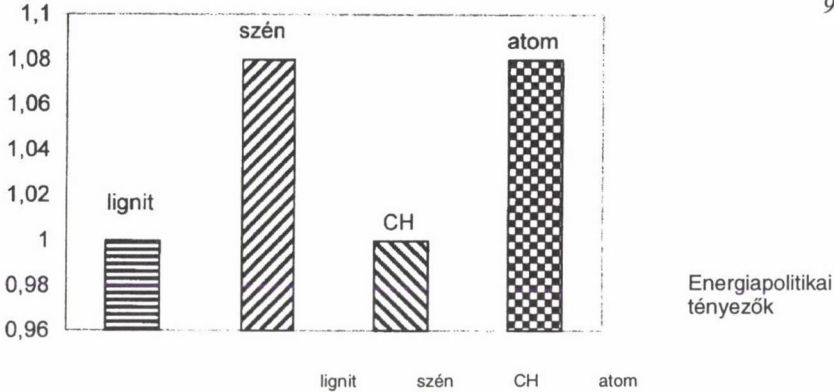
Anyagi károk

	lignit	szén	olaj, gáz	atom
korrózió, erózió	5			1
építkezés kárai			1	5
súlyos baleset kihatása	1			5
korlátozások			1	5
értékvesztés	5		1	
társadalmi költségek			1	5
	1,37	1,5	1	1,56

tartama is lényeges, figyelembe véve a rehabilitáció időigényét is. A nukleáris változat rossz minőségét a radioaktív hulladékok hosszú tárolási ideje okozza. Az ország vízszükségletének 60%-át az erőművek veszik igénybe, a legnagyobb tétel az atomerőmű hűtővize. A felszín alatti vízemelés meghatározó szereplője a bányászat, emlékeztet, hogy a dunántúli karsztvízrendszer egyensúlyának megbomlása miatt vissza is kellett fogni a bányászkodás mértékét. Az ásványvagy on kiaknázásában jó minőségű szénhidrogén-vagy onunk eltüzelése igényel megkülönböztetett óvatosságot.

Az anyagi károk meglehetősen heterogének (8. ábra), a legkedvezőbb minősítése a szénhidrogénes változatnak van. Az építőanyagok erózióját és a szabadtéri fémszerkezetek korrózióját elsősorban az aeroszolok és az alacsony pH-jú savas alkotók idézik elő, a legnagyobb kibocsátó a ligniterőmű. Az értékvesztés lehetősége (telekarak, termésveszteség, bányakárok stb.) is ennél a változatnál a legnagyobb. Jó néhány hatás az atomerőműnél a legkedvezőtle-

9. ábra



	lignit	szén	CH	atom
<b>ellátásbiztonság</b>			<b>5</b>	<b>1</b>
<b>rendelkezésre állás</b>		<b>5</b>		<b>1</b>
<b>rugalmasság</b>			<b>1</b>	<b>5</b>
<b>tüzelőanyag tartalék</b>	<b>1</b>		<b>5</b>	
<b>karbantartásigény</b>			<b>1</b>	<b>5</b>
	1	1,08	1	1,08

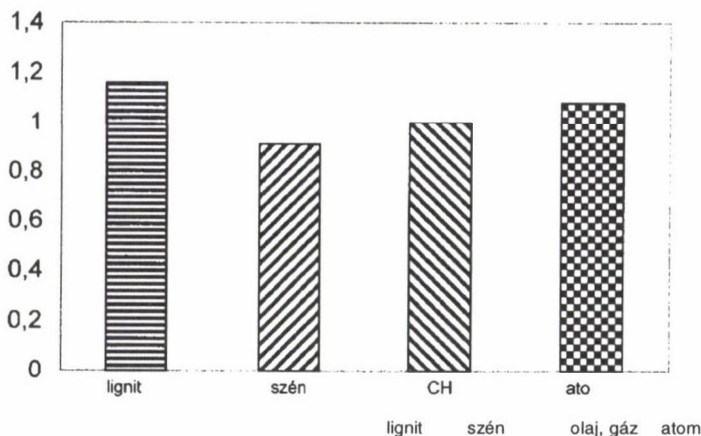
nebb, így az építkezések kárai és zavaró hatásai, ami a létesítmények méreteivel arányos, vagy egy esetleges baleset anyagi kihatása. A nukleáris változatnál jelentősek a lehetséges korlátozások (például megközelítés, szennyezett termékek fogyasztása) és a társadalmi költségek (örzés, felügyelet, ellenőrzés) is nagyok.

Erdemes az energiapolitikát érintő kockázatokat is bevonni a vizsgálat körébe (9. ábra). Nagy — az igények kétharmadát fedező — energiaimportunk miatt kényes kérdés az energiaellátás biztonsága. E tekintetben az atomerőmű stabilizáló tényező, mivel a fűtőelemek kiégetése a reaktorban 3—4 éves üzemeltetést fedez, és a további évekre is elegendő üzemanyag tárolása könnyen megoldható. A műszaki rendelkezésre állás is az atomerőműnél a legnagyobb, viszont a legnagyobb rugalmasságot a könnyen szabályozható szénhidrogén-erőművek biztosítják, ami megkönnyíti csatlakozásunkat a nyugat-európai villamosenergia-rendszerhez (UCPTE<sup>5</sup>). A legnagyobb tüzelőanyag-tartalékkal lignitből rendelkezünk, a legkevesebb karbantartást a szénhidrogénes változat igényli.

A vizsgált változatok makrogazdasági kölcsönhatásaiban lényegesen eltérő előnyök és hátrányok érvényesülnek (10. ábra). A fizetési mérleget a legnagyobb mértékben szénhidrogénimportunk terheli (a kiadásoknak több mint 10%-ával). A tőkeszükséglet a szénhidrogénes megoldásnál a legkisebb, viszont az árszínvonalra és az inflációra legerősebben a kőolaj világpiaci ármozgása hat. A hazai gyártóipar beszállítási lehetőségei a szénhidrogénes változatnál a legnagyobbak, a műszaki fejlesztésre pedig a nukleáris technika gyakorolja a legnagyobb ösztönző hatást.

Bonyolult feladat a társadalmi problémák minősítése (11. ábra). A legtöbb munkahelyet a mélyművelésű szénbányászatra alapuló ellátási mód biztosítja.

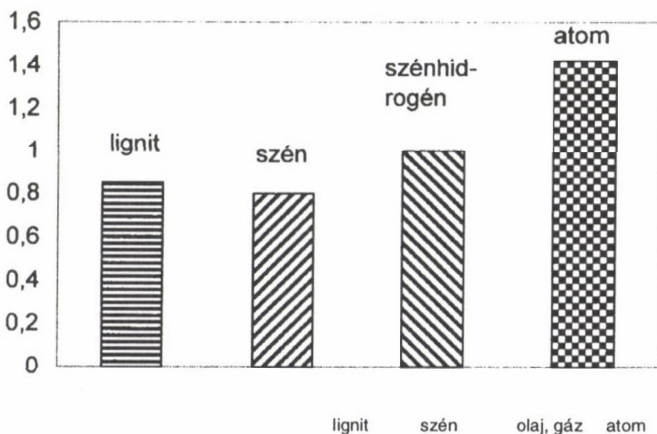
10. ábra



Makrogazdasági hatások

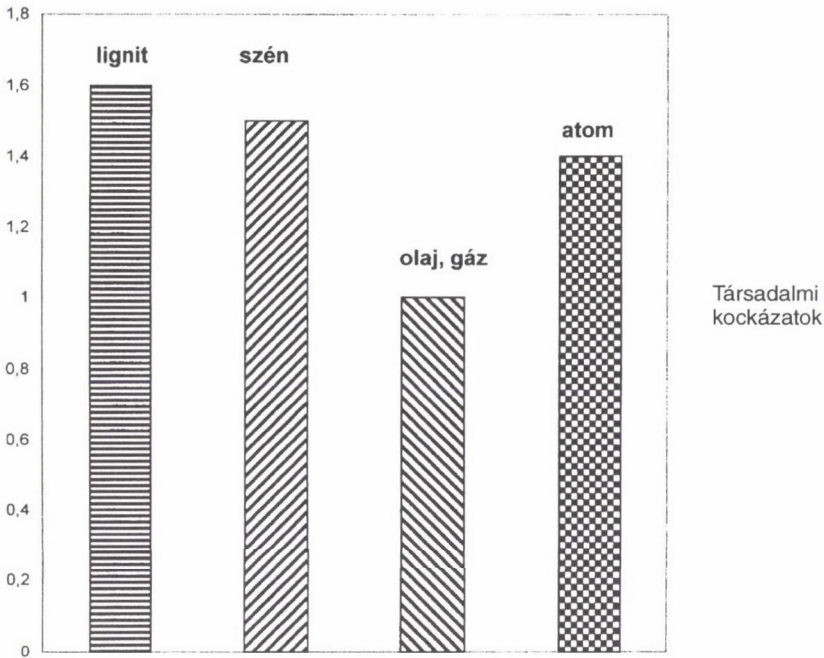
fizetési mérleg rontás		<b>1</b>	<b>5</b>	
tőkeigény			<b>1</b>	<b>5</b>
árfelhajtás, inflációerjesztés			<b>5</b>	<b>1</b>
hazai gyártás beruházáshoz			<b>1</b>	<b>5</b>
műszaki fejlesztés ösztönzése	<b>5</b>			<b>1</b>
	1,16	0,91	1	1,08

11. ábra



Társadalmi problémák

munkahelyteremtés		<b>1</b>	<b>5</b>	
településfejlesztés	<b>5</b>			<b>1</b>
társadalmi elfogadtatás			<b>1</b>	<b>5</b>
állami felügyelet	<b>1</b>			<b>5</b>
nemzetközi figyelem	<b>1</b>			<b>5</b>
fizikai védelem	<b>1</b>			<b>5</b>
	0,85	0,8	1	1,42



A településfejlesztésben az atomipar jár az élen, viszont hátrányosan minősíti a több kérdésben tapasztalható kedvezőtlen megítélése. Jelentős anyagi és szellemi erőket köt le az állami felügyelet, a nukleáris biztonságra megkülönböztetett nemzetközi figyelem irányul (kiemelt feltétel az EU-csatlakozásnál is). Az atomsorompó szerződés<sup>6</sup> betartásához, a hasadóanyag-csempészet megelőzéséhez, a terrorizmus elleni védekezéshez, valamint az emberek és a létesítmények biztonságához szükséges fizikai védelem jelentős tehertétel. A társadalmi elfogadtatás is a nukleáris változatnál a leggyengébb. Bős—Nagymaros ügyében tapasztalhattuk, hogy a társadalom egyetértésének hiánya milyen súlyos gazdasági, társadalmi, külpolitikai és környezeti ártalmakat okozhat. A felszított érzelmek és indulatok rossz döntések sorozatát kényszerítették ki, és — többek között — annyi pénzt „öntöttünk” a Dunába, hogy az abból létrehozható munkahelyek száma megegyezik a statisztikailag nyilvántartott munkanélküliekével.

A 12. ábra a 3—11. ábrákon bemutatott sorolások összegzésével az eredő társadalmi kockázatot kívánja érzékeltetni. A legkevesebb kedvezőtlen hatással, a legkisebb kockázattal az olaj- és gáztüzelésen alapuló szénhidrogénes változat jár, ezért is ez volt a vonatkoztatási alap az előző ábrák összehasonlításainál. Természetesen kizárólag szénhidrogénekre nem alapozható egy nagyon erősen energiaimport-függő ország villamosenergia-ellátása, a biztonsághoz többféle forrásra támaszkodó diverzifikált energiabázisra van szükség. A nukleáris változat a második helyre került, különösen erőforrás-igényessége és a társadalmi problémák rontják kedvező helyzetét a környezetszennyezés terén. A legtöbb hátránnyal a lignitbázisú villamosenergia-ellátás jár, a mélyművelésben termelt barna- és feketeszén helyezése valamivel kedvezőbb.

Emlékeztetek arra, hogy a bemutatott vizsgálatok a Magyarországon ténylegesen működő létesítményekre vonatkoznak. Tervezett új létesítmények értékelése ettől eltérő minősítésre és a változatok más sorrendjére vezethet. Példaképp emlitem, hogy ma már elképzelhetetlen lenne lignit- vagy szénerőmű létesítése füstgáz-kénmentesítés nélkül. A figyelembe vett erőművek egyikében sincs ilyen technológia, és a jelentős  $\text{SO}_x$  kibocsátás lényeges szerepet játszik több kedvezőtlen következmény kialakulásában. Bizonyos, hogy a füstgáz kénmentesítése a lignitre és szénre alapuló változatok megítélését javítaná.

Befejezésül arra kell felhívni a figyelmet, hogy a veszélyek és kockázatok megítélése nagyon fontos, de nem kizárólagos feltétele a döntéseknek. Természetesen elfogadhatatlanul nagy kockázatú változatokat eleve ki kell zárni a megvalósítható megoldások köréből. De a lehetséges megoldások mérlegelésénél a biztonságon kívül más körülményeket is figyelembe kell venni, például a villamosenergia költségét, a változatok tökeigényességét, az illeszkedést az ország energiapolitikájának célkitűzéseivel, környezetvédelmi szempontokat, gazdaságpolitikai és iparpolitikai követelményeket, honvédelmi feltételeket, nemzetközi megállapodásokat (például az Európai Unió feltételeit) stb. Mindezek együttes kezelésének módja túlnó a kockázatvizsgálatok témakörén, a döntéselmélet tárgykörébe tartozik.

#### JEGYZETEK:

- 1 *Vajda Gy.*: Kockázat és biztonság. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1998.
- 2 Grafit moderátorú csatorna típusú reaktor, csak a volt Szovjetunió területén létesült.
- 3 *Vajda Gy.*: Csernobil tanulsága. Magyar Tudomány 31. (12) 970. 1986.
- 4 International Atomic Energy Agency (Nemzetközi Atomenergia Ügynökség)
- 5 Union pour la coordination de la production et du transport de l'électricité, Villamos Energia Termelést és Szállítást Koordináló Egyesülés
- 6 Non Proliferation Treaty, Atomfegyverek elterjedését megakadályozó nemzetközi szerződés.