

**Dr. Fazekas András István**

**6.**

**VILLAMOSENERGIA -  
TERMELÉSI TECHNOLOGIÁK  
ÖSSZEHASONLÍTÁSA**

**A KOMPLEX ÖSSZEHASONLÍTÁS  
SZEMPONTRENDSZERE**

**BUDAPEST  
2005. január**

*Dr. Fazekas András István*

**6.**

**VILLAMOSENERGIA-  
TERMELÉSI  
TECHNOLÓGIÁK  
ÖSSZEHASONLÍTÁSA  
A KOMPLEX ÖSSZEHASONLÍTÁS  
SZEMPONTRENDSZERE**

*Budapest  
2005. január*

Ez a kiadvány a Magyar Atomfórum Egyesület által közreadott sorozat része, amely a hazai villamosenergia-ellátás jövőjének kérdéseit vizsgálja. Külön kötetek foglalkoznak a szóba jöhető változatok bemutatásával, a különböző energiaforrások előnyeinek, hátrányainak és kockázatainak ismertetésével. Amennyire lehetséges volt az egyes részek kitérnek a technológiához kapcsolódó társadalmi, közgazdasági, jogi környezet kérdéseire is. A sorozat keretében az alábbi témakörök feldolgozására került sor:

1. Hazai energiaigények
2. Hazai villamosenergia-források
3. Fosszilis erőművek
4. Atomerőművek
5. Megújuló energiaforrások
6. Villamosenergia-termelési technológiák összehasonlítása
7. Rendszerek, hálózatok, fejlesztési stratégiák

A sorozat kidolgozásához az Egyesület munkacsoportot alakított, amelyben az egyes szakterületeket jól ismerő tagok vettek részt. A munkacsoportot Dr. Büki Gergely, Bohoczky Ferenc, Dr. Csom Gyula, Dr. Fazekas András István, Homola Viktor, Dr. Stróbl Alajos és Zarándy Pál alkották. A szerkesztési és szervezési munkát Dr. Czibolya László végezte.

A munkacsoport nem tartotta feladatának, hogy energiapolitikai javaslatokat dolgozzon ki, vagy ilyen ajánlásokat tegyen. A kiadványsorozat megjelenítésével hozzá akarunk járulni ahhoz, hogy a villamosenergia-ellátásról érdemi és tárgyyszerű párbeszéd alakuljon ki, amelyben a tények és érvek összevetése dominál. Ennek eredményeként – remélhetőleg – kikristályosodik egy olyan szakmai és társadalmi érv- és értékrendszer, amelyre támaszkodva egy tudatos energiapolitika kialakítható.

## 6.1. Célkitűzés

Ez a kiadvány a különböző villamosenergia-termelési technológiák összehasonlításának alapjául szolgáló szempontrendszert vázolja.

Az egyes villamosenergia-termelési technológiák megítélését, jellemzését a laikus közvélemény, a média, de sokszor a villamosenergia-iparág szakemberei részéről is az „egydimenziós” értékelés jellemzi. „Dimenzió” kifejezés alatt ebben az összefüggésben valamilyen értékelési, összehasonlítási szempont értendő. Nem kapunk azonban objektív és teljes képet az adott villamosenergia-termelési technológiákról, ha azokat például csak az energetikai hatékonyság, vagy csak a környezetterhelés, ezen belül például a CO<sub>2</sub> kibocsátás, SO<sub>2</sub> kibocsátás, az NO<sub>x</sub> emiszió, a hőszennyezés, a katasztrófaveszély, vagy éppenséggel a költségek stb. alapján ítéljük meg, minősítjük, hasonlítjuk össze. A most említett szempontok természetesen a teljesség igénye nélkül csak véletlenszerűen kiragadott példaként említettek.

Mindezen megfontolásokat figyelembe véve, a „*Villamosenergia-termelési technológiák összehasonlítása*” című összeállítás arra tesz kísérletet, hogy egységes és többdimenziós szempontrendszer alapján bemutassa, jellemezze az egyes villamosenergia-termelési technológiákat. A kitűzött cél elérésének első lépéseként jelen összeállítás az egyes villamosenergia-termelési technológiák többdimenziós összehasonlításának alapjául szolgáló szempontrendszert mutatja be, míg egy másik kiadvány (*Villamosenergia-termelési technológiák jellemző adatai*) az egyes villamosenergia-termelési technológiák főbb jellemzőit, jellemző adatait ismerteti majd.

A cél tehát jelen esetben az, hogy bemutassuk azokat a szempontokat, amelyek alapján többé-kevésbé objektív és teljes képet lehet kialakítani az egyes villamosenergia-termelési technológiákról, segítve ezzel a szélesebb értelemben vett közvélemény, a villamosenergia-szektor működési feltételeit meghatározó döntéshozók, a téma iránt érdeklődők véleményalkotását. Az összeállítás célközönsége tehát meglehetősen széles körű.

Mindezt azért tarjuk fontosnak külön és kiemelten hangsúlyozni, mert a politikai döntéshozókat komoly felelősség terheli az egyes országok, régiók energiastratégiájának, a lehetséges fejlődés jogi, gazdasági feltételrendszerének kialakításakor, a gazdasági fejlődés e szegmensének befolyásolásakor. A helyes energiastratégia és ezen belül a villamosenergia-szektor fejlődését, a fenntartható fejlődést meghatározó stratégia kialakításakor megítélésünk szerint nem hagyható figyelmen kívül az előbbieken említett szempontrendszer. Csak e komplex, politikai és egyéb más előítéletektől mentes – ebben az értelemben objektív – értékelés alapján alakítható ki olyan energiastratégia, amely ténylegesen a fenntartható fejlődést szolgálja, s amely optimálisan használja fel a társadalom erőforrásait e célok megvalósítására.

A különböző villamosenergia-termelési technológiák megítélésekor, jellemzéskor figyelembe veendő szempontok, jellemzők az alábbi fő területekre csoportosíthatók:

- az energiaátalakítás alapvető jellege, (1),
- az egyes villamosenergia-termelési technológiák főbb műszaki jellemzői, a technológiai fejlesztésük jelenlegi állapota, gyakorlati alkalmazásuk, bevezettségük (2),
- a primerenergia-hordozók rendelkezésre állása (3),
- a potenciális termelési kapacitás (4),
- az energetikai hatékonyság (5),
- a gazdasági hatékonyság (költségek) (6),

- a környezetterhelés (7),
- az egészségkárosító és anyagi károsodást okozó hatások (8),
- a villamosenergia-rendszer rendszerirányítása (9),
- az externális költségek (10),
- a fajlagos területigény (11),
- a társadalmi elfogadottság (12).

Természetesen az egyes megítélési szempontok fontosságának eldöntése, vagyis annak a kérdésnek a megválaszolása, hogy a társadalom mely előnyöknek és mely hátrányoknak tulajdonít fontos szerepet, jelentőséget, már értékválasztás kérdése. Ez messze túllép a tisztán műszaki-gazdasági, egészségvédelmi környezetvédelmi racionalitás tárgyterületén. E kérdések tárgyalása hangsúlyozottan nem célja e rövid ismertetőknél. Mint ahogy nem célja semmilyen vonatkozásban az sem, hogy pro vagy contra érveljen egyik vagy másik technológia mellett. Ez az áttekintés nem egyes technológiák „mellett”, vagy azok „ellen” érvel, hanem a különböző villamosenergia-termelési technológiákról szól.

Verifikálható számokat és kijelentéseket, tényállításokat közöl, minden esetben megadva értelemszerűen az adatok forrását. A „*Villamosenergia-termelési technológiák összehasonlítása*” című kiadvány csak a tényekről és adatokról, szól, nem pedig ezek értékeléséről, szubjektív minősítéséről. Ezek kérdések ugyanis már messze a társadalmi tudat más szféráit érintő kérdések.

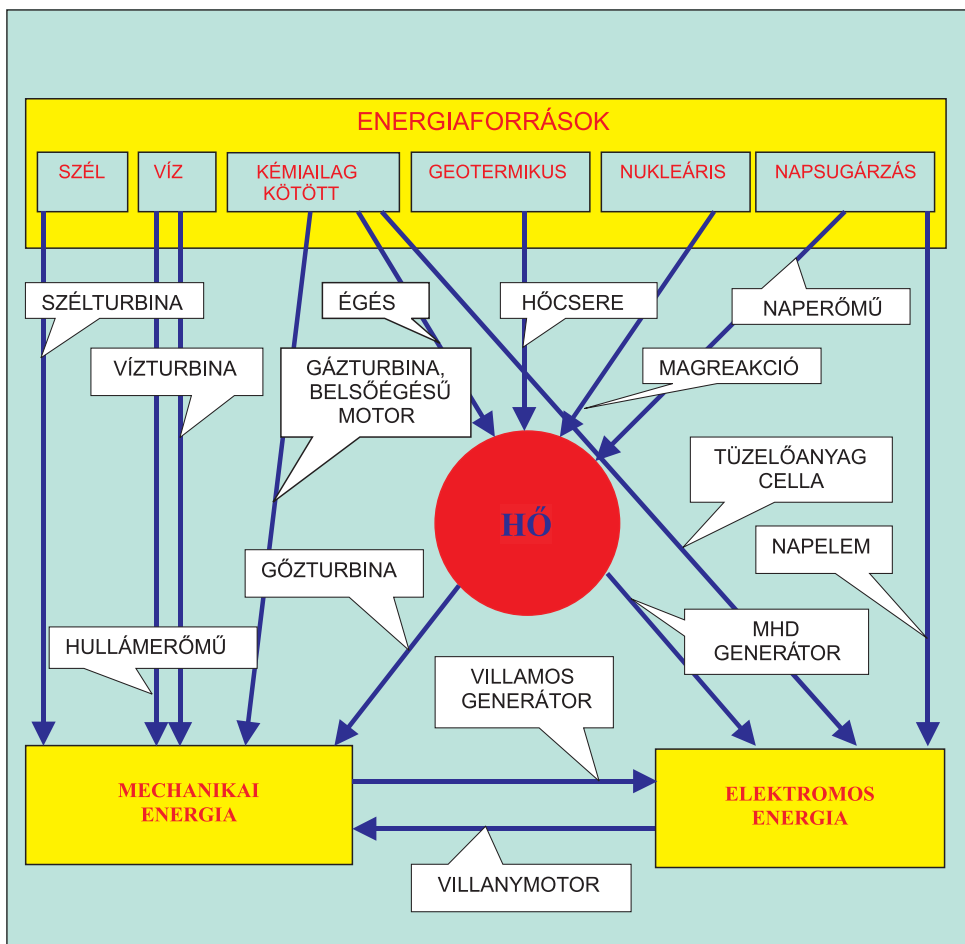
## **6.2. Villamosenergia-termelési technológiák**

### **6.2.1. A villamosenergia-termelési technológiák áttekintése**

Igen sokféle villamosenergia-termelési technológia teszi lehetővé azt, hogy valamely, a villamosenergia-termelés szempontjából tekintett primerenergia-hordozó energiáját villamos energiává alakítsuk. Az összeállításban csak az erőművi technológiákat tekintjük, nem foglalkozunk például szárazelemekkel, akkumulátorokkal, mint villamosenergia-forrásokkal.

A 6.1. ábra összefoglaló áttekintést ad arra vonatkozóan, hogy milyen primerenergia-források jöhetnek szóba villamosenergia-termelési célokra és milyen energiaátalakítási technológiák állnak napjainkban rendelkezésre villamosenergia-termelésre.

Az ábra felső részében tüntettük fel a ma szóba jövő primerenergia-forrásokat. A technika mai fejlettségi szintjén a szél, a víz, a napsugárzás, a földhő, vagyis a geotermikus energia, a fosszilis tüzelőanyagokban kémiaiilag kötött energia és a nukleáris energia, vagyis az atommagok kötési energiája hasznosítható primer energiaforrásként villamosenergia-termelésre. Közismert, hogy a szél, a víz, a fosszilis tüzelőanyagokban kémiaiilag kötött formában jelen levő energia, a földhő végső soron mind a Naptól, mint ténylegesen elsődleges forrásból származtatható energia. A víz mozgási, helyzeti energiája is a Naptól származtatható, azonban az árapály a Hold – Föld kapcsolatával függ össze, így ennek energetikai célú hasznosítása során tulajdonképpen a Holdtól „nyert” energia hasznosításáról van szó. A nukleáris energia ebben a nagyon általános megközelítésben a csillagoktól, az anyagfejlődés kezdeti szakaszából nyert energia.



6.1. ábra Villamosenergia-termelési technológiák áttekintő ábrája

Az ábrában található nyilak az egyes energiaátalakító technológiákat jelképezik. A nyilak mindig az energia két megjelenési formája közötti kapcsolatot szimbolizálják, hiszen minden esetben egy meghatározott energiaforma meghatározott másik energiáformává alakításáról van szó. A szél mozgási energiáját a szélturbinák (szélerőművek) alakítják mechanikai energiává, majd ezt az energiát alakítják a generátorok villamos energiává. A vízenergia esetében lényegében ugyanerről van szó. Az energiaátalakító berendezés, eszköz ebben az esetben a vízturbina, amelynek, éppen úgy, mint a szélturbináknak, számtalan sok konkrét műszaki megoldása, kialakítása van. Ezek lényegi funkciója azonban minden esetben ugyanaz. Technikailag forgótengelyen megjelenő mechanikai teljesítménnyé alakítják a szél/víz mozgási energiáját, majd a generátorok ezen meghajtó teljesítményt villamos teljesítménnyé, villamos energiává alakítják. A napsugárzásnak, mint primer energiahordozónak villamosenergia-termelési célú hasznosítása elviekben alapvetően három úton lehetséges. Az egyik esetben a napsugárzás energiáját közvetlenül alakítják villamos energiává. Erre az ún. napelemek, idegen szó-

val fotovoltaiikus elemek szolgálnak. A másik esetben a napsugárzás energiájának összegyűjtésével valamilyen munkaközeget hevítenek és az így nyert magas hőmérsékletű munkaközeg energiáját hasznosítják, első lépésben mechanikai energiává alakítva azt a gőzturbina segítségével, majd ebből villamos energiát termelve generátor segítségével. Ez utóbbi esetben, szemben a fotovoltaiikus úton történő villamosenergia-termeléssel, az energiaátalakítás két lépcsőben megy végbe, akár a szél-erőművi, illetve víz-erőművi villamosenergia-termelés esetében. A napsugárzás villamosenergia-termelési célú hasznosításának harmadik fő technológiája a napkémény. Háromlépcsős energiaátalakítási folyamatnak tekinthető példaképpen az atommagokban rejlő kötési energia felszabadítása révén megvalósuló atomerőművi villamosenergia-termelés. Itt első lépésben egy szintentartott, ellenőrzött nukleáris reakció során felszabaduló energia hővé, majd mechanikai energiává, végül pedig villamos energiává alakításáról van szó. Az első lépcsős átalakítás eszköze a nukleáris reaktor, a második lépcső energiaátalakító berendezése a gőzturbina, míg a harmadik lépcsőben a generátor termeli a villamos energiát a mechanikai energiából. Ugyancsak háromlépcsős energiaátalakítási folyamatnak tekinthető a fosszilis tüzelőanyagokban kémiaiilag kötött formában jelen levő energia égés útján történő felszabadítása és az ennek során keletkező hő adott munkaközegnek való átadása (ennek technikai eszköze a gőzkazán), majd a munkaközeg energiájának mechanikai energiává alakítása gőzturbina segítségével, amely generátort hajt meg. A földhő hasznosítása esetében hőcsere révén adják át a munkaközegnek azt az energiát, amelyből a gőzturbina mechanikai energiát, majd a generátor villamos energiát termel. Itt a hőcsere az első lépésbeli energiaátalakítás technikai eszköze. A belső égésű motorokban és a gázturbinákban égés révén szabadítják fel a fosszilis energiahordozókban kémiaiilag kötött formában jelen levő energiát, majd ezt a berendezések közvetlenül mechanikai energiává alakítják, amely már felhasználható generátorok meghajtására és ilyen módon villamos energia termelésére. Az ún. MHD generátorok esetében a villamosenergia-termelésnek egy különleges és ma még csak kísérleti stádiumban levő technológiájáról van szó. Az MHD generátorok, vagyis a magnetohidrodinamikus generátorok végső soron az ún. Lorenz-erőhatást hasznosítják, amelynek hatására egyenfeszültség indukálódik. Az MHD generátorok a tüzelőanyag elégetésekor keletkező hőt közvetlenül villamos energiává alakító berendezések. Működésük azon alapul, hogy a magas hőmérsékletű, részben ionizált gázáramot, amely elektronokból, ionokból, semleges gázatomokból és gázmolekulákból álló plazmát képez, nagy sebességgel áramoltatnak egy erős elektromágnes pólusai között kiképzett csatornában. A könnyen oxidálható fosszilis tüzelőanyagokban levő kémiaiilag kötött energiát közvetlenül villamos energiává alakítják az ún. tüzelőanyag-cellák.

A primerenergia-források és az energiaátalakítási technológiák eddigiekben bemutatott csoportosítása természetesen más rendező elvek szerint is lehetséges. Jelen esetben a primerenergia-hordozók és a hozzájuk kapcsolódó energia-átalakító berendezések (gépek), illetve az energiaátalakítás lépcsőinek bemutatása volt a cél. A 6.1. ábra csak a fő primerenergia-forrásokhoz kapcsolódó energiaátalakító gépeket mutatta be, nem téve különbséget például az egyes fosszilis tüzelőanyagokra épülő villamosenergia-termelési technológiák között (például a szénbázisú, az olajbázisú, a földgáz tüzelőbázisú villamosenergia-termelés között). A 6.1. táblázat már részletesebb bontásban tartalmazza az egyes fő primerenergia-hordozókhoz kapcsolódó villamosenergia-termelési technológiákat, bemutatva az energiaátalakítási lánc egyes szakaszait.



6.1. táblázat Az energiaátalakítási lánc a főbb villamosenergia-termelési technológiák esetében

Ssz.	Villamosenergia-termelési technológiák (Power Generation Technologies)	Primerenergia-hordozó bázis	Energiaátalakítási lánc	
1.	Szénbázisú villamosenergia-termelés (Coal-Fired Power Plants)			
1.1.	Konvencionális szénbázisú villamosenergia-termelés (Conventional Steam Turbine Coal-Fired Power Plant Technology)	Szén (tőzeg, lignit, barnaszén, fekete-szén)	A szénben kémiaileg kötött energia felszabadítása égés révén (gőzkazán) → hő mechanikai energiává alakítása (gőzturbina) → mechanikai energia villamos energiává alakítása (generátor) Konvencionális kőszénbázisú villamosenergia-termelés (Conventional Steam Turbine Hard Coal-Fired Power Plant Technology)	
1.1.1	Konvencionális szénbázisú villamosenergia-termelés (Conventional Steam Turbine Hard Coal-Fired Power Plant Technology)			
1.1.2	Konvencionális lignit és barnaszén tüzelőbázisú villamosenergia-termelés (Conventional Steam Turbine Brown Coal- and Lignite-Fired Power Plant Technology)			
1.2.	Fluidtüzeléses szénbázisú villamosenergia-termelés (Fluidized Bed Combustion: FBC)			
1.2.1.	Légköri nyomású, buborékos, stacioner fluidtüzeléses villamosenergia-termelés (Atmospheric Fluidized Bed Combustion: AFBC)			
1.2.2.	Légköri nyomású, cirkulációs (Atmospheric Circulating Fluidized Bed Combustion: CFBC)			
1.2.3.	Nyomás alatti cirkulációs fluidtüzeléses villamosenergia-termelés (Pressurized Fluidized Bed Combustion: PFBC)			
1.3.	Szuperkritikus kezdőparaméterű szénbázisú villamosenergia-termelés (Pulverized Coal-Fired Power Plant Technology with an Ultra-Super-Critical Water Steam Cycle: PCF-USC)			
1.4.	Integrált szénelgázosításos kombinált ciklusú (összetett gáz-gőz körfolyamatú) villamosenergia-termelés (Integrated Coal Gasification Combined Cycle: IGCC)			Szén elgázosítása révén gáz tüzelőanyag előállítása (szénelgázosítás technológiája) → az éghető gázban kémiaileg kötött energia felszabadítása égés révén és mechanikai energiává alakítása (gázturbina) → mechanikai energia villamos energiává alakítása (generátor) + az égéstermékek hőtartalmának hasznosításával hőtermelés (hőhasznosító kazán) → hő mechanikai energiává alakítása (gőzturbina) → mechanikai energia villamos energiává alakítása (generátor)



2.	Olaj tüzelőbázisú villamosenergia-termelés (Oil-Fired Power Plants)		
2.1.	Olaj tüzelőbázisú konvencionális villamosenergia-termelés (Conventional Steam Turbine Fuel-Oil Fired Power Plant)	Olaj (nehéz, közepes, könnyű fűtőolaj)	Az olajban kémiaiilag kötött energia felszabadítása égés révén (gőzkazán) → hő mechanikai energiává alakítása (gőzturbina) → mechanikai energia villamos energiává alakítása (generátor)
2.2.	Könnyű fűtőolaj tüzelőbázisú gázturbinák (Light Oil-Fired Open Cycle Gas Turbine)		Az olajban kémiaiilag kötött energia felszabadítása égés révén és mechanikai energiává alakítása (gázturbina) → mechanikai energia villamos energiává alakítása (generátor)
2.3.	Villamosenergia-termelés benzin /gázolaj üzemanyagú belsőégésű motorral (Petrol / Light Fuel Oil-Fired Internal Combustion Engine )		Az olajban kémiaiilag kötött energia felszabadítása égés révén és mechanikai energiává alakítása (belső égésű motor) → mechanikai energia villamos energiává alakítása (generátor)
3.	Földgáz tüzelőbázisú villamosenergia-termelés (Natural Gas-Fired Power Plants)		
3.1.	Földgáz tüzelőbázisú konvencionális villamosenergia-termelés (Conventional Steam Turbine Natural Gas-Fired Power Plant)	Földgáz	A földgázban kémiaiilag kötött energia felszabadítása égés révén (gőzkazán) → hő mechanikai energiává alakítása (gőzturbina) → mechanikai energia villamos energiává alakítása (generátor)
3.2.	Összetett, gáz-gőz körfolyamatú (kombinált ciklusú) villamosenergia-termelés (Combined Cycle Power Plant: CCPP)		A földgázban kémiaiilag kötött energia felszabadítása égés révén és mechanikai energiává alakítása (gázturbina) → mechanikai energia villamos energiává alakítása (generátor) + az égéstermékek hőtartalmának hasznosításával hőtermelés (hőhasznosító kazán) → hő mechanikai energiává alakítása (gőzturbina) → mechanikai energia villamos energiává alakítása (generátor)
3.3.	Villamosenergia-termelés nyílt-ciklusú gázturbinával (Open Cycle Gas Turbine)		A földgázban kémiaiilag kötött energia felszabadítása égés révén és mechanikai energiává alakítása (gázturbina) → mechanikai energia villamos energiává alakítása (generátor)
3.4.	Villamosenergia-termelés földgáz üzemanyagú belsőégésű motorral (Natural Gas-Fired Internal Combustion Engine)		A földgázban kémiaiilag kötött energia felszabadítása égés révén és mechanikai energiává alakítása (belső égésű motor) → mechanikai energia villamos energiává alakítása (generátor)

4.	Kapcsolt energiatermelés <sup>1</sup> (Combined Heat and Power Generation: CHP)
4.1.	Ellennyomású kapcsolt energiatermelés (Combined Heat and Power Generation with Steam Backpressure Turbine)
4.2.	Elvételes kondenzációs kapcsolt energiatermelés (Combined Heat and Power Generation with Steam Condensing Extraction Turbine)
4.3.	Kapcsolt energiatermelés összetett gáz-gőz körfolyamatú erőművekkel (kombinált ciklusú, kogenerációs villamosenergia-termelés) (Combined Cycle Cogeneration: CCCP / Combined Cycle Gas Turbine with Heat Recovery)
4.4.	Kapcsolt energiatermelés belső égésű motorokkal (Combined Heat and Power Generation with Natural Gas-Fired Internal Combustion Engine)
4.5.	Kapcsolt energiatermelés egyéb technológiái (Other Technologies of Combined Heat and Power Generation)
4.5.1.	Fűtő gázturbinás kapcsolt energiatermelés (Gas Turbine with Heat Recovery)
4.5.2.	Mikroturbinás kapcsolt energiatermelés (Combined Heat and Power Generation with Microturbine)
4.5.3.	Stirling-motoros kapcsolt energiatermelés (Combined Heat and Power Generation with Stirling-Engine)
4.5.4.	Kapcsolt energiatermelés tüzelőanyag-cellákkal (Combined Heat and Power Generation with Fuel Cells)
4.5.5.	Kapcsolt energiatermelés gőzmotorokkal (Combined Heat and Power Generation with Steam Engines)
4.5.6.	Kapcsolt energiatermelés szerves Rankine-körfolyamat alkalmazásával (Combined Heat and Power Generation with Organic Rankine-Cycle)

<sup>1</sup> A kapcsolt energiatermelés esetében a primerenergia-hordozó bázis és az alkalmazott technológia különböző lehet. Maga a kapcsolt energiatermelés nem jellemezhető a megadott szempontok szerint.

5.	Atomerőművi villamosenergia-termelés (Nuclear Power Plants)		
5.1.	Könnyűvízes (könnyűvíz hűtési és könnyűvíz moderátoros) atomreaktor (Light Water Cooled Reactors: LWRs)	Nukleáris hasadóanyagok	Nukleáris hasadóanyagokban levő atomi kötési energia felszabadítása az atommagok hasítása révén (reaktor) → hő mechanikai energiává alakítása (gőzturbina) → mechanikai energia villamos energiává alakítása (generátor)
5.1.1.	Nyomottvízes atomreaktor (Pressurized Water Reactor: PWRs)		
5.1.2.	Elgőzölögtető atomreaktor (Boiling Water Reactors: BWRs)		
5.2.	Nyomottvízes, nehézvíz hűtési és nehézvíz moderátoros atomreaktor (Pressurized Heavy Water Cooled Reactors: PHWRs)		
5.3.	Grafitmoderátoros atomreaktor (Graphite Moderated Reactors: GCRs)		
5.3.1	Könnyűvízes elgőzölögtető, grafitmoderátoros atomreaktor (Light Water, Graphite Moderated Reactors: LWGRs)		
5.3.2.	Gáz hűtési, grafitmoderátoros atomreaktor (Gas Cooled, Graphite Moderated Reactors: GGRs)		
5.4.	Gyorsreaktorok (Fast Breeder Reactors: FBRs)		
5.5.	Kis és közepes méretű atomreaktorok (Small and Medium Reactors: SMRs)		
6.	Vízenergia-termelés (Hydro Power Plants / Hydro Power Stations)		
6.1.	Átfolyós vízenergia-termelés (Run of River Hydro Power Plants)	Szárazföldi felszíni vízfolyások vízerepotenciálja	Víz mozgási energiájának mechanikai energiává alakítása (víturbina) → mechanikai energia villamos energiává alakítása (generátor)

6.2.	Tározós vízerőművek (Hydro Power Plants with Reservoirs)		Víz helyzeti energiájának tárolása (tározó + duzzasztómű) → víz helyzeti energiájának mozgási energiává alakítása, majd mechanikai energiává alakítása (vízturbina) → mechanikai energia villamos energiává alakítása (generátor)
7.	Szivattyús-tározós vízerőművek (Pumped Storage Hydro Power Plant)	Szárazföldi felszíni vízfolyások víz-erő-potenciálja	Betárolási üzemmód: villamos energia mechanikai energiává alakítása (villamos motor) → mechanikai energia helyzeti és mozgási energiává alakítása (szivattyú) → a helyzeti energiával bíró víz betározása (tározó + duzzasztómű); Kisütési üzemmód: víz helyzeti energiájának tárolása (tározó + duzzasztómű) → víz helyzeti energiájának mozgási energiává alakítása, majd mechanikai energiává alakítása (vízturbina) → mechanikai energia villamos energiává alakítása (generátor)
8.	Tüzelőanyag-cellák (Fuel Cells)		
8.1.	Polimer-elektrolit membrános tüzelőanyag-cella (Protons Exchange Membrane Fuel Cell: PEMFC)	Hidrogén	A tüzelőanyagban kémiai kötött energiának közvetlenül villamos energiává alakítása – a reagensek közötti elektrokémiai reakciók révén (tüzelőanyag-cella)
8.2.	Foszforsavas tüzelőanyag-cella (Phosphoric Acid Fuel Cell: PAFC)	Földgáz, széngáz, biogáz	
8.3.	Szilárd oxidos tüzelőanyag-cella (Solid Oxide Fuel Cell: SOFC)	Földgáz, széngáz, biogáz	
8.4.	Olvadt karbonátos tüzelőanyag-cella (Melted Carbonates Fuel Cell: MCFC)	Földgáz, széngáz, biogáz	
8.5.	Alkáli tüzelőanyag-cella (Alkaline Fuel Cell: AFC)	Hidrogén	
9.	Geotermikus energia villamosenergia-termelési célú hasznosítása (Geothermal Power Plants)		
9.1.	Túlhevített (száraz) gőzzel működő, nyitott körfolyamatú konvencionális erőművi technológia	Geotermikus energia (földhő)	A földkéreg hőjének átadása a munkaközeg számára (hőcserélő) → hő mechanikai energiává alakítása (gőzturbina) → mechanikai energia villamos energiává alakítása (generátor)

9.2.	Elgőzölögtetős geotermikus erőművek		
9.3.	„Forró száraz szikla” technológia (Hot Dry Rock Technology: HDR)		
9.4.	Kettős Rankine-ciklusú erőmű		
10.	Napenergia villamosenergia-termelési célú hasznosítása (Solar Power Generating Systems)		
10.1.	Naphőerőmű (Solar Thermal Electricity Generating Systems)	Napsugárzás	
10.1.1.	Naptorony (Solar Tower System)		Napsugárzás energiájának fókuszálása (tükörrendszer) → hő átadása munkaközegnek (hőtermelő kazán) → hő mechanikai energiává alakítása (gőzturbina) → mechanikai energia villamos energiává alakítása (generátor)
10.1.2.	Parabola-vályús kollektoros naphőerőmű (Solar Thermal Electricity Generating Systems with Parabolic Trough Collectors)		
10.2.	Napelemes (fotovoltaikus) villamosenergia-termelés (Photovoltaic Power Generation)		Napsugárzás energiájának közvetlenül villamos energiává alakítása (napelem)
10.3.	Napkémény		Napsugárzás energiájával hevített levegő kürtőhatással nyert mozgási energiájának mechanikai energiává alakítása (szélturbina) → mechanikai energia villamos energiává alakítása (generátor)
11.	Szél erőművek (Wind Power)	Szél mozgási	Szél mozgási energiájának mechanikai energiája energiává alakítása (szélturbina) → mechanikai energia villamos energiává alakítása (generátor)
12.	Villamosenergia-termelés biomasszából (Electricity Generation from Biomass)		
12.1.	Konvencionális hőerőművi villamosenergia-termelés biomassza tüzeléssel (Conventional Thermal Power Plant Technology with Biomass Combustion)	Biomassza	Biomasszában, mint tüzelőanyagban kémiaiilag kötött energia felszabadítása égés révén (gőzkazán) → hő mechanikai energiává alakítása (gőzturbina) → mechanikai energia villamos energiává alakítása (generátor)

12.2.	Konvencionális villamosenergia-termelés biogáz tüzeléssel (Conventional Thermal Power Plant Technology with Biogas Combustion)		Biomassza elgázosítása (elgázosítás technológiája) → az éghető gázban kémiailag kötött energia felszabadítása égés révén (gőzkazán) → hő mechanikai energiává alakítása (gőzturbina) → mechanikai energia villamos energiává alakítása (generátor)
12.3.	Villamosenergia-termelés biogáz tüzelésű gázturbinával (Biogas-Fired Gas Turbines)		Biomassza elgázosítása (elgázosítás technológiája) → biogázban kémiailag kötött energia felszabadítása égés révén és mechanikai energiává alakítása (gázturbina) → mechanikai energia villamos energiává alakítása (generátor)
13.	Villamosenergia-termelés hulladékból (Electricity Generation from Municipal (Urban) Waste)		
13.1.	Konvencionális hőerőművi villamosenergia-termelés szemét (hulladék) tüzeléssel	Hulladék	A hulladékban, mint tüzelőanyagban kémiailag kötött energia felszabadítása égés révén (gőzkazán) → hő mechanikai energiává alakítása (gőzturbina) → mechanikai energia villamos energiává alakítása (generátor)
13.2.	Konvencionális villamosenergia-termelés szemét elgázosítása révén keletkezett gáz tüzelésével		Hulladék elgázosítása (elgázosítás technológiája) → az éghető gázban kémiailag kötött energia felszabadítása égés révén (gőzkazán) → hő mechanikai energiává alakítása (gőzturbina) → mechanikai energia villamos energiává alakítása (generátor)
13.3.	Villamosenergia-termelés biogáz tüzelésű gázturbinával		Hulladék elgázosítása (elgázosítás technológiája) biogázban kémiailag kötött energia felszabadítása égés révén és mechanikai energiává alakítása (gázturbina) → mechanikai energia villamos energiává alakítása (generátor)
14.	Egyéb, nem konvencionális villamosenergia-termelési technológiák (Non-conventional Power Generation Technologies)		
14.1.	Árapály erőművek (Tidal Power Plant)	Tengerek vízerőpotenciálja	A víz dagály révén keletkező helyzeti energiájának tárolása (tározó + duzzasztómű) → víz helyzeti energiájának mozgási energiává alakítása, majd mechanikai energiává alakítása (vízturbina) → mechanikai energia villamos energiává alakítása (generátor)
14.2.	OTEC villamosenergia-termelési technológia (hőkonverziós villamosenergia-termelés) (Ocean Thermal Energy Conversion: OTEC)	Tengervizek hőtartalma	A tengervizek felszíni és mélyen levő vízrétegei közötti hőmérsékletkülönbség hasznosítása nyílt Rankine-körfolyamattal

14.3.	Hullámerőművek (Wave Power)	Tengerek víz- erőpotenciálja	Elsődlegesen a szél által keletkezett hullámzás energiájának mechanikai energiává alakítása (hullámerőmű) → mechanikai energia villamos energiává alakítása (generátor)
14.4.	MHD villamosenergia-termelés (Magnetohydrodynamic Power Plant:MHD Plant)	Földgáz, olaj	A fosszilis tüzelőanyagokban kémiaiilag kötött formában levő energia felszabadítása égés révén és a keletkező hő és mozgási energia közvetlenül villamos energiává alakítása (magnetohidrodinamikus generátor)
14.5	Fúziós atomerőművi villamos- energia-termelés (Fusion Nuclear Power Plant)	Fúzióképes anyagok	Fúzióképes anyagok indukált egyesülése során atomi kötési energia felszabadítása (fúziós reaktor) → hő mechanikai energiává alakítása (gőzturbina) → mechanikai energia villamos energiává alakítása (generátor)

### **6.2.2. A komplex összehasonlítás tárgyát képező villamosenergia-termelési technológiák**

A lehetséges villamosenergia-termelési technológiák fő csoportjainak vázlatos áttekintése után kérdésként merül fel, hogy mely technológiákat vonjuk be a komplex összehasonlító vizsgálatba. Nem szorul különösebben bizonyításra, hogy az előbbieken bemutatott technológiák között jelentős különbség van három alapvető vonatkozásban:

- 1.) az egyes technológiák villamosenergia-termelésben játszott szerepében, azaz alkalmazásuk elterjedtségében;
- 2.) abban a vonatkozásban, hogy a fejlesztésnek, illetve az ipari alkalmazásnak mely fázisában vannak;
- 3.) abban a vonatkozásban, hogy az ismereteink mai szintjén milyen fejlesztési, alkalmazási perspektívával bírnak az egyes technológiák.

Ezeket a vonatkozásokat tekintve nem „egyenszilárdságúak” tehát az egyes villamosenergia-termelési technológiák.

Figyelembe véve ezeket a különbségeket, valamint vizsgálatunk korábban deklarált célkitűzését az 6.2. táblázatban felsorolt technológiákkal foglalkozunk.



6.2. táblázat A komplex összehasonlítás tárgyát képező villamosenergia-termelési technológiák

Ssz.	Villamosenergia-termelési technológiák (Power Generation Technologies)
<b>1.</b>	<b><i>Szénbázisú villamosenergia-termelés (Coal-Fired Power Plants)</i></b>
1.1.	Konvencionális szénbázisú villamosenergia-termelés (Conventional Steam Turbine Coal-Fired Power Plant Technology)
1.1.1	Konvencionális kőszénbázisú villamosenergia-termelés (Conventional Steam Turbine Hard Coal-Fired Power Plant Technology)
1.1.2	Konvencionális lignit és barnaszén tüzelőbázisú villamosenergia-termelés (Conventional Steam Turbine Brown Coal- and Lignite-Fired Power Plant Technology)
1.2.	Fluidtüzeléses szénbázisú villamosenergia-termelés (Fluidized Bed Combustion: FBC)
1.2.1.	Légköri nyomású, buborékos, stationer fluidtüzeléses villamosenergia-termelés (Atmospheric Fluidized Bed Combustion: AFBC)
1.2.2.	Légköri nyomású, cirkulációs fluidtüzeléses villamosenergia-termelés (Atmospheric Circulating Fluidized Bed Combustion: CFBC)
1.2.3.	Nyomás alatti cirkulációs fluidtüzeléses villamosenergia-termelés (Pressurized Fluidized Bed Combustion: PFBC)
1.3.	Szuperkritikus kezdőparaméterű szénbázisú villamosenergia-termelés (Pulverized Coal-Fired Power Plant Technology with an Ultra-Super Critical Water Steam Cycle: PCF-USC)
1.4.	Integrált szénelgázosításos kombinált ciklusú (összetett gáz-gőz körfolyamatú) villamosenergia-termelés (Integrated Coal Gasification Combined Cycle: IGCC)
<b>2.</b>	<b><i>Olaj tüzelőbázisú villamosenergia-termelés (Oil-Fired Power Plants)</i></b>
2.1.	Olaj tüzelőbázisú konvencionális villamosenergia-termelés (Conventional Steam Turbine Fuel-Oil Fired Power Plant)
2.2.	Könnyű fűtőolaj tüzelőbázisú gázturbinák (Light Oil-Fired Open Cycle Gas Turbine)
2.3.	Villamosenergia-termelés benzin/gázolaj üzemanyagú belsőégésű motorral (Petrol / Light Fuel Oil-Fired Internal Combustion Engine )
<b>3.</b>	<b><i>Földgáz tüzelőbázisú villamosenergia-termelés (Natural Gas Fired Power Plants)</i></b>
3.1.	Földgáz tüzelőbázisú konvencionális villamosenergia-termelés (Conventional Steam Turbine Natural Gas-Fired Power Plant)
3.2.	Összetett, gáz-gőz körfolyamatú (kombinált ciklusú) villamosenergia-termelés (Combined Cycle Power Plant: CCGT)
3.3.	Villamosenergia-termelés nyíltciklusú gázturbinával (Open Cycle Gas Turbine)
3.4.	Villamosenergia-termelés földgáz üzemanyagú belsőégésű motorral (Natural Gas-Fired Internal Combustion Engine)

<b>4.</b>	<b><i>Kapcsolt energiatermelés (Combined Heat and Power Generation: CHP)</i></b>
4.1.	Ellennyomású kapcsolt energiatermelés (Combined Heat and Power Generation with Steam Backpressure Turbine)
4.2.	Elvételes kondenzációs kapcsolt energiatermelés (Combined Heat and Power Generation with Steam Condensing Extraction Turbine)
4.3.	Kapcsolt energiatermelés összetett gáz-gőz körfolyamatú erőművekkel (kombinált ciklusú, kogenerációs villamosenergia-termelés) (Combined Cycle Cogeneration: CCCP / Combined Cycle Gas Turbine with Heat Recovery)
4.4.	Kapcsolt energiatermelés belső égésű motorokkal (Combined Heat and Power Generation with Natural Gas-Fired Internal Combustion Engine)
4.5.	Kapcsolt energiatermelés egyéb technológiái (Other Technologies of Combined Heat and Power Generation)
4.5.1.	Fűtő gázturbinás kapcsolt energiatermelés (Gas Turbine with Heat Recovery)
4.5.2.	Mikroturbinás kapcsolt energiatermelés (Combined Heat and Power Generation with Microturbine)
4.5.3.	Stirling-motoros kapcsolt energiatermelés (Combined Heat and Power Generation with Stirling-Engine)
4.5.4.	Kapcsolt energiatermelés tüzelőanyag-cellákkal (Combined Heat and Power Generation with Fuel Cells)
4.5.5.	Kapcsolt energiatermelés gőzmotorokkal (Combined Heat and Power Generation with Steam Engines)
4.5.6.	Kapcsolt energiatermelés szerves Rankine-körfolyamat alkalmazásával (Combined Heat and Power Generation with Organic Rankine-Cycle)
<b>5.</b>	<b><i>Atomerőművi villamosenergia-termelés (Nuclear Power Plants)</i></b>
5.1.	Könnyűvízes (könnyűvíz hűtésű és könnyűvíz moderátoros) atomreaktor (Light Water Cooled Reactors: LWRs)
5.1.1.	Nyomottvízes atomreaktor (Pressurized Water Reactor: PWRs)
5.1.2.	Elgőzölögtető atomreaktor (Boiling Water Reactors: BWRs)
5.2.	Nyomottvízes, nehézvíz hűtésű és nehézvíz moderátoros atomreaktor (Pressurized Heavy Water Cooled Reactors: PHWRs)
5.3.	Garfitmoderátoros atomreaktor (Graphite Moderated Reactors: GCRs)
5.3.1.	Könnyűvízes elgőzölögtető, grafitmoderátoros atomreaktor (Light Water, Graphite Moderated Reactors: LWGRs)
5.3.2.	Gáz hűtésű, grafitmoderátoros atomreaktor (Gas Cooled, Graphite Moderated Reactors: GGRs)
5.4.	Gyorsreaktor (Fast Breeder Reactors: FBRs)
5.5.	Kis és közepes atomreaktorok (Small and Medium Reactors: SMRs)
<b>6.</b>	<b><i>Vízenergia-termelés (Hydro Power Plants / Hydro Power Stations)</i></b>

6.1.	Átfolyós vízerőművek (Run of River Hydro Power Plants)
6.2.	Tározós vízerőművek (Hydro Power Plants with Reservoirs)
7.	<b><i>Szivattyús-tározós vízerőművek (Pumped Storage Hydro Power Plant)</i></b>
8.	<b><i>Tüzelőanyag-cellák (Fuel Cells)</i></b>
8.1.	(Polimer-elektrolit membrános tüzelőanyag-cella) (Protons Exchange Membrane Fuel Cell: PEMFC)
8.2.	Foszforsavas tüzelőanyag-cella (Phosphoric Acid Fuel Cell: PAFC)
8.3.	Szilárd oxidos tüzelőanyag-cella (Solid Oxide Fuel Cell: SOFC)
8.4.	Olvadt karbonátos tüzelőanyag-cella (Melted Carbonates Fuel Cell: MCFC)
8.5.	Alkáli tüzelőanyag-cella (Alkaline Fuel Cell: AFC)
9.	<b><i>Geotermikus energia villamosenergia-termelési célú hasznosítása</i></b> (Geothermal Power Plants)
10.	<b><i>Napenergia villamosenergia-termelési célú hasznosítása</i></b> (Solar Power Generating Systems)
10.1.	Naphőerőmű (Solar Thermal Electricity Generating Systems)
10.1.1.	Naptorony (Solar Tower System)
10.1.2.	Parabola-vályús kollektoros naphőerőmű (Solar Thermal Electricity Generating Systems with Parabolic Trough Collectors)
10.2.	Napelemes (fotovoltaikus) villamosenergia-termelés (Photovoltaic Power Generation)
11.	<b><i>Szélérőművek (Wind Power)</i></b>
12.	<b><i>Villamosenergia-termelés biomasszából</i></b> (Electricity Generation from Biomass)
12.1.	Konvencionális hőerőművi villamosenergia-termelés biomassza tüzeléssel (Conventional Thermal Power Plant Technology with Biomass Combustion)
12.2.	Konvencionális villamosenergia-termelés biogáz tüzeléssel (Conventional Thermal Power Plant Technology with Biogas Combustion)
13.	<b><i>Villamosenergia-termelés hulladékból</i></b> (Electricity Generation from Municipal (Urban) Waste)
14.	<b><i>Egyéb, nem konvencionális villamosenergia-termelési technológiák</i></b> (Non-conventional Power Generation Technologies)
14.1.	Árapály erőművek (Tidal Power Plant)
14.2.	OTEC villamosenergia-termelési technológia (hőkonverziós villamosenergia-termelés) (Ocean Thermal Energy Conversion: OTEC)
14.3.	Hullámerőművek (Wave Power)
14.4.	MHD villamosenergia-termelés (Magnetohydrodynamic Power Plant:MHD Plant)
14.5.	Fúziós atomerőművi villamosenergia-termelés (Fusion Nuclear Power Plant)

### **6.2.3. A kiválasztás szempontjai**

A táblázatban szereplő technológiák kiválasztását az alábbiak indokolják.

Célkitűzés volt, hogy mindazok a villamosenergia-termelési technológiák szerepeljenek a kiválasztásban, amelyek napjaikban meghatározó, vagy jelentős szerepet játszanak a világ, és ezen belül Magyarország villamosenergia-termelésében. E szempontok alapján foglalkozunk a szén, olaj, földgáz tüzelőbázisú konvencionális (gőzerőművi) villamosenergia-termelés, az atomerőművi, a vízerőművi, a kapcsolt energiatermelés technológiáival (1.1.1., 1.1.2., 2.1., 2.2., 2.3., 3.1., 3.2., 3.3., 3.4., 4.1., 4.2., 4.3., 4.4., 5.1.1., 5.1.2., 5.2., 5.3.1., 5.3.2., 5.4., 5.5., 6.1., 6.2., 7. jelű technológiák). Ezek mindegyikére az jellemző, hogy széles körben elterjedt, „érett” technológiák, amelyek tömeges alkalmazásának eredményeképpen óriási tapasztalat halmozódott fel. Ezek a technológiák adják a világ villamosenergia-termelésének abszolút túlnyomó részét.

Jelen komplex összehasonlító vizsgálatokba azonban nemcsak a széleskörűen elterjedt, a villamosenergia-termelésben napjainkban jelentős szerepet játszó technológiákat vontuk be, hanem olyan villamosenergia-termelési technológiákat is, amelyek ma még nem széleskörűen elterjedtek, ugyanakkor igen intenzív erőfeszítéseket tesznek az adott technológiák továbbfejlesztésre, s a társadalom jelentős pozitív diszkriminációval segíti e technológiák alkalmazását. Erről van szó például a megújuló energiaforrásokat hasznosító villamosenergia-termelési technológiák esetében (a 9., 10.1.1., 10.1.2., 10.2., 11., 12.1., 12.2., 13. jelű technológiák esetében). E technológiákon belül egyesek már az ipari alkalmazás fázisában vannak, például a geotermikus erőművi technológiák, a szélerőművek, a hulladékból történő villamosenergia-termelés technológiai (9., 11., 13. jelű technológiák). Más technológiák ugyanakkor még csak a kísérleti fejlesztés szakaszában vannak, illetve csak néhány ipari méretű alkalmazás történt (például: naptorony, stb. (10.1.1. és 10.1.2. jelű technológiák)). Megint más esetekben még csak kisebb egységteljesítményű energiatermelő egységek üzemelnek (például a napelemek (10.2. jelű technológiák) esetében).

Vannak olyan villamosenergia-termelési technológiák, amelyek már érettek az ipari alkalmazásra, jóllehet még csak néhány adott technológiájú erőmű üzemel (például az integrált szénlégázosításos, ösztetett gáz-gőz körfolyamatú villamosenergia-termelési technológia esetében (1.4. jelű technológia), de ilyen technológiának tekinthető az árapály erőművekkel történő villamosenergia-termelés (14.1. jelű technológia) is).

Még nem tekinthető domináns technológiának a szénbázisú villamosenergia-termelési technológiákon belül, de egyre nagyobb számban épülnek különböző fluíd-tüzelést alkalmazó szénerőművek (1.2.1., 1.2.2., 1.2.3. jelű technológiák), illetve szuperkritikus kezdőparaméterű széntüzelésű erőművek (1.3. jelű technológia).

Más technológiák esetében még csak kisebb teljesítményű energiatermelő egységek üzemelnek, a nagyobb, erőművi méretű egységek fejlesztése folyamatban van (például a tüzelőanyag-cellák esetében: 8.1., 8.2., 8.3., 8.4. 8.5. technológiák).

A teljesség kedvéért szerepeltetünk néhány extrém technológiát is, amelyek ma még csak kísérleti fejlesztési stádiumban vannak (például: hullámerőművek (14.3. technológia), az MHD generátoros villamosenergia-termelés (14.4. technológia), sőt olyan technológiát is, amelyekből még kísérleti berendezések sincsenek (14.2. jelű OTEC technológia). Szerepeltetjük az összeállításban a fúziós atomerőművi villamosenergia-termelés

technológiáját is (14.5 jelű technológia), tekintettel arra, hogy ez a technológia bizonyosan korszakváltó jelentőségű lesz az atomenergia békés célú, felhasználásnak területén. Egyelőre azonban ez a villamosenergia-termelési technológia nem áll rendelkezésre, s ipari méretű alkalmazására még a jövő évtizedben sem lehet számítani.

Magyarország jelenlegi és prognosztizálható jövőbeli villamosenergia-termelésében a konvencionális lignit, olaj, és földgáz tüzelőbázisú (1.1.2., 2.1., 3.1.), az atomerőművi (5.1.), a földgáz tüzelőbázisú, gáz-gőz összetett körfolyamatú, kombinált ciklusú (3.2.) villamosenergia-termelés, valamint a kapcsolt energiatermelés (4.1., 4.2., 4.3., 4.4.) technológiai játszanak meghatározó szerepet. Megtalálható még a hazánkban alkalmazott technológiák között a nyíltsziklusú gázturbinákkal (2.2., 3.3.) és átfolyós vízerőművekkel (6.1. jelű technológia) történő villamosenergia-termelés, s kibontakozóban van a szélerőművek építése (11. jelű technológia) is. Nem kizárt szivattyús-tározós vízerőmű (7. jelű technológia) építése sem. Van már példa biomassza tüzelésű erőműre (12.1. jelű technológia) és hulladékból történő villamosenergia-termelésre (13. jelű technológia) is. Nagy számban üzemelnek villamosenergia-termelési célkora (is) használt belső égésű motorok (4.4. jelű technológia). Ezek döntő többsége az előbbieken már említett kapcsolt energiatermelés céljait szolgálja, de vannak tartaléktartási célokat szolgáló egységek is (2.3., és 3.4. jelű technológia).

## **6.3. Primerenergia-hordozók rendelkezésre állása**

### **6.3.1. A primerenergia-hordozók rendelkezése állása szempontjából releváns kérdések**

A különböző villamosenergia-termelési technológiák energiaátalakító technológiák, amelyek mindegyike valamilyen primerenergia-hordozó energiátartalmát hasznosítja, alakítja át villamos energiává.

Alapvető kérdés, hogy villamosenergia-termelési célra az adott energiahordozó milyen mennyiségben és mennyire megbízhatóan áll rendelkezésre (a mai ismereteink szerint) (1), s hogyan alakul várhatóan villamosenergia-termelési célú hasznosítása a jövőben (2), milyen tényezők befolyásolják, határozzák meg az adott energiahordozó hasznosítását (3).

A szóban forgó primerenergia-hordozókat igen sokféle szempontból lehet tárgyalni. Vizsgáltunk célkitűzése szempontjából az alábbi szempontok a relevánsak:

- 1.) Globális készletek, regionális és hazai készletek;
- 2.) Primerenergia-hordozó felhasználás alakulása globálisan és regionálisan és hazánkban;
- 3.) A villamosenergia-termelési célú primerenergia-hordozó felhasználás alakulása globálisan és regionálisan;
- 4.) Ellátottsági mutatók alakulása;
- 5.) Stratégiai készletezhetőség;
- 6.) Beszerezhetőség, szállítási lehetőségek.

A 6.2. pontban említett villamosenergia-termelési technológiák az alábbi primerenergia-hordozók energiataralmát alakítják át villamos energiává:

1. Konvencionális fosszilis energiahordozók:
  - 1.1. Szén;
  - 1.2. Olaj;
  - 1.3. Földgáz;
2. Nukleáris energia:
  - 2.1 Nukleáris hasadóanyagok;
  - 2.2 Fúzióképes nukleáris anyagok;
3. Vízenergia:
  - 3.1 Felszíni vizek energiája;
  - 3.2 Tengerek, óceánok vízenergiája;
4. Szélenergia;
5. Napenergia;
6. Geotermikus energia;
7. Biomassza;
8. Hulladék (szemét).

### **6.3.2. Általános megjegyzés a primerenergia-hordozók rendelkezésre állásáról (primerenergia-hordozó vagyonról)**

A primerenergia-hordozók általános jellemzésekor középponti jelentőségű kérdés, hogy az adott primerenergia-hordozó milyen volumenben áll rendelkezésre az emberiség, a világ, egy adott régió, vagy éppenséggel egy ország számára a jelenben és a jövőben (közelebbi és távolabbi jövőben). E kérdések megválaszolása alapvető jelentőségű mind a rövid, mind a hosszú távú energiastratégia kialakítása szempontjából.

Jóllehet kiemelt jelentőségű kérdéstről van szó, amelyek megválaszolására nagy erőket összpontosítanak az egyes országok, kutatóintézetek, a válasz mégis meglehetősen nagy bizonytalansággal bír. Ennek több oka van.

Mindenekelőtt folyamatosan változnak az energiahordozó vagyonról való ismeretek, a folyamatos kutatás, feltárás eredményeképpen.

Napjainkban a világ primerenergia-hordozó felhasználásnak közel 80 %-a ásványi tüzelőanyagokra alapul. Közismert, hogy elvi különbséget kell tenni az elméletileg ismert, ún. földtani energiahordozó vagyon, és az ún. „műrevaló” vagyon között. Nem célja jelen áttekintésnek e kérdéskör mélyebb tárgyalása (valójában még pontosabb különbségtételek vannak), az azonban megalapozottan kijelenthető, hogy mind a „műrevaló vagyon”, mind a „földtani vagyon” gyorsan és jelentős volumenben változott a közelmúltban, értve ezalatt az elmúlt húsz-harminc évet. Ennek következtében például a legkritikusabb fosszilis primerenergia-hordozó, a kőolaj esetében az ún. ellátottsági mutató (vagyis a műre való vagyon (készletek) és az aktuális kitermelési érték hányadosa) lényegileg nem változott.

Az ellátottsági mutatót az alábbi összefüggés definiálja:

$$\beta_i^t = \frac{E_{k,i}^t}{E_{f,i}^t},$$

ahol

$\beta_i^t$  az  $i$ -edik energiahordozóra vonatkozó ellátottsági mutató a  $t$  időpontban [a] ;

$E_{k,i}^t$  az  $i$ -edik primerenergia-hordozóból rendelkezésre álló készlet a  $t$  időpontban [EJ] ;

$E_{fi}^t$  az éves felhasználás értéke a  $t$  időpontban, az  $i$ -edik energiahordozó esetében [EJ/a].

Ez a mutató néhány évtized körüli értékű volt, akkor is, amikor a kőolajkitermelés a mai értéknek az ezredrésze volt, és ma is ezen érték körül van. Bizonyíthatóan állítható, hogy például a kőolaj esetében a művealó készletek gyorsabban nőttek, mint a kitermelés, az ellátottsági mutató tehát, ha kis mértékben is, de „javult”. Ez természetesen nem jelenti azt, hogy potenciálisan ne kellene számolni ezen primerenergia-hordozó korlátos voltával, az azonban valószínűsíthető, hogy ez a korlát időben lényegesen később jelentkezik, mint azt ma a média sugallja, vagy a laikus közvélemény gondolja.

A „művealó készlet” fogalma alatt az az energiahordozó vagyon értendő, amely geológiailag részletesen megkutatott (1), és az adott időben rendelkezése álló legjobb technológiával (BAT: Best Available Technology) gazdaságosan kitermelhető (2). Nem kell különösebben magyarázni, hogy időben állandóan változó tényező a BAT, és időben állandóan változik az, hogy mi tekinthető gazdaságosnak. Ebből a lényegi meghatározottságból következően a mindenkori „művealó készlet” és a „földtani készlet” közötti határ meglehetősen elmosódó, állandóan változó.

Nem szorul az sem magyarázatra, hogy meghatározott gazdasági, katonai, nemzetbiztonsági, politikai stb. érdekek által erősen befolyásoltak a mindenkori energiahordozó vagyonra vonatkozó információk. Az is magától értetődő, hogy a regionális, globális becslések bizonytalansága lényegesen nagyobb, mint egy-egy ország energiahordozó vagyonára vonatkozó információké.

Összefoglalóan tehát az állítható, hogy az egyes források által megadott értékek között jelentős különbségek vannak, lehetnek, még akkor is, ha azonos időpontban készült, és azonos időtávra vonatkozó kijelentésekről van szó.

## **6.4. A potenciális termelési kapacitás az egyes villamosenergia-termelési technológiák esetében**

A fogalom magyarázatra szorul. Potenciális termelési kapacitás alatt az értendő, hogy az adott villamosenergia-termelési technológiával történő villamosenergia-termelés milyen mértékben képes hozzájárulni a villamosenergia-igények, és a mindenkori villamos teljesítményigények kielégítéséhez. Első közelítésben a kérdésfelvetés értelmetlennek tűnik, mert elviekben az adott villamosenergia-termelő kapacitás sokszorozásával bármilyen villamosenergia-igény és villamos teljesítményigény kielégíthető. A kérdéskört közelebről megvizsgálva belátható, hogy korántsem ez a helyzet minden villamosenergia-termelési technológia esetében. A korlátlan sokszorozásnak több szempontból objektív akadályai lehetnek. És itt most természetesen nem az anyagi erőforrások korlátozott rendelkezésére állására gondolunk. Az „objektív korlátok” alatt a technológia lényege-



gi sajátosságaiból adódó korlátokat éretjük. Mi értendő ezen megfogalmazás alatt? A következő példakkal világítható meg a kérdés mögött rejlő gondolati tartalom.

Vízerőművi villamosenergia-termelő kapacitás létesítésének objektív feltétele, hogy az adott ország, régió rendelkezzen ilyen célra hasznosítható vízerő potenciállal (villamosenergia-termelési célra hasznosítható vízerővel). Bármilyen technológia, és akár korlátlan anyagi erőforrások is rendelkezésre állhatnak, ha nincs hasznosítható vízerő, akkor nem valósítható meg vízerőművi villamosenergia-termelés. A kép tovább árnyalható. Tegyük fel, hogy magashegyi, tározós vízerőműről van szó. Ezen vízerőművek termelési kapacitása alapvetően függ a mindenkori, tározóban rendelkezésre álló víz mennyiségétől. Ez szezonálisan változik. Ebből következően az adott vízerőmű potenciális termelőkapacitása is szezonálisan változik.

Még plasztikusabb a példa a geotermikus erőművek esetében. Ilyen villamosenergia-termelési technológiát csak ott lehet létesíteni, ahol a földhő hasznosítására technikai lehetőség kínálkozik.

A napsugárzás villamosenergia-termelési célú hasznosítása esetén is nyilvánvaló, hogy e villamos kapacitások hasznosítása a napsugárzashoz kötött. Éjjel ezek az erőművek nem képesek áramtermelésre, tehát a mindenkori villamos teljesítményigények kielégítésére csak korlátozottan, illetve bonyolult kiegészítő technológia alkalmazása révén alkalmasak.

Ugyanez a helyzet a szélerőművek esetében. Itt a mindenkori széljárás függvényében történhet villamosenergia-termelés. Nem szorul különösebben magyarázatra, hogy a ezen villamosenergia-termelési technológia esetében is jelentős tartalékkapacitásra és szabályozó kapacitásra van szükség ahhoz, hogy az adott villamosenergia-termelési technológia illeszthető legyen az együttműködő villamosenergia-rendszerbe.

Az is nyilvánvaló, hogy a felületegységen „befogható” napsugárzás teljesítmény felülről korlátos, az adott földrajzi hely által meghatározott. Ebből következően a technikailag legjobb hatékonyságú hasznosítás esetén is felülről korlátos a felületegységen realizálható teljesítmény. Objektív korlátként kell értelmezni egy adott technológia esetében azt a meghatározottságot, hogy nem lehet országrésnyi területeket napelemekkel „lefedni”, annak érdekében, hogy a szükséges villamos teljesítmény (a nappali időszakban) biztosítható legyen. (Az éjszakai villamos teljesítményigények kielégítésére és az együttműködő villamosenergia-rendszerben szükséges szabályozási feladatok ellátására ebben az esetben is „konvencionális” erőművekre van szükség).

Vannak olyan villamosenergia-termelési technológiák, amelyek esetében, a technikai fejlettség mai szintjén nem áll rendelkezésre nagyobb egység teljesítményű energia-termelő egység. Magától értetődően ez is objektív korlát az adott technológia nagyobb volumenben való alkalmazása szempontjából. A példák tovább sorolhatók, azonban megítélésünk szerint az eddigiek alapján is világos, hogy mit értünk potenciális termelőkapacitás alatt egy adott villamosenergia-termelési technológia esetében.

## **6.5. Az energetikai hatások**

### **6.5.1. Az energetikai hatások értelmezése**

A különböző villamosenergia-termelési technológiák energetikai hatékonyság (az energiaátalakítás hatásfoka) alapján való összevetése az egyik legalapvetőbb összehasonlítási szempont. Az energetikai hatások fogalma nem problematikus fogalom a műszaki tudományokban, ezen belül az alkalmazott műszaki tudományokban sem, így a villamosenergia-termelés területén sem. A nem szakemberek számára is többé-kevésbé egyértelmű a fogalom tartalma. Minden látszólagos egyszerűség és egyértelműség ellenére azonban egy megalapozott összehasonlító értékelés érdekében szükséges néhány megjegyzés előrebocsátása.

### **6.5.2. A vonatkoztatási rendszer szerepe a hatások értelmezés során**

Az energetikai hatások, mint az energiaátalakítást jellemző egyik legfontosabb és legjobb mutató, értelmezhető energetikai berendezésekre, technológiákra, erőművekre, energiatermelő egységekre, sőt műszaki értelemben nem rendszert alkotó összességekre, például gazdálkodó egységekre is, sőt egész országokra is. Lényeges azonban annak mindenkor pontos megadása, hogy mi a vonatkoztatási rendszer. Ellenkező esetben nem összevethetőek az egyes adatok, sőt félrevezetőek lehetnek.

Az alábbi példával röviden és elméleti fejtegetések nélkül érzékeltethető e probléma mibenléte.

Az elektromos hőtárolós kályhával való helyiségfűtés hatásfoka száz százalék ( $\eta_1=100,00\%$ ). Ez azt jelenti, hogy a vonatkoztatási rendszerbe (fűtött helyiség a felhasználónál) a képzeletbeli ellenőrző felületen belépő villamos energia maradéktalanul hővé alakul. Másképpen néz ki a helyzet, ha figyelembe vesszük a szállítóhálózati (nagyfeszültségű alaphálózat) és az elosztóhálózati szállítási és transzformálási veszteséget. Ennek eredő értékére a példa kedvéért vegyünk fel 8 % értéket. Ebben az esetben a vonatkoztatási rendszer a teljes szállító és elosztóhálózat beleértve a fogyasztói felhasználási helyet, azaz a fűtött helyiséget. Energetikai hatásfokként ekkor ( $\eta_2=92,00\%$ ) adódik.

Magyarországon a konvencionális hőerőművi kondenzációs villamosenergia-termelés nettó (kiadott villamos energiára vonatkoztatott) hatásfoka nem éri el a 33 %-ot. Abban az esetben, ha a vonatkoztatási rendszerbe belevezetjük magát az energiaátalakítási folyamatot, vagyis magát a villamosenergia-termelést, akkor már eredő energetikai hatásfokként  $\eta_3=30\%$  körüli értéket kapunk. A teljes technológiai láncba azonban beletartozik az erőműben villamos energiává alakított primerenergia-hordozó kitermelése, átalakításra való előkészítése, szállítása és tárolása során fellépő energiafelhasználás, energiaveszteség. Mélybányászati úton kitermelt, szállított barnaszén esetében a primerenergia-hordozó előkészítésére (ami alatt az előbbieken részletezett folyamatok összességét értjük) és erőműbeállítására fordított energia a tüzelőérték húszszáza-

lékát is kiteheti. Ebben az esetben a teljes energetikai láncra vetített, a végfelhasználónál jelentkező energetikai hatásfok  $\eta_i=25\%$ . Egy átlagos kivitelű egyedi széntüzelésű kályha esetében az energetikai hatásfok (ugyancsak a teljes technológiai láncra vetítve és a végfelhasználónál értelmezve)  $\eta_s=32\%$ . A bemutatott számértékek önmagukért beszélnek.

A példával kapcsolatban természetesen számos kiegészítő megjegyzés tehető. A lényeg azonban annak demonstrálásán van, hogy az energetikai hatásfok értelmezése esetében alapvető jelentősége van a vonatkoztatási rendszernek. Nemzetgazdasági szempontból nyilvánvalóan más energetikai hatásfoknak van jelentősége, mint egy egyedi háztartás számára, s más energetikai hatásfok bír jelentőséggel egy erőmű és egy áramszolgáltató, vagy mondjuk egy bányá esetében. Külön hangsúlyozni szükséges, hogy a bemutatott különböző energetikai hatásfokok esetében nem arról van szó, hogy az egyik „jobb” („igazabb”), mint a másik, hanem arról, hogy más és más vonatkoztatási rendszer esetében más és más értéket kapunk. Ez azonban hangsúlyozottan nem a fogalom relativizálhatóságát, pontatlanságát mutatja. Lényeges tehát egy összehasonlító értékelés esetében annak mindenkor pontos megadása, hogy mi a vonatkoztatási rendszer az adott energetikai hatásfok érték esetében.

### **6.5.3. A különböző energetikai hatásfok értelmezések**

Az egyes energetikai hatásfok fogalmak értelmezése nem tárgya jelen összeállításnak. Megadjuk azonban felsorolásszerűen azokat a hatásfokfogalmakat, amelyekkel az egyes villamosenergia-termelési technológiákat jellemezzük. Külön hangsúlyozni szeretnénk a villamosenergia-termelés teljes technológiai láncára értelmezett energetikai hatásfok jelentőségét az egyes villamosenergia-termelési technológiák energetikai hatékonyságának megítélésekor.

A különböző villamosenergia-termelési technológiák komplex összehasonlító jellemzése az alábbi energetikai hatásfok értékek alapján történik:

- 1.) Energetikai hatásfok  
(*általános értelmezés*);
- 2.) Energiaátalakítási folyamat mennyiségi hatásfoka  
(*általános értelmezés*);
- 3.) Energiaátalakítási folyamat Carnot-hatásfoka  
(A konvencionális hőerőművi villamosenergia-termelés elméleti felső hatásfok korlátját kijelelő érték);
- 4.) Villamosenergia-termelés bruttó (termelt villamos energiára vetített) hatásfoka;
- 5.) Villamosenergia-termelés nettó (kiadott villamos energiára vetített) hatásfoka;
- 6.) Villamos energia fogyasztókhöz való eljuttatásának energetikai hatásfoka (villamos energia eredő szállítási hatásfok)  
(*A hálózati veszteségeket jellemző érték*);
- 7.) Villamosenergia-ellátás eredő energetikai hatásfoka  
(*A villamosenergia-rendszer egészét (termelői (erőművi), szállítói és elosztói alrendszert) együttesen jellemző hatásfok érték*);

- 8.) Villamosenergia-termelés teljes technológiai láncára vonatkoztatott eredő energetikai hatásokfok  
*(Ennek a hatásokfok-értelmezésnek a nemzetgazdasági szintű vizsgálatokban, az egyes villamosenergia-termelési technológiák komplex összehasonlításakor van jelentősége);*
- 9.) Kapcsolt energiatermelés villamos részhatásokfoka;
- 10.) Kapcsolt energiatermelés termikus részhatásokfoka;
- 11.) Kapcsolt energiatermelés mennyiségi hatásokfoka;
- 12.) Primerenergia-hordozó energiaátalakításra való előkészítésének eredő energetikai hatásokfoka  
*(Ennek a hatásokfok-értelmezésnek a nemzetgazdasági szintű vizsgálatokban, az egyes villamosenergia-termelési technológiák komplex összehasonlításakor van jelentősége).*

## **6.6. Gazdasági hatékonyság (költségek)**

A villamosenergia-szolgáltatás a társadalom egészét érintő, alapvető szolgáltatás. Mindebből következően középponti jelentőséggel bír a költségek, és ennek következtében az árak alakulása e területen.

A villamosenergia-termelési költségek alakulása meghatározó jelentőségű az adott villamosenergia-termelési technológia versenyképessége szempontjából, az adott termelési technológia egyik legfontosabb jellemzője. A mindenkori termelési költségeknek azonban vannak olyan összetevői, amelyek nem szigorúan az adott technológiából következnek, hanem más tényezőktől, hatásoktól függenek. A primerenergia-hordozók és a termelési segédanyagok áralakulása példaképpen ilyen költségösszetevők az adott villamosenergia-termelési technológia számára.

Jelen áttekintésnek nem tárgya a költségekkel összefüggő alapfogalmak, az egyes költségösszetevők értelmezése. Itt és most arra szorítkozunk, hogy megemlítjük azokat a fogalmakat, amelyek az egyes villamosenergia-termelési technológiák gazdasági hatékonyság szempontjából való jellemzéskor alapvető fontosságúak. E fogalmak pontos tartalmának ismerete alapfeltétele a költségadatok értelmezésének. Az egyes technológiák gazdasági hatékonysága, költségjellemzői az alábbi költségadatok alapján adható meg:

- 1.) Fajlagos beruházási költség;
- 2.) Fajlagos állandó költség;
- 3.) Fajlagos változó költség;
- 4.) Eredő termelési egységköltség;
- 5.) Aktualizált egységköltség.
- 6.) Primerenergia-hordozó fajlagos költsége

## **6.7. A villamosenergia-termelési technológiák környezetterhelése**

### **6.7.1. Környezetterhelés, környezeti hatások fogalma**

A vizsgálatunk tárgyát képező környezetterhelés forrása az erőmű, illetve energiatermelő egység, amely az adott villamosenergia-termelési technológiától függően különböző módon és mértékben terheli a környezetet, a természetes és az ember alkotta mesterséges környezetet egyaránt. A villamosenergia-termeléssel összefüggésbe hozható környezetterhelés azonban nemcsak az energiaátalakítási folyamatból adódik, hanem a primerenergia-hordozók kitermeléséből, felhasználásra való előkészítéséből, szállításából is. A környezetterhelés mibenlétének és mértékének objektív meghatározásához szükséges a környezeti hatások felmérése, és számszerűsítése.

Az ember tárgyi tevékenysége hatással van a természeti és mesterséges környezetre egyaránt. A modern társadalmakban a legnagyobb mértékű környezetterhelést az energiaellátással, az energiatermeléssel és az energiaszolgáltatással összefüggő ipari tevékenység okozza. Az energiatermelés különböző energiaforrásokból származó energia olyan módon történő átalakítását jelenti, amely lehetővé teszi annak technikai hasznosítását. Ez a tevékenység lényegénél fogva beavatkozást jelent a természeti környezetbe. Az energiatermelés jelenlegi és állandóan növekedő mértékét tekintve ez a beavatkozás már globális méretekben is érezteti hatását. Világosan kell azonban látni, hogy nincs energiatermelés környezetbe való beavatkozás, környezetterhelés nélkül.

Minden energiatermelés környezetterheléssel jár, természetesen az adott energia-termelési módtól függően az adott környezetterhelés jellegében, mértékében igen különböző lehet. Nincsen tehát abszolút értelemben vett „tisztá energia”, legfeljebb olyan energia, amely adott vonatkozásban kevésbé terheli a környezetet, mint valamely más energiatermelési mód. Példaként lehet erre említeni a fosszilis tüzelőbázisú, a nukleáris és a vízerőművi villamosenergia-termelés eltérő jellegű és mértékű környezetterhelését.

A fosszilis tüzelőbázisú, például szénerőművi villamosenergia-termelés környezetterhelése mindenki számára közismert.

A nukleáris energiatermelés esetében ezen környezetterhelő hatások túlnyomó része nem jelentkezik: nincsen szilárd (por, korom) lebegőanyag-kibocsátás, nincsen CO<sub>2</sub> kibocsátás, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> CO kibocsátás stb. Ugyanakkor az atomerőművi villamosenergia-termelés esetében is jelentkezik a környezet nagymértékű hőterhelése (a kondenzációs hő környezetbe vezetése miatt) és olyan jellegű környezetterhelés, amely a konvencionális fosszilis tüzelőbázisú villamosenergia-termelésnek nem sajátja. Az atomerőművek esetében — még ha rendkívül kis mértékben is — de jelentkezik a környezet radioaktív terhelése. Az egész technológia, beleértve ebbe a kiegészítő fűtőelemek tárolásával kapcsolatos problémákat is, potenciális veszélyforrást jelent a környezet számára. A nukleáris technológiával kapcsolatos balesetek száma elenyészően kicsiny más technológiákkal összehasonlítva, üzemzavarok számához képest. Egy rendkívül kis valószínűséggel bekövetkező nukleáris baleset hatása azonban sokszorosa lehet más energiatermelési technológiákkal kapcsolatos balesetek hatásának.

A vízerőművi energiatermelést klasszikusan környezetbarát villamosenergia-termelési technológiaként tartja nyilván a közvélemény, jóllehet mind az átfolyós, mind a tározós vízerőművek igen komoly környezeti hatásokkal bírnak. Itt elsősorban a talajvízszintre gyakorolt hatásra, az adott terület vízháztartását, mikroklimáját érintő hatásokra kell gondolni.

Nincsen tehát villamosenergia-termelés környezetterhelés nélkül, legfeljebb annak mértékében és a terhelés módjában van különbség az egyes villamosenergia-termelési technológiák között. A közvélemény azokat a villamosenergia-termelési technológiákat nevezi „környezetbarát” technológiáknak, amelyeknek negatív, környezetromboló hatása kevésbé látványos, nyilvánvaló.

A villamosenergia-termelés környezetterhelése kezdetben lokális jellegű volt, az adott erőmű közvetlen környezetére korlátozódott. A villamosenergia-termelés rohamléptékű növekedésével arányosan nőtt a szennyezés mértéke és hatósugara, s egyes területeken a szennyezés regionális mértékűvé vált. Az iparnak, és ezen belül a villamosenergia-termelésnek a súlyos környezetszennyezése ugyanakkor viszonylag későn, a hetvenes évek elejétől kezdődően tudatosodott. Az ipari területeken a bioszféra súlyos károsodása, a folyók, tavak élővilágának kipusztulása, a savas esők, a korábban nem látott mértékű erdőkárosodás, erdőpusztulás, a mikroklima megváltozása döbentették rá először a legfejlettebb ipari országokat arra, hogy milyen veszély fenyegeti az emberiséget. A hatások hamar túlléptek regionális jellegükön, s egyes vonatkozásokban már globális jelleget kezdtek öltetni. E negatív hatások felismerésével és tudatosodásával párhuzamosan a fejlett országok elsőként vezettek be olyan előírásokat, szabályokat, amelyek a környezetterhelés mértékét voltak hivatva szabályozni. A különböző környezetvédő mozgalmak megjelenése is erre az időszakra tehető.

A környezetszennyezés rendkívül negatív és „látványos” hatásai jelentősen formálták a társadalmi tudatot is e vonatkozásban. A dolog természetéből adódóan természetesen szélsőséges nézetek és álláspontok is megjelentek. A józan értékelés számára azonban nem kétséges, hogy minden villamosenergia-termelési technológiának vannak környezetterhelő hatásai, „hulladékai”. Ezek a „hulladékok” előbb-utóbb, közvetlenül vagy közvetett úton kikerülnek a természeti környezetbe, környezetszennyezést okozva ott. A fő kérdés tehát az, hogy a terhelés milyen módon, milyen koncentrációban történik. Az is nyilvánvaló, hogy a környezetszennyezők tényleges hatása általában a kibocsátástól függ.

A fejlett államokban az ipari szennyező forrásokra vonatkozóan, így az erőművekre, különböző villamosenergia-termelési technológiákra vonatkozóan is, ma már szigorú kibocsátási (emissziós) előírások vannak érvényben. Az erőművi egységek, erőművek emissziójára megengedett határértékek többnyire meghatározott időtartam alatt kibocsátott mennyiségekre (tömeg, energia, koncentráció stb.) vonatkoznak. A mértékadó, vonatkoztatási időtartamot a szennyezők jellege és mérési módszerük határozza meg alapvetően. A különböző jogszabályokban előírt emissziós határértékek általában egyfajta társadalmi kompromisszum eredményei, amelyek döntően függenek az adott ország műszaki fejlettségétől, a rendelkezésre álló pénzügyi erőforrásoktól. Az emissziós határértékek szigorítása nyilvánvalóan a villamosenergia-termelési költségek növekedését vonja maga után, hiszen az előírások szigorításával kiszorulnak a termelésből azok az erőművek, amelyek nem képesek az adott normák teljesítésére. Az új erőművek létesítésékor az előírásokat értelemszerűen teljesíteni kell, de a beruházók arra van-



nak „kényszerítve”, hogy azokat túlteljesítsék, számolva a későbbiekben várható szigorításokkal. Mindez összességében a költségek jelentős növekedését eredményezi.

## 6.7.2. A „hatás-út” fogalma

Adott technológiájú villamosenergia-termelés hatásait összefüggések láncán (az ún. „hatás-úton” (impact pathway)) keresztül lehet meghatározni, amely összeköti a *környezetterhelés* kezdőpontját a hatásokkal. Egy villamosenergia-termelési technológia hatásainak mindenre kiterjedő elemzéséhez számos különböző hatás-út vizsgálat szükséges és a környezeti kérdéseket helyi, regionális és globális szinten kell vizsgálni. Az azonnali, közvetlenül jelentkező hatásokon felül a késleltetett és az összeadó (kumulált) hatások is fontosak lehetnek, ezeket is fel kell térképezni. A teljes technológiai lánc lefedéséhez például a tüzelőanyag kitermelését, előkészítését, a primerenergia-hordozó előállítását és előkészítését, a villamosenergia-szállítást és villamosenergia-elosztást, illetve a hulladékfeldolgozást és elhelyezést folyamatát, technológiáját, vagyis a villamosenergia-termelés teljes technológiáját figyelembe kell venni.

A hatás-út módszer lehetővé teszi a környezetterhelést okozó műszaki objektum környezetre gyakorolt hatásainak módszeres számbavételét, feltérképezését, számszerűsítését.

A környezetterhelés számszerűsítése az adott műszaki objektum valamely jellemző termékére vonatkozóan történik (fajlagos károsanyag-kibocsátás vagy fajlagos káros hatás). Erőművek esetében magától értetődően a villamosenergia-termelésre, a kibocsátott égéstermék normál állapotbeli térfogatára vonatkoztatják a károsanyag-kibocsátást (pl. [kg/kWh], vagy [mg/m<sup>3</sup>] stb.). Bányák esetében a kitermelt energiahordozó, érc, segédanyag stb. mennyiségére, ([kg/kt]), vagy a kitermelt energiahordozó által képviselt energiára ([kg/GJ]) vonatkoztatják az adott műszaki létesítmény károsanyag-kibocsátását. Nukleáris létesítmények esetében a sugárzást jellemző fizikai mennyiségeket adják meg, és így tovább.

A hatás-út megközelítés módszer alkalmazása során meg kell határozni az adott környezetterhelés környezetbe való szétterjedésének időbeli és térbeli lefolyását. A környezetszennyezés térbeli és időbeli terjedésének, a mindenkori károsanyag-koncentráció térbeli és időbeli alakulásának meghatározása általában igen bonyolult feladat, tekintettel arra, hogy a mindenkori koncentráció alakulását igen nagyszámú tényező befolyásolja, amelyek közül számosnak a hatása véletlenszerű folyamatnak tekinthető. A gyakorlatban általában egyszerűsítő feltételezésekkel élnek, s ennek megfelelően egyszerűsített modelleket alkalmaznak a számítások során. A leggyakrabban előforduló konkrét feladat például az adott magasságban kibocsátott légnemű szennyezőanyag terjedésének, hígulásának meghatározása, a szilárd lebegőanyagok ülepedésének modellezése. Bonyolult modellek írják le a különböző talajszennyeződések (pl. a talajnak olajjal történő szennyezésekor az olajnak) a terjedését, annak időbeli lefolyását. Az ilyen jellegű kérdések megválaszolása mindenekelőtt az ivóvízkészletek védelme stb. szempontjából igen lényeges. Nagyszámú statisztikai adat feldolgozása alapján lehet modellezni a különböző élő szervezetek reakcióját az őket ért sugárzásokra.

Az adott környezetterhelés, károsanyag-kibocsátás mértékének és térbeli, időbeli



terjedésének ismeretében már hozzávetőlegesen meghatározhatók a szennyezés következményei is. Ennek a kérdésnek a megválaszolása többdimenziós vizsgálatot tesz szükségessé, amennyiben az adott környezetterhelésnek a hatása eltérő az élő környezetre (növényvilágra, állatvilágra) és az élettelen környezetre (atmoszférára, hidroszférára, talajra, stb.) a mesterséges környezet különböző objektumaira, s az emberek egészségére, fizikai, biológiai életkörülményeire, az erdőgazdálkodásra, a vízgazdálkodásra, a mezőgazdaságra stb. Az értékelésnek, a hatások számszerűsítésének tehát ennek megfelelően ki kell terjednie a környezeti hatások, az egészségkárosító hatások, valamint az anyagi károkat okozó hatások számbavételére, a gazdálkodásban okozott károk, veszteségek felmérésére.

Végül a hatás-út vizsgálat befejező lépéseként minősíteni, értékelni kell az adott környezetterhelés okozta károkat. Ez a lépés alapvetően két feladatot foglal magában. Egyrészt a károk, negatív hatások okozta költségek, veszteségek, stb. pénzbeli meghatározását, kifejezését (ahol ez értelemszerűen lehetséges), másrészt annak meghatározását, ellenőrzését, hogy az adott szennyezés valamely vonatkozásban nem lépi-e túl a megengedett határértékeket.

A módszer egy konkrét esetre vonatkozó alkalmazását mutatja a 6.2 ábra.

Valamely műszaki létesítmény okozta környezetterhelés az adott létesítmény, villamosmű, stb. zavaró fizikai és látvány hatásait, valamint a létesítmény működéséből eredő hatásokat foglalja magában. Ez utóbbiak tartalmazzák a levegőbe, talajba, vagy vízbe történő rendszeres vagy véletlen szennyezőanyag- kibocsátást és a hulladékkibocsátást (elhelyezést). A villamosenergia-termelésből és szolgáltatásból származó kibocsátások és hulladékok megszüntetésének gazdasági és műszaki korlátai azt jelentik, hogy mindig lesz maradó környezetterhelés, bármilyen termelési ciklus esetén. A kulcskérdés azonban az, hogy a maradó környezetterhelésnek megfelelően kicsinek kell lennie ahhoz, hogy az ne okozzon jelentős negatív környezeti hatásokat.

<i>Példa:</i>	<i>Mértékegység:</i>	
<i>Kén-dioxid kibocsátás</i>	KÖRNYEZETTERHELÉS	<i>mg SO<sub>2</sub> / kWh</i>
	↓	
<i>Távak elsavasodása</i>	HATÁS	<i>pH változás</i>
	↓	
<i>Halkészletek csökkenése</i>	KÁR	<i>Halpopuláció változás</i>
	↓	
<i>A halászat gazdasági veszteségei</i>	KÖLTSÉG	<i>Pénzügyi veszteség</i>

6.2. ábra Hatás-út megközelítés a környezetterhelés hatásainak komplex értékeléséhez (példa)

Környezeti hatások alatt olyan hatások értendők, amelyeket a természeti, vagy mesterséges tárgyi környezettel, az emberekkel, az élet más formáival és az anyagokkal való kölcsönhatásukkal okoznak az adott műszaki létesítmények, jelen esetben a villamosenergia-termelés és villamosenergia-szolgáltatás különböző műszaki létesítményei, folyamatai. A hatások tartalmazhatják az értékes örökségben és kulturális létesítményekben okozott károkat is (pl. a történelmi épületeknek és emlékműveknek savas eső által

okozott eróziója). A szennyezőanyagok szétterülnek a levegőben, talajban, vagy vízben és kölcsönhatásba kerülhetnek az atmoszférikus, a vízi és a biológiai rendszerekkel. Környezetterhelés a technológiai lánc bármely pontján jelentkezhet, és ezen környezetterhelésből eredő hatások helyi, regionális vagy globális hatások lehetnek. A környezetterhelés-hatás viszony helyspecifikus a helyi hatásokat illetően, de általában nem szigorúan helyspecifikus a regionális hatásokra és még kevésbé az a globális szintű hatásokra nézve. A hatásokat okozhatják az elsődlegesen kibocsátott szennyezőanyagok, vagy okozhatják a másodlagos szennyezőanyagok. A másodlagos szennyezőanyagok olyan szennyezőanyagok, amelyek a szennyezőanyagok a természetes környezettel való kölcsönhatásából keletkeznek. Egyes hatások erősebben kapcsolódhatnak a tüzelőanyag-lánc egyes részeihez.

### **6.7.3. A villamosenergia-termelés, villamosenergia-ellátás környezetterhelése, legfontosabb környezeti hatásai**

A 6.3. táblázat összefoglalóan tartalmazza a villamosenergia-termelés, a villamosenergia-ellátás teljes technológiai láncára vonatkozóan a legfontosabb környezeti hatások alapvető típusait.

6.3. táblázat A villamosenergia-termelés, a villamosenergia-ellátás főbb környezeti, egészségkárosító és társadalmi hatásai

<b><i>Környezeti hatások (környezetterhelés)</i></b>
Légszennyezés
Vízszennyezés
Talajszennyezés
Bioszféra (élővilág) közvetlen és közvetett károsítása
Műszaki létesítmények, pl. épületek, vasszerkezetek stb. károsodása
Klímaváltozás (mikroklíma, vagy globális klíma esetében)
Mezőgazdasági termékek (termelés) károsítása
Zajterhelés
Környezet esztétikai károsítása (romboló környezeti látvány)

A szakirodalom az antropogén eredetű környezetterhelések esetében különbséget tesz elsődleges (primer) és másodlagos (szekunder) hatások között. A környezetterhelés primer hatásai általában az adott műszaki létesítmény károsanyag-kibocsátásával hozhatók közvetlen összefüggésbe. Bonyolultabb összefüggésként értelmezhetőek az ún. másodlagos hatások. Alapvetően másodlagos hatásoknak azokat a hatásokat nevezik, amelyek az elsődleges hatások következtében, az ember természeti, mesterséges környezetében bekövetkező változások eredményeképpen lépnek fel. A globális felmelegedés említhető egyik nyilvánvaló példaként az ún. másodlagos hatásokra. Ebben az esetben primer hatásnak az üvegházhatást okozó gázok légköri koncentrációjának megemelkedését tekinthetjük (ez közvetlen következménye például (többek között) a

villamosenergia-ipar CO<sub>2</sub> kibocsátásának), míg szekunder hatásként értelmezett az átlaghőmérséklet növekedésének, a felmelegedésnek a következtében bekövetkező globális klímaváltozás. A primer hatások, illetve szekunder hatások megkülönböztetése más vonatkozásban is értelmezett. Szekunder szennyezésnek tekintik például a felszíni vizek szennyezett levegővel való kölcsönhatás következtében beálló szennyeződését, vagy a felszíni vizek, talajvizek talajszennyezés következtében való elszennyeződését. Ezekben az esetekben az elsődlegesen szennyezett környezet a légkör, vagy a talaj volt, a szennyezés innen terjedt tovább, - másodlagosan – a vizekbe. A legfontosabb komplex szennyező hatásokat és azok legfontosabb okozóit, valamint a szennyezés fő területeit és a szennyezés megnyilvánulását a 6.4. táblázat és a 6.5. táblázat összesíti.

Az alábbiakban ezen legfontosabb hatásokat minőségileg jellemezzük és a főbb környezetterhelési módok esetében számszerűsítjük az egyes villamosenergia-termelési technológiákat.

6.4. táblázat Legfontosabb szennyező hatások és szennyezőanyagok

<b><i>Szennyező hatások</i></b>	<b><i>Szennyezőanyagok</i></b>
Közvetlen és közvetett üvegházhatás	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , NO <sub>x</sub> , N <sub>2</sub> O, CFCs, CO
Ózonpajzs károsodása	CFCs
Savasodás	SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub>
Fotoszmozg	VOC, 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, eróművi 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, -	anyag károk savas esők, szennyezés okozta intenzív korrózió

6.5. táblázat A villamosenergia-ellátás teljes technológiai láncával összefüggésbe hozható fő szennyezési területek és a szennyezések megnyilvánulása

<b>Szennyezés fő területei, módjai, megnyilvánulása</b>	
Légkör (atmoszféra) szennyezése	Légnemű anyagokkal történő szennyezés, szilárd lebegőanyagokkal történő szennyezés
Vízszenyezés	Felszíni vizek, talajvizek, rétegvizek szennyezése folyékony és szilárd oldódó szennyezőanyagokkal
Talajszennyezés	Talajfelszín szennyezése kiülepedés által, mélyebb talajrétegek szennyezése beszivárgás által, szilárd, folyékony szennyezőanyagokkal
Növényvilág (flóra) károsítása	Erdőpusztulás, bizonyos fajok eltűnése, mérgező anyagok felszívódása növényekbe, növényzet sugárterhelése
Állatvilág (fauna) károsítása	Vizek élővilágának (pl. halállománynak) pusztulása, mérgező anyagok felszívódása állatokba, állatok sugárterhelése
Egészségkárosító hatások	Közvetlen múlt és maradandó egészségkárosodás, hosszú távon összegződő hatás következtében fellépő egészségkárosodások
Táji környezetet ért mechanikai hatások (meddőhányók, elhagyott bányák,	Meddőhányók, elhagyott (külfejtéses és mélyművelésű) bányák
Káros fizikai környezeti hatások	Zaj, rezgés, bűz, láthatóság romlása
Erdőgazdasági, halgazdasági, mezőgazdasági termelés károsítása	Hozamok csökkenése, minőségromlás, tisztítási többletköltségek felmerülése
Mesterséges környezet károsodása környezetszennyezés következtében	Épületek, szerkezeti anyagok stb. károsodása, intenzívebb korróziója

## **6.8. A villamosenergia-termelési technológiák egészségkárosító és anyagi károsodást okozó hatása**

### **6.8.1. Módszertani problémák**

A villamosenergia-ellátás egészségkárosító, anyagi objektumokban károkat okozó hatásainak felmérésekor, értékelésekor egy alapvető ténytet kell szem előtt tartani. Mindenekelőtt világosan kell látni, hogy minden emberi tárgyi tevékenység bizonyos kockázattal jár. Nincsenek olyan tárgyi eszközök, olyan technológiák, amelyek ne jelentenének, vagy

jelenthetnének valamilyen módon, közvetlenül vagy közvetetten veszélyt az ember számára, amelyek ne okoznának, vagy ne okozhatnának egészségkárosodást, nem szándékolt anyagi károkat. Különösen igaz ez az energiatermelés technológiáira. Nincsen olyan villamosenergia-termelési technológia, amely ne járna valamilyen módon és mértékben környezetterheléssel, környezetszennyezéssel, amelynek ne lennének közvetlenül vagy közvetetten egészség-károsító, vagy anyagi objektumokat károsító hatásai.

Fontos annak szem előtt tartása is, hogy valamely villamosenergia-termelési technológiát az adott technológia teljes technológiai láncára, folyamatára kiterjedően kell és szabad értékelni a környezetterhelés és az egészségkárosító, anyagai károkat okozó hatása szempontjából. Ezt a szemléletet nevezik a „bölcstől a koporsóig” elvű szemléletnek.

Végül fontos még egy harmadik tény tudatosítása is. Nevezetesen annak megértése, hogy a társadalom mindenkori anyagi és szellemi erőforrásaitól függ az, hogy valamely villamosenergia-termelési technológia esetében hol húzza meg azt a határt, amely alá kell csökkenteni a káros hatásokat, a környezetterhelés mértékét, az egészségkárosító hatásokat stb. Nyilvánvaló, hogy a ma elfogadott károsanyag-kibocsátási normákat is túl lehet teljesíteni, akár többszörösen is. Technikailag mindez ma már szinte minden területen megoldható. Ennek azonban komoly, exponenciálisan növekvő anyagi konzekvenciái vannak. A ténylegesen elvárható ráfordításokat mindig a mindenkori társadalmi elvárások határozzák meg. Nem mindegy tehát az, hogy az eredmény-ráfordítás görbének mely szakaszán történik a károsanyag-kibocsátás csökkentését célzó technika bevetése (alkalmazása) a környezetterhelés csökkentése érdekében. Nyilvánvalóan a mindenkori technikai fejlődéssel e görbe alakja is változik, jellegében azonban változatlan marad.

Az eddigiek annyiban összegeezhetők röviden, hogy a „tisztá villamos energia = drága villamos energia”. A „tisztá villamos energia” alatt értelemszerűen az alacsony szintű környezetterhelést, egészségkárosodást stb. okozó villamosenergia-termelés értendő.

Az egészségkárosító hatások számbavételekor módszertani problémák is felmerülnek. A technológiából eredő balesetek esetében egyrészt nyilvánvaló az ok-okozati összefüggés, másrészt jól körülhatárolhatóak a károsodások. Ugyanez vonatkozik azokra az esetekre, amikor technológiai balesetek következtében más anyagi objektumok, létesítmények károsodnak. Sokkal problematikusabb azoknak az egészségkárosító hatásoknak a számbavétele, amelyek csak nagyon hosszú idő alatt érvényesülnek, ahol egy viszonylag alacsony intenzitású károsító forrás hatásának akkumulálódásáról, akkumulált hatásairól van szó. Nehéz az ilyen esetekben egyértelműen megállapítani az ok-okozati összefüggést, ugyanis számos esetben ugyanolyan károsító forrás különböző hatásokat vált az egyes érintett embereknél, attól függően, hogy milyenek azok genetikai adottságai, fizikai erőnléte, életkora, ellenállóképessége stb.

A hosszú távú hatások felmérése, számszerűsítése tehát mindig igen problematikus. Vannak olyan esetek is, amikor a káros behatás rövid idő alatt jelentkezik, viszont hatása igen hosszú lappangási idő után mutatkozik meg. Az egészségkárosodás jellege is igen különböző lehet, ami számos esetben megnehezíti a tényleges károsodás felmérését, körülhatárolását. A legnyilvánvalóbb egészségkárosodást a traumatikus hatások jelentik, amelyek esetében a test szöveteinek, csontozatának károsodása mechanikai erőbehatás, villamos áramütés, égés, gyors és intenzív hőelvonás (fagyás), toxikus kémiai

hatású anyagok szervezetbe kerülése, oxigénhiány (pl. fulladás) stb. hatására lép fel. A következmények igen különbözőek a behatás hogyanjától, mértékétől függően.

Az időben késleltetetten jelentkező egészségkárosodás mindenekelőtt különböző mérgező anyagok szervezetbe jutásával, ott való felhalmozódásával, a szervezetet ért, egy küszöbértéket meghaladó sugárzással függ össze, ennek a következménye. Vannak olyan egészségkárosodások, amelyek a tartós károsító hatás eredményeképpen lépnek fel, egyébként nem túl nagy intenzitású károsító forrás miatt.

A villamosenergia-ellátás technológiájával összefüggésbe hozható káros hatások az élő szervezetekben a felhalmozódó károsanyag és káros hatással bíró energia mennyiségétől vagyis a dózistól függ. A nagy dózisok hatása minden esetben igen rövid időn belül, esetleg azonnal, a hatással párhuzamosan jelentkeznek. A kis dózisok egy adott — természetesen a hatás jellegétől függő — küszöbérték alatt többnyire ártalmatlanok. A felhalmozódó hatás azonban ebben az esetben is jelentkezhet. A károsító forrás, behatás és annak következményei közötti összefüggés — ahogy erre már korábban utaltunk, — sok tényezőtől függ, s mint ilyen sztochasztikusnak tekinthető. Csak igen nagy mennyiségű tapasztalati adat kiértékelése alapján lehet többé-kevésbé objektív képet kapni a hatás-következmény kapcsolatról. A kis dózisok sokszor csak múltó funkciózavart okoznak a szervezet működésében, szemben a nagyobb dózisokkal. Az élő szervezet anyagcseréje is nagyon nagy szerepet játszik a hatások kialakulásában. A felvett és kiürített anyagok mennyiségétől és arányától is függhet, hogy egy adott károsító anyag milyen hatást fejt ki a szervezetben.

### **6.8.2. Az egészségkárosodást okozó hatások vizsgálati módszerei**

A különböző villamosenergia-termelési technológiák egészségkárosító hatása, anyagi objektumokat károsító hatása, veszélyessége a kockázattal jellemezhető. Az adott típusú, mértékű károsodás esetében a fajlagos (egy főre eső) negatív következmények relatív gyakorisága, valószínűsége értendő. Az egészségkárosító hatások számbavétele alapvetően a múltbeli események statisztikai feldolgozásán alapszik. A bonyolult, nagyon sok tényezőtől függő, összetett technikai rendszerek, technológiák miatti kockázat számszerűsítésére sokféle eljárást fejlesztettek ki. A teljes technológiai láncra kiterjedően végezhető el az adott villamosenergia-termelési technológia valószínűségi kockázatelemzése (Probabilistic Risk Analysis: PRA). A valószínűségi biztonsági elemzés (Probabilistic Safety Analysis: PSA) az előbbi eljáráshoz kapcsolódik. Az adott egészségkárosító hatások fellépésének valószínűségét a matematikai logika eszközeivel meghatározott eseményfákkal és következményfákkal írják le, végül ezek segítségével határozzák meg az adott esemény (események) bekövetkezésének valószínűségét.

A villamosenergia-termelő, szállító létesítményeknek, beleértve a villamosenergia-termelés teljes technológiai láncához tartozó más műszaki létesítményeket is, nemcsak közvetlen és jól körülhatárolható szomatikus tünetekben jelentkező egészségkárosító hatása van. Igen jelentősek az ún. nem közvetlen, áttételes hatások is. Ezen hatások közé sorolják a káros, kellemetlen hanghatásokat, zajkeltést, rezgéskeltést, bűzt, a környezet képének tönkretételét, esztétikai rombolását. Az ingerküszöb környékén levő tartós ilyen jellegű terhelés a komfortérzetet rontja meg, az idegrendszert terheli, hosszabb távon stresszt okozhat, összességében az életminőséget rontja jelentősen.

### **6.8.3. Az egészségkárosodás következményeinek számszerűsítése**

Igen lényeges kérdés a különböző környezetszennyezések következtében fellépő egészségkárosodás és más ártalmak, hatások számszerűsítésére. Ez a hatások különböző volta és mértéke, időben elhúzódó jellege, a mérés lehetetlensége miatt igen nehéz. A legegyszerűbb számszerűsítést jelenti a sérültek, károsodást szenvedettek számának megadása. Ez sem egyszerű azonban minden esetben. A keletkezett károk pénzben való kifejezése magától értetődő mérési lehetőséget ad, az emberi élet értékének vonatkozásában azonban már igen súlyos elvi és gyakorlati problémák merülnek fel az értékelést illetően. A halálos kimenetelű balesetek esetében gyakran használják az elveszett életidő meghatározásán alapuló számítást (Years of Life Lost: YOLL, vagy Loss of Life Expectancy: LLE). A nem halálos kimenetelű balesetek esetében a kiesett munkaidő alkalmas a katasztrófa/baleset jellemzésére (ez a Working Day Lost: WDL). A balesetekből eredő maradandó egészségkárosodás jellemzésére sokszor használják a YREC mutatót, ami nem más, mint a keresőképesség relatív csökkenésének mérőszáma (Years with Reduction in Earning Capacity: YERC). Ehhez hasonló elven alapszik a csökkent minőségű életidő meghatározása (Quality Adjusted Life Year: QALY). Egyes balesetek, illetve katasztrófák következményeinek objektív számszerűsítésekor szükség van „többdimenziós” értékelésre, azaz ezekben az esetekben nem elegendő a fenti mutatók alkalmazása önmagukban. Ilyenkor több hatást minősítenek, méghozzá olyan módon, hogy minden egyes hatáshoz egy „minősítő osztályzatot” rendelnek arról. Bizonyos esetekben ez szubjektív, — tehát nem mérésen alapuló — értékelést jelent. A minősítő osztályzatokból egy heterogén sokparaméteres mutató áll elő. A különböző minősítő osztályzatok egyidejű értékelésre példa a sokparaméteres hasznosság (Multiattribute Utility: MAU) meghatározása. A MAU értékét az alábbi összefüggés definiálja:

$$S = \sum_{i=1}^{i=n} r_i y_i$$

Az összefüggésben:

- S Eredő hasznosság [-];
- n Az értékelésben figyelembe vett szempontok száma [-];
- $y_i$  Az n számú következmény i-edik elemére adott osztályzat [-];
- $r_i$  Az n számú következmény i-edik elemének súlyozó tényezője [-].

## **6.9. Villamosenergia-termelési technológiák összehasonlító jellemzése a rendszerirányítás szempontjából**

### **6.9.1. A rendszerirányítás fő feladata**

Az egyes villamosenergia-termelési technológiák rendszerirányítás szempontjából való jellemzésekor célszerű röviden áttekinteni és összefoglalni azokat az alapfogalmakat, amelyek szükségesek annak megértéséhez, átlátásához, hogy mely tulajdonságok, és miért pont éppen azok a fontosak a rendszerirányító szempontjából egy adott erőműegység (és közvetve az adott villamosenergia-termelési technológia) esetében.



A villamosenergia-rendszer rendszerirányítójának több feladata van. Vizsgálatunk szempontjából most azokat a feladatokat vesszük szemügyre, amelyek a villamosenergia-rendszer rendszerszintű teljesítményegyensúlyának folyamatos biztosításával függenek össze.

A villamos energia ipari mértetekben nem tárolható. Ezért folyamatosan biztosítani kell a villamosenergia-rendszer forrásoldalának és fogyasztói oldalának teljesítményegyensúlyát. Azaz a rendszerben folyamatosan biztosítani kell azt, hogy a különböző villamosenergia-források által a rendszerbe táplált teljesítmény pontosan megegyezzen a rendszerszintű összes teljesítményigénnyel. Ha a két érték nem egyezik meg, akkor nem tartható az együttműködő villamosenergia-rendszer hálózati frekvenciája megadott tûrstartományon belül. Biztosítani kell továbbá azt is, hogy az esetleges forrásoldali hiány (például valamely villamosenergia-termelő egység véletlenszerű hirtelen meghibásodása miatt fellépő teljesítményvesztés) azonnal pótlásra kerüljön. Mert ez is a rendszerszintű teljesítményegyensúly megbomlását eredményezi, aminek az előbbieken ismertetett következményei vannak. De ennek az ellenkezője is okozhat problémát. A rendszerszintű igény csökkenését a rendszerbe történő teljesítménybetáplálás azonnali csökkentésével kell követni.

A hálózati frekvencia és a feszültség megfelelő értékének biztosítása a mindenkori rendszerszabályozás és tartaléktartás feladata. Ehhez megfelelő műszaki tulajdonságokkal rendelkező villamosenergia-termelő egységekre van szükség. Olyanokra, amelyekkel ezeket a rendszerszintű feladatokat a rendszerirányító megfelelő biztonsággal végre tudja hajtani. E feladatok alapvetően a rendszerszintű frekvencia- és teljesítményszabályozás körébe sorolhatók, ezen belül is a primer és szekunder szabályozás és tartaléktartás, valamint a terciér tartaléktartás témakörébe. A liberalizált villamosenergia-rendszerben a kiegyenlítő villamos energia elszámolása is feladat. A rendszer mindenkori teljesítményegyensúlyát azonban nemcsak a forrásoldal, hanem a fogyasztói oldal dinamikája is befolyásolja. Ezt nevezik a rendszer önszabályozásának.

A rendszerirányítás jellegéből következik, hogy milyen típusú, milyen műszaki tulajdonságokkal rendelkező erőműegységekre van szüksége a rendszerirányítónak e feladatok végrehajtásához. Természetesen nem mindegyik rendszerbeli villamosenergia-termelő egység, forrás kell, hogy rendelkezzen ilyen tulajdonságokkal. Ezek arányát a mindenkori rendszerterhelés jellemzői és az igényalakulás változásának dinamikája határozza meg.

## **6.9.2. Az energiatermelő egységek rendszerirányító számára lényeges tulajdonságai**

Figyelembe véve a rendszerszintű szabályozás és tartaléktartás szempontjait a rendszerirányító számára az egyes erőművek alábbi műszaki jellemzői, meghatározottsági lényegesek. Az áttekinthetőség érdekében először csak felsoroljuk e szempontokat.

- 1.) Részvétel a rendszerirányítási feladatok ellátásában;
- 2.) Villamosenergia-termelés ütemezhetősége;
- 3.) Terhelésváltoztatási képesség, felterhelési és visszaterhelési sebesség;
- 4.) Minimumterhelés;

- 5.) Indítási időtartam;
- 6.) Újraindítási időköz;
- 7.) Részvétel a primer szabályozásban és primer tartaléktartásban;
- 8.) Részvétel a szekunder szabályozásban és tartaléktartásban;
- 9.) Részvétel a tercier tartaléktartásban;
- 10.) Kiszabályozási teljesítményszükséglet;
- 11.) Rendszerszintű tartaléktartási szükséglet;
- 12.) Szerepvállalás a meddőgazdálkodásban.

Egy kicsit részletesebben kifejtve a fenti szempontokat a következőkről van szó.

### ***1.) Részvétel a rendszerirányítási feladatok ellátásában***

Alapkérdés az, hogy az adott erőműegység részt vesz-e a rendszerirányítási feladatok megoldásában, azaz a rendszerirányító számolhat-e vele ebből a szempontból. Nem szorul magyarázatra, hogy ez egyrészt technológiai, műszaki kérdés, másrészt megállapodás (az erőműegység tulajdonosa és a rendszerirányító között) kérdése. Az első feltétel szükséges de nem elégséges feltétel, hiszen nem minden (műszaki szempontból egyébként arra alkalmas) erőműegység vesz részt a rendszerszintű szabályozási feladatok megoldásában.

### ***2.) Villamosenergia-termelés ütemezhetősége***

A kérdés itt az a rendszerirányító számára, hogy ütemezhető-e az erőműegység termelése időben és intenzitásban. Az első követelmény azt jelenti, hogy az egység rendszerbe léptetése, illetve kiléptetése lokális kötöttségek által meghatározott-e, vagy alárendelhető-e a rendszerszintű teljesítmény-egyensúly biztosítása diktálta érdekeknek. Az intenzitásbeli ütemezés azt jelenti, hogy a hálózatra csatlakoztatott erőműegység milyen teljesítményen üzemel, s az változtatható-e a rendszerérdekeknek megfelelően. Vannak olyan villamosenergia-termelési technológiák, ahol maga a termelési technológia nem teszi lehetővé az e követelményeknek való megfelelést. Klasszikus példa erre a gőzerőművi ellennyomásos villamosenergia-termelés, vagy a szélenergia-termelés stb. A rendszerirányító szempontjából az időbeli és intenzitásbeli ütemezhetetlenségnek persze lehetnek nem műszaki okai is. Ez a helyzet például a villamos energia kötelező átvétele esetében stb.

### ***3) Terhelésváltoztatási képesség, felterhelési és visszaterhelési sebesség***

Fontos műszaki szempont a rendszerirányítás számára az adott erőműegység terhelésváltoztatási képessége, pontosabban terhelésváltoztatási sebessége, mindkét irányban. Ezt általában a teljes teljesítőképesség időegységre vonatkoztatott százalékos arányában adják meg.

### ***4.) Minimumterhelés***

Lényeges az, hogy a teljesítményváltoztatási képesség milyen tartományban adott. Itt is elsősorban a minimumértéknek van jelentősége, vagyis annak, hogy milyen legkisebb teljesítményen tartható üzemben az adott villamosenergia-termelő egység.

### **5.) Indítási időtartam**

Indítási időtartam alatt az értendő, hogy az adott erőműegység hideg állapotból mennyi idő alatt terhelhető fel maximális teljesítményre.

### **6.) Újraindítási időköz**

A teljes leállás után az újraindításig szükséges legrövidebb időtartam.

### **7.) Részvétel a rendszer primer szabályozásában és tartaléktartásban.**

A forgótartalék tartásban való részvétel is e kérdéskörhöz tartozik.

### **8.) Részvétel szekunder szabályozásban és tartaléktartásában.**

### **9.) Részvétel tercier tartaléktartásban.**

### **10.) Kiszabályozási teljesítményszükséglet**

Lényeges kérdés, hogy az adott villamosenergia-termelő a rendszeregész számára okoz-e többlet szabályozási feladatot, mint amit példának okáért egy szélerőművi egység okoz.

### **11.) Rendszerszintű tartaléktartási szükséglet**

A 10. pontbeli kérdés másik oldala a tartaléktartásra vonatkozik. Kérdés, hogy milyen rendszerszintű tartaléktartási feladatot jelent az adott energiatermelő egység az egész rendszer számára. Ebben az esetben – elviekben – különbséget kell tenni az adott villamosenergia-termelő egység véletlenszerű meghibásodás miatt szükséges tartaléktartás és az adott termelőegység villamosenergia-termelésének ütemezhetetlensége miatt tartéktartási szükséglet között. A villamosenergia-termelő egységek előbbi meghatározottsága jellemezhető az ún. kényszerkiesési aránnyal (forced outage), míg az utóbbira egyelőre nincs mutatószám.

### **12.) Részvétel meddőgazdálkodásban**

Adott erőműegység meddőgazdálkodás szempontjából való tulajdonságai.

## **6.10. Járulékos, külső (externális) költségek**

### **6.10.1. A járulékos, külső (externális) költségek fogalma**

Externális költségeknek, vagy más néven járulékos, külső költségeknek azokat a költségeket nevezik a villamosenergia-ellátás, illetve az egyes villamosenergia-termelési technológiák vonatkozásában, amelyek az emberek egészség-károsodásával, a természetben, a gazdasági tevékenység természeti feltételeinek romlásában, társadalom anyagi javaiban, életkörülményeiben, szociális viszonyaiban jelentkező károkkal, többlet rá-

fordításokkal, többlet költségekkel összefüggésbe hozhatók, s amelyek a villamosenergia-ellátás technológiájának következtében keletkeztek, merültek fel. Tisztán gazdasági megközelítésben és a fogalom terjedelmének erős leszűkítésével az mondható, hogy a villamosenergia-ellátás externális költségei alatt azok a költségek értendők, amelyek a mindenkor piaci árakban nem ismertethetők el.

Jóllehet a külső költségek léte mindenki számára világos, a fogalom tehát minőségileg lényegében meghatározott, a költségek számszerűsítése, konkrét meghatározása nagyon nehéz. Bonyolult ugyanis megfelelően számba venni a különböző területen jelentkező költségeket. Ennek alapvető oka az, hogy nincs egységes módszer, eljárás a külső költségek számbavételére, s nincs valójában abban sem egyetértés, hogy mely költségek sorolhatók a villamosenergia-ellátás külső költségei közé. Egyes vélemények szűkebb körét határozzák meg az ide sorolható költségeknek, mások a költségeknek lényegesen tágabb körét hozzák összefüggésbe a villamosenergia-ellátással.

A költségek számbavétele más okokból is nagyon nehéz. Számos esetben egyértelmű, hogy az adott költség a villamosenergia-ellátás külső költségei közé sorolható, ugyanakkor nem állnak rendelkezésre adatok a költségek számbavételére. Más esetben elvi problémaként merül fel, hogy egyes károkat illetve veszteségeket hogyan lehet számszerűsíteni. A tájrombolás, a zavaró zaj „kára” nagyon nehezen adható meg, s bizonyosan bármilyen számszerűsítés erősen szubjektív, esetleges.

### **6.10.2. Az externális költségek meghatározására irányuló erőfeszítések**

A villamosenergia-ellátás externális költségeinek meghatározására jelentős erőfeszítések vannak. Az egyes számítások eredményeinek „szórása” azonban igen jelentős, amit az előző pontban ismertetett nehézségek, az egyes országok eltérő árstruktúrája, a számítási módszerek különbözősége indokol alapvetően.

A villamosenergia-termelés környezetterhelésével összefüggésbe hozható externális költségekre példa a környezetszennyezéssel összefüggésbe hozható megbetegedések, munkaképesség-csökkenés, halálozás miatt fellépő költségek. Ezen a példán azonban jól érzékelthetőek az externális költségek meghatározásával kapcsolatos problémák majd mindegyike. Mindenekelőtt elsősorú elvi és gyakorlati problémaként jelentkezik, hogy milyen egészségkárosodások sorolandók azon egészségkárosodások körébe, amelyek egyértelműen a villamosenergia-termelés okozta környezetszennyezésből, károsanyag-kibocsátásból származnak. Más jellegű, azonban nem kevésbé problematikus kérdés, annak megítélése, hogy az adott konkrét megbetegedés, munkaképesség milyen mértékben hozható összefüggésbe a villamosenergia-szektor környezetszennyezésével. Az előzőekben (a 6.8. fejezet) már utaltunk rá, hogy ilyen esetekben szinte mindig a szervezetet ért hosszan tartó káros hatás következményeiről van, amikor a hatás évekkel később jelentkezik, adott esetben más szövődeményekkel, kórképpel együtt. A munkaképesség-csökkenés esetében elvileg adott a károsodás számszerűsítése (pl. a YOLL, vagy a YERC módszerrel, lásd 6.8. fejezet). Szélső esetben, például az egészségkárosodást szenvedett beteg elhalálozásakor már elvi problémaként vetődik fel az elveszett emberi élet értékének meghatározása, számszerűsítése. Erre is vannak természetesen eljárások (lásd ugyancsak a 6.8. fejezetet).

Még nehezebb problémát jelent sok esetben az anyagi javakban bekövetkező károk értékének számszerűsítése. Első közelítésben nyilvánvaló, magától értetődő megoldásként adódik az ilyen módon fellépett károk számszerűsítésre az a módszer, amely a károk nagyságát a helyreállítás költségeivel azonosítja. Problematisabb a helyzet olyan esetben, például műemlékek károsodása esetén, amikor helyrehozhatatlan károsodásról, pusztulásról van szó. A közvélemény és a szakmai közvélemény is szoros összefüggést feltételez a savas esők és az erdők pusztulása, károsodása között. Ugyanakkor nagyon nehéz becsülni a kárt, amely adott esetben sok ezer kilométerrel távolabb levő szennyezőforrások károsanyag-kibocsátásával hozható összefüggésbe. Ebben az esetben arról van szó, hogy a kár más országban jelentkezik (például a villamos energiát alapvetően vízerőművekben termelő Norvégiában). Kérdésként vetődik fel, hol kell ezeket a károkat figyelembe venni, s milyen áron kell számolni a károkat?

### **6.10.3. Az externális költségek internalizálására irányuló erőfeszítések**

A villamosenergia-ellátás területén már jó néhány negatív hatás, következmény, kár társadalmi „terheit”, költségeit számszerűsítették, s e számszerűsített károkat különféle bírságok, adók, díjak formájában ismertetik el. Magától értetődik, hogy a tulajdonképpen externális költségek elismertetéséről van szó akkor is, amikor bizonyos munkahelyeken, munkakörökben a munkavállalók valószínűsíthető egészségkárosodását magasabb munkabérral, javadalmazással biztosítják, vagy bizonyos károkozásért kártérítést fizetnek. A különböző környezetvédelmi mozgalmak folyamatosan arra törekednek, hogy minél több összetevőjét építsék be az externális költségeknek a villamosenergia-árakba. A villamosenergia-termelés külső költségeinek minden mértéken túli elismertetése azonban tulajdonképpen sem a forrásoldalnak, sem a fogyasztói oldalnak végső soron nem érdeke. A villamos energia mindenkori ára, az igénybevett szolgáltatás költsége ugyanis a lakosság egészét érinti, méghozzá elég jelentős mértékben, s még fontosabb a villamos energia árának hatása az adott ország gazdaságának versenyképessége szempontjából. Természetesen a gazdaság egyes területei különböző mértékben villamosenergia-igényesek, ebből következően a villamosenergia-árak különböző mértékben vannak jelen az adott gazdasági terület költségeiben. Szemléletes példa erre az üvegházhatás csökkentését célzó széndioxid kibocsátás korlátozására irányuló erőfeszítések nemzetközi megítélése, az egyes országok e kérdésben elfoglalt álláspontja. Nyilvánvaló, hogy a szén-dioxid kibocsátás erőteljes csökkentése nagyarányú költségáfordítást igényel az azt vállaló országtól, ami erőteljesen befolyásolja az adott ország iparának, gazdaságának versenyképességét.

Lényegében a külső költségekkel (más néven externális költségekkel) hozható összefüggésbe a kibocsátási kvóták kereskedelme is. Az üvegházhatás globális hatás, ebből következően lényegileg nincs gyakorlati jelentősége annak, hogy a kibocsátás-csökkentés hol valósul meg. Ez alapozza meg a kibocsátási jog (szennyezési jog) kereskedelmét. Ennek az intézménynek a lényegét az adja, hogy a károsanyag-kibocsátás különböző helyeken, különböző technológiák esetében igen eltérő fajlagos költségekkel valósítható meg. Vannak olyan helyek, ahol az eredmény-ráfordítás görbének olyan szakaszán van az adott létesítmény, hogy viszonylag kisebb ráfordítással is jelentős ered-

mény, azaz fajlagos és abszolút károsanyag-kibocsátás csökkenés érhető el. Más helyeken a görbe lapos ága a jellemző, ami azt jelenti, hogy a jelentős fajlagos ráfordítással is csak nagyon szerény eredmény érhető el.

#### **6.10.4. A környezetvédelmi költségek és a környezeti kár fogalma**

Az externális költségek vizsgálatakor központi jelentőségű kérdés a környezeti kár és a gazdasági kár közötti elvi különbségtétel. A gazdasági tevékenység során a társadalom szintjén beavatkozik a természeti folyamatokba, és sok esetben visszafordíthatatlan változásokat idéz elő. Az energiaipar, ezen belül a villamosenergia-ipar klasszikus, s máig is érvényes példaként említhető ebben a vonatkozásban. A gazdasági tevékenység negatív környezeti hatásait a szakirodalom a természeti környezet elsődleges károsodásának nevezi. E megközelítésből következően az elsődleges környezeti kár fogalma igen széles körben értelmezett. Ide sorolhatók mindazok a jelenségek, folyamatok, változások, amelyek a természeti környezet állapotában, egyensúlyi helyzetében a korábbi, beavatkozástól mentes állapothoz képest bekövetkeztek. Ezek a változások lehetnek időlegesek és lehetnek véglegesek, visszafordíthatatlanok is. Az elsődleges környezeti kár fogalmának lényeges jellemzője, hogy az, független attól, hogy az adott természeti érték pusztulása, károsodása közgazdasági értelemben kárnak minősül-e vagy sem, azaz, hogy az adott természeti érték megtestesít-e közgazdasági értelemben gazdasági értéket, vagy sem. Az elsődleges környezeti kár fogalma e felfogásból következően a természet károsodását fejezi ki, függetlenül attól, hogy a természeti környezet adott változásának van-e közvetlen gazdasági következménye, vagy adott esetben nincs gazdasági kihatása.

Az externális költségek vizsgálatakor, meghatározásakor azonban a vizsgálat tárgya nem az elsődleges környezeti kár, hanem az annak részeként értelmezett, azzal párhuzamosan megjelenő másodlagos gazdasági kár. Közgazdasági értelemben általánosságban azokat a környezeti károkat tekintik gazdasági kárnak, amelyek közvetlenül, vagy közvetetten gazdasági értékcsökkenést idéznek elő, illetve a gazdasági tevékenység hasznának elmaradását eredményezik. Gazdasági, egészen pontosan makrogazdasági értelemben kizárólagosan a többlet ráfordítás és az értékvesztés tekinthető kárnak a termelés adott rendszerén belül. Szükséges ugyanis a költség és a kár fogalmának pontos szétválasztása, a két fogalom egymástól való elhatárolása. A későbbiekben pontosítjuk a költség és a gazdasági kár fogalmát, valamint azt, hogy mi értendő „többlet ráfordítás” alatt. Ennek a lényegi meghatározottságnak ugyanis kiemelt jelentősége van az externális költségek értelmezése szempontjából.

Az externális költségekre a természeti erőforrások nagymértékű szennyezése, kimerítése hívta fel a figyelmet. A probléma akkor vált aktuálissá, amikor különböző szennyezőforrások által okozott környezeti kár más termelő(k)nél, a lakosságnál, azaz más tevékenységi területen többletköltséget, értékvesztést okozott. A jelenség lényege abban áll, hogy a szennyezést okozó termelőtevékenység költségeinek meghatározásakor nem vették figyelembe a más termelőegységeknél a szennyezés következményeinek elhárítására felmerült költségeket, vagy a szennyezés következtében előállott értékvesztést.

A környezetszennyezés egyre globálisabbá válásával nyilvánvalóvá vált, hogy a termelésnek az egyedi termelő költségein túlmenően vannak még költségei, amelyet a tár-



sadalom (más termelő(k), lakosság, stb.) kénytelen viselni. A környezetszennyezés következtében felmerülő, nem a közvetlen okozó(k) által viselt költségek számos esetben az egészségügy területén jelentkeznek, mint a környezetszennyezés miatti egészségkárosodás kezelésének költsége, vagy az épületek környezetszennyezés miatti állagromlásából következő költségek, veszteségek (a pótlás, helyreállítás költségei). A közgazdasági irodalom általánosságban az ilyen jellegű költségeknek a „társadalmi költség”, illetve a külső (externális) költség nevet adta. Az adott termék, például a villamos energia összes költsége ebben az esetben nem azonos az egyedi termelőnél (pl. az adott erőművet üzemeltető gazdasági vállalkozásnál) — mikroszinten felmerülő költségekkel. A teljes költséget ebben az esetben a

összefüggés definiálja. Az összefüggésben:

$c_T$  a villamos energia teljes, externális költségeket is magában foglaló fajlagos költsége [Ft/kWh];

$c$  a villamos energia fajlagos összes költsége [Ft/kWh];

$c_E$  a villamos energia externális költsége [Ft/kWh].

A villamos energia fajlagos externális költségét a szakirodalom általában a fajlagos

$$c_E = \phi c$$

$$\phi = \frac{c_E}{c}$$

összes költségre vonatkoztatva adja meg:

Itt

$\phi$  a villamos energia fajlagos externális költségének és fajlagos összes költségének az aránya [-].

Lényeges kihangsúlyozni azt az alapvető jellemzőjét a társadalmi költségeknek, más néven externális költségeknek, hogy jogi értelemben e költségek keletkezési, okozati helye általában elkülönül a kár jelentkezési helyétől.

## **6.11. Az egyes villamosenergia-termelési technológiák jellemző fajlagos terület-felhasználása**

### **6.11.1. A terület-felhasználás tendenciájában bekövetkezett változások**

Az egyes villamosenergia-termelési technológiák fontos jellemzője a fajlagos terület-felhasználás, területigény. E jellemzőnek mindazonáltal nem tulajdonítottak a legutóbbi időkig komolyabb jelentőséget. Ennek több oka volt. Természetes, hogy egy adott



ipari technológia meghatározott területigénnyel bír. A terület, a föld, mint gazdasági erőforrás értéke az adott terület árában „testesült meg”, abban az anyagi ráfordításban, amelyet az adott terület megszerzésért az adott gazdasági vállalkozásnak áldoznia kellett. Nyilvánvalóan az adott terület, mint gazdasági erőforrás különféle célokra hasznosítható, ezáltal értéke akkor sem „tűnik el”, ha éppenséggel a rajta telepített villamosenergia-termelési technológia felszámolásra, lebontásra kerül. Ez indokolja, ez magyarázza, hogy a földterület értéke nem számolható el az állandó költségekben, ebben az értelemben tehát nem amortizálható. A földterület értéke nem „megy át” a termékbe a termelési folyamat során, ellentétben más termelési tényezőkkel.

Az elmúlt évszázad utolsó évtizedéig a villamosenergia-termelési technológiákra az volt a jellemző, hogy azok koncentrált termelést valósítottak meg, s a termelés koncentráltága tendenciáját tekintve állandóan nőtt. Egyre nagyobb egységteljesítményű, egyre jobb hatásfokú erőművek épültek. Ez a tendencia a múlt század utolsó évtizedében jelentősen módosult. Megjelentek olyan villamosenergia-termelési technológiák (szélerőművi villamosenergia-termelés, napenergia hasznosítása villamosenergia-termelési célokra, geotermikus erőművek, kis egységteljesítményű villamosenergia-termelő berendezések a decentralizált energiatermelés keretében), amelyekben az energiatermelés koncentráltága lényegesen kisebb volt, mint az ún. konvencionális villamosenergia-termelési technológiák esetében, azaz a szénerőművi, az olaj, a földgáz tüzelőbázisú villamosenergia-termelés, a vízerőművi és atomerőművi villamosenergia-termelés esetében. Ezen új technológiák fajlagos területigénye összehasonlíthatatlanul nagyobb, mint az előbbieken említett konvencionális technológiáké. Ez minőségileg új helyzetet teremtett. Ez az egyik lényeges változás, ami területfelhasználással kapcsolatos kérdéseket a figyelem középpontjába irányította.

A másik alapvető különbség, változás a korábbi időszakokhoz képest, hogy a konvencionális villamosenergia-termelési technológiák abszolút többsége ún. „ipari terület”-nek minősített területen létesült. Az új technológiák sokkal inkább az érintetlen természetbe települtek. A helyválasztást itt sokkal inkább a megújuló energiaforrások optimális hasznosítási lehetősége határozza meg. Decentralizált energiatermelés esetében pedig az energiatermelés a nem ipari területekről a magasabb értékű területekre tolódott el (lakóterületekre, stb.). E két fontos változás eredményeképpen ezen technológiák „értékesebb” területeket foglalnak el. Természetesen a tengeri telepítésű szélerőtelepekre az itt elmondottak nem igazak, itt most a tendenciáról általánosságban beszéltünk.

Végül a harmadik alapvető különbség, hogy a fejlett társadalmakban, a fejlődés posztindusztriális szakaszában levő társadalmakban a terület, mint erőforrás értéke rendkívüli mértékben felértékelődött, éppen a fenntartható fejlődés állította követelmények miatt.

Mindezen tényezők együttesen teszik szükségessé azt, hogy az egyes villamosenergia-termelési technológiák esetében kiemelt jelentőséget tulajdonítsunk a fajlagos területfelhasználásnak.

## **6.11.2. A fajlagos területfelhasználás értelmezése**

Jelen vizsgálatban, első lépésben, a különböző villamosenergia-termelési technológiák fajlagos területfelhasználását hasonlítjuk össze. A területfelhasználást az adott technológiájú erőmű, energiatermelő egység meghatározó műszaki jellemzőjére, nevezetesen a

beépített villamos teljesítőképességére vetítjük. A megadott értékek szigorúan a technológia területfelhasználását jellemzik, figyelmen kívül hagyva a primerenergia-hordozó kitermelésének, felhasználásra, átalakításra való előkészítésének, valamint az energiaátalakítási folyamatban keletkezett hulladékok (például erőművi zagy, stb.) tárolásának helyszükségletét. Lényeges továbbá annak hangsúlyozása, hogy a megadott értékek figyelmen kívül hagyják az adott technológiára jellemző éves kihasználási óraszámot. Ez egyes technológiák esetében jelentősen módosíthatja az adott technológia fajlagos területfelhasználásáról kialakult képet. Példának okáért, a jellemző éves csúcskihasználási óraszám a szélerőművi villamosenergia-termelés esetében  $h_{cs}=1200-3000$  óra/év tartományban van, míg az atomerőművi villamosenergia-termelés esetében  $h_{cs}=6200-7700$  óra/év. Ez azt jelenti, hogy megtermelt villamos energiára vetítve ( $[m^2/MWh]$ ) a szélerőművi villamosenergia-termelés fajlagos területfelhasználását átlagosan 2,5-6,5-es szorzófaktorral kell növelni.

### **6.11.3. *Az erőművi fajlagos területigény és a teljes technológiai láncra vonatkoztatott fajlagos területigény***

Különbséget kell tenni az adott villamosenergia-termelési technológia fajlagos területigénye és a teljes technológiai láncra vetített fajlagos területigény között. Nem szorul külön magyarázatra, hogy más egy lignit tüzelőbázisú erőmű beépített villamos teljesítőképességre vetített fajlagos területigénye, ha csak az erőművi technológiát tekintjük, s más a lignitbázisú villamosenergia-termelés fajlagos területfelhasználása, ha azt a teljes technológiai láncra vetítjük, magyarul, ha a bánya területfoglalását is figyelembe vesszük, és azt az erőmű területigényével együtt vonatkoztatjuk a beépített villamos teljesítőképességre.

## **6.12. *Társadalmi elfogadottság***

### **6.12.1. *A villamosenergia-szektor helye és szerepe a modern társadalmakban***

Az emberi eszközhasználat lényegi jellemzője, hogy az közvetve vagy közvetlenül energiafelhasználással jár. Nincs olyan anyagi tárgyi tevékenység, amely valamilyen módon ne kapcsolódna az energiaellátáshoz. Ez magyarázza, hogy a modern társadalmak léte elképzelhetetlen jól szervezett energiaellátás, energiaszolgáltatás nélkül. Az energiaellátás a gazdasági szféra működésének alapvető, legfontosabb feltétele. A társadalmak anyagi termelőeszközeinek fejlettsége szorosan összefüggött és összefügg az energiafelhasználás mértékével, az energiaellátás fejlettségével. A társadalmi fejlődésnek mindig meghatározó tényezője volt az energiaellátás rendszere, módja. Az energiaellátás, az energiafelhasználás döntően befolyásolja a termelőtevékenységet, a mindennapi életvitelt. Az energetika, az energiaellátással összefüggő kérdések mindezekből következően meghatározó módon befolyásolják a társadalmi közérzetet, hangulatot, a mindenkori közvélemény alakulását.

Az energiaszektoron belül a villamosenergia-ellátás abban az értelemben bír kitüntetett szereppel, hogy a villamos energia univerzálisan hasznosítható energiahordozó, amely a modern társadalmakban mindenütt jelen van, nincs a modern társadalmaknak olyan tagja, aki az energiaszolgáltatás e fajtáját ne venné igénybe. Nem véletlen, hogy a villamosenergia-ellátással, szolgáltatással kapcsolatos kérdéseket majd minden országban külön törvény szabályozza.

Éppen abból következően, hogy a villamosenergia-ellátás, a villamosenergia-szolgáltatás ilyen mélyen és sokoldalúan társadalomba ágyazott, nem lehet figyelmen kívül hagyni azokat a hatásokat, amelyek e szektor a társadalomra, a társadalmi tudatra, a közvélemény alakulására gyakorol. Természetesen a hatás, mint a hatások általában, nem egyirányú. A mindenkori társadalom is meghatározó módon befolyásolja a villamosenergia-szektor egészének működését, fejlődését, megteremtve és előírva a működésének peremfeltételeit. Ez a hatás nemcsak a szektor tulajdoni, szervezeti viszonyait, működésnek jogi, gazdasági feltételrendszerét érinti, hanem számos esetben magát a technikai szférát is.

A társadalmi elfogadtatás kérdése középponti jelentőségű az egyes villamosenergia-termelési technológiák esetében. A társadalmi hatások és visszahatások köre természetesen ennél sokkal szélesebb, ebbe beletartoznak az árakkal, a mindenkori áralakulással és áralakítással összefüggő kérdések éppen úgy, mint a fogyasztói érdekvédelem és érdekérvényesítés valamint a villamosenergia-ellátással kapcsolatos jogi szabályozás kérdései. Ezek a vetületei a társadalmi hatásoknak és visszahatásoknak azonban nem képezik vizsgálatunk tárgyát, ami szigorúan a villamosenergia-termelési technológiákra koncentrálódik.

## **6.12.2. *A társadalmi elfogadtatás kérdése a villamosenergia-ellátással kapcsolatos műszaki létesítmények esetében***

A társadalmi közérzet, közvélemény alapvetően semleges, vagy számos esetben ellenséges a villamosenergia-szektorral, mint egészszel, illetve a villamosenergia-ellátásban szerepet játszó gazdasági vállalkozásokkal szemben, a villamosenergia-ellátással kapcsolatos új létesítményekkel, műszaki objektumokkal kapcsolatban pedig alapvetően bizalmatlan, elutasító. Világosan kell látni, hogy ez az alaphangulat döntően az utóbbi idők „terméke”, s ennek kialakulásában döntő szerepet játszottak olyan folyamatok, események, amelyek nem a szektorhoz kapcsolhatók. A fentiekben említett helyzet kialakulásában három tényező játszott — egymást erősítve — meghatározó szerepet.

A közvélemény, a társadalmi nyilvánosság társadalmon, helyi közösségeken belüli szerepének erősödésével párhuzamosan értelemszerűen a korábbinál sokkal nagyobb szerepet, jelentőséget és véleménynyilvánítási teret kaptak a kritikai vélemények. A demokrácia erősödésével, a különböző társadalmi csoportok, helyi közösségek stb. nagyobb érdekérvényesítési lehetőségével párhuzamosan megerősödtek azok a vélemények, álláspontok, amelyek a villamosenergia-szektorral kapcsolatban fogalmaztak meg kritikai észrevételeket. Számos szervezet, polgári szerveződés próbálta meg érdekeit ki nyilvánítani, érvényesíteni a villamosenergia-szektor valamely gazdasági szereplőjével szemben. Nyilvánvaló, hogy a társadalmi közvélemény a médián keresztül szinte kivétel nélkül mindig az érdekütközésekről, az érdekérvényesítési konfliktusokról értesült,

s ennek következtében alakult ki az a többé-kevésbé általános meggyőződés, érzet, hogy a társadalom többsége alapvetően szemben áll a villamosenergia-szektorban működő gazdasági vállalkozásokkal, leegyszerűsítve a dolgokat, magával az egész szektorral. Érthető módon ennek az alaphangulatnak a kialakulásban komoly szerepe volt a villamosenergia-ellátásban szerepet játszó gazdasági vállalkozások nagy gazdasági túlerejének, erős érdekérvényesítő képességének, számos esetben azok fogyasztókkal szembeni nem kellően átgondolt megnyilvánulásainak. Azokban az országokban, amelyekben a villamosenergia-szektor magánosítása az utóbbi időben ment végbe, a szektorral szembeni negatív viszonyulás kialakulásában nem elhanyagolható szerepet játszottak éppen e magánosítással kapcsolatos visszaélések, botránnyok is.

A másik alapvető tényező, amely meghatározza a társadalom viszonyulását az energetikához és ezen belül a villamosenergia-szektor egészéhez az az, hogy az energiaszolgáltatások árai mindig, de különösen a jelenben kitértetett fontossággal bírnak az összes fogyasztói árakon belül. Ezt egyrészt az magyarázza, hogy energiaárak, az energiaszolgáltatások árai szinte minden termékben, szolgáltatásban közvetve, vagy közvetlenül jelen vannak, az esetek többségében nem is elhanyagolható mértékben. Másrészt az energiaszolgáltatások az emberek mindennapi tevékenységének integráns részét érintik (ezek hatása alól gyakorlatilag nem tudják magukat semmilyen módon kivonni), szemben más fogyasztási cikkekkel, amelyek használata, alkalmazása kevésbé univerzális. A társadalmi köztudatban ennek megfelelően kialakult az a meggyőződés, érzés, hogy az energiaárak (s ezen belül értelemszerűen a villamosenergia-árak) alakulásának a társadalom sokkal jobban ki van szolgáltatva, mint bármilyen más áralakulásnak, másrészt ennek az áralakulásnak a befolyásolására igen szerény eszközei vannak.

A harmadik meghatározó tényező az egyes villamosenergia-termelési technológiák okozta súlyos környezetterheléssel, környezetszennyezéssel függ össze. A környezetszennyezés problémája a társadalom egésze számára nyilvánvalóvá vált, s negatív hatásairól szinte mindenki személyesen meggyőződhetett, tapasztalatot szerezhetett. A média nyilvánvalóan ezen problémával kapcsolatban is szinte kizárólag a negatív hatásokat, következményeket közvetítette a társadalmi közvélemény felé, így érthető, hogy a villamosenergia-termelés is, mint a környezet legfőbb ellenségeinek egyike tudatosult a társadalmi közvéleményben. A társadalomban kialakult ellenérzés alapja egyrészt természetesen valós veszélyesség, a tényleges környezetszennyezés, balesetveszély, egészségkárosodás, zavaró hatás, gazdasági kár, de ezen „érzések”, beállítódások kialakulásában a vélt veszélyekre és veszélyességre épülő közhangulat is szerepet kap.

E három tényező együttesen játszik döntő szerepet a villamosenergia-szektorral szembeni negatív társadalmi megítélés, közhangulat kialakulásában. E társadalmi ellenérzés, megítélés, közhangulat nem hagyható figyelmen kívül az állami energiapolitika, a villamosenergia-rendszerek rendszerszintű tervezésekor, mindenekelőtt a villamosenergia-rendszerek bővítésének tervezésekor. A társadalmi közhangulat, ellenérzés, az erre épülő politikai érdekérvényesítés, nemcsak a villamosenergia-rendszerek bővítésekor, új villamosenergia-ipari létesítmények, villamosművek, berendezések létesítését, üzembe helyezését akadályozhatja meg, hanem működő létesítmények üzemét, rendeltetésszerű használatát is korlátozhatja, ellehetetlenítheti. Az adott villamosenergia-ipari műszaki létesítménnyel, villamosművel, berendezéssel kapcsolatos vélemények általában nem objektív szakmai ismereteken, elemzéseken, vizsgálati eredményeken alapulnak, hanem az esetek jellemző többségében szubjektív érzéseken, szubjektív

véleménynyilvánításokon, hangulatokon. Magától értetődően ezeknek a vélemények, ellenérzések nem hagyhatók figyelmen kívül, még akkor sem, ha sokszor meg nem alapozott, elfogult szubjektív véleményekről, állásfoglalásokról van szó. Az is nyilvánvaló, hogy ezek a problémák, az ilyen jellegű konfrontációk nem oldhatók meg adminisztratív vagy éppenséggel jogi eszközökkel. Az egyetlen lehetséges eszköz a meggyőzés, ami feltételezi, szükségessé teszi, az adott kérdésben a nyílt és őszinte, tárgyyszerű tájékoztatást, véleménycserét. Ennek keretében, eszközeivel kell meggyőzni a helyi, vagy éppenséggel szélesebb körű közvéleményt az adott villamosenergia-ipari létesítmény tényleges környezeti, egészségkárosító, esetleg gazdasági, vagy egyéb más zavaró hatásairól. A környezetvédelmi hatástanulmányok, a lehetséges egészségkárosító és anyagi károkat okozó hatások felmérése mind ezt a célt szolgálja.

A társadalmi közvélemény, hangulat alakulását magától értetődően mindig befolyásolják a mindenkori érdekviszonyok, egyes csoportok, rétegek többé-kevésbé erős nyomásgyakorlása. A fejlett demokráciákban adott kérdésben a vélemények és az ellenvélemények kifejtésének, a vélemények ütköztetésének számos módját alakították ki. Példaképpen említhetők itt a különböző társadalmi vitafórumok, a közmeghallgatás, hatástanulmányok készítése és ezek megállapításainak közzététele, különféle szakmai konzultációk, parlamenti meghallgatás, stb. A társadalmi egyeztetés sok esetben nem hoz tényleges eredményt, sőt sokszor véget nem érő konfrontációkba torkollik. Mindazonáltal a társadalmi egyeztetés e folyamata nem vethető el pusztán azért, mert az esetek többségében valóban erősen befolyásolt hangulatilag, s nem támaszkodik térszerűsége, lehetetlenné téve ezáltal az adott kérdésben a ténylegesen tárgyyszerű döntést. Egyes vélemények szerint az eddigi tapasztalatok e téren egyértelműen negatívak. A feszültségek levezetésére azonban a többségi vélemény más megoldást nem lát, ugyanis a társadalmi viták, egyeztetések hiánya, elhagyása egyrészt a közhangulatot negatívan befolyásolná, másrészt gazdasági szempontból is problematikus lenne. Nem lehet figyelmen kívül hagyni, hogy a mindenkori közhangulat alakításában rendkívül nagy szerepe és felelőssége van a médiának. A sajtó, a rádió és a televízió egyaránt erősen képes a mindenkori közhangulat befolyására. Ebből következően maga a média is eszköze a konfrontációban részt vevő felek közötti érdekérvényesítési harcnak.

A villamosenergia-ellátásban részt vevő gazdasági vállalkozások természetesen törekednek a maguk partikuláris, mindenekelőtt gazdasági érdekeiknek az érvényesítésére. Ezeknek az érdekeknek az érvényre juttatása is szerepet játszik a társadalmi elfogadtatás folyamatában. Érdekérvényesítésük lehetőségét azonban korlátozza az a tény, hogy e gazdasági vállalkozások érdekei gyakran konfrontálódnak közösségi, települési stb. érdekekkel. Az energetika területén, így a villamosenergia-szektorban is a piaci szereplők, gazdasági vállalkozások működését az érvényes jogszabályok meglehetősen pontosan és mindenre kiterjedően szabályozzák, ez nagymértékben segíti a problémák megoldását.

## **6.13. A teljes szempontrendszer**

Az áttekinthetőség érdekében az alábbiakban összegezzük az egyes villamosenergia-termelési technológiák komplex összehasonlító értékelésekor figyelembe vett szempontokat (6.6. táblázat).

6.6. táblázat Villamosenergia-termelési technológiák komplex összehasonlításának szempontrendszere

Ssz.	Megnevezés
<b>1.</b>	<b><i>Energiaátalakítás alapvető jellege</i></b>
<b>2.</b>	<b><i>A technológia műszaki jellemzői</i></b>
2.1.	Fő műszaki jellemzők
2.1.	A technológiai fejlesztés jelenlegi szakasza
2.2.	Technológia bevezetettsége
<b>3.</b>	<b><i>Primerenergia-hordozó rendelkezésre állása</i></b>
3.1.	Globális készletek, regionális és hazai készletek
3.2.	Primerenergia-hordozó felhasználás alakulása globálisan és regionálisan és hazánkban
3.3.	A villamosenergia-termelési célú primerenergia-hordozó felhasználás alakulása globálisan és regionálisan
3.4.	Ellátottsági mutatók alakulása
3.5.	Stratégiai készletezhetőség
3.6.	Beszerezhetőség, szállítási lehetőségek
<b>4.</b>	<b><i>Potenciális termelési kapacitás</i></b>
4.1.	Műszaki korlátok
4.2.	Primerenergia-hordozó rendelkezésre állásával összefüggő korlátok
4.3.	Egyéb korlátok
<b>5.</b>	<b><i>Energetikai hatékonyság</i></b>
5.1.	Energiaátalakítási folyamat mennyiségi hatásfoka
5.2.	Villamosenergia-termelés bruttó (termelt villamos energiára vetített) hatásfoka
5.3.	Villamosenergia-termelés nettó (kiadott villamos energiára vetített) hatásfoka
5.4.	Villamosenergia-termelés teljes technológiai láncára vonatkoztatott eredő energetikai hatásfok
5.5.	Kapcsolt energiatermelés villamos részhatásfoka
5.6.	Kapcsolt energiatermelés termikus részhatásfoka
5.7.	Kapcsolt energiatermelés mennyiségi hatásfoka
5.8.	Primerenergia-hordozó energiaátalakításra való előkészítésének eredő energetikai hatásfoka
<b>6.</b>	<b><i>Gazdasági hatékonyság</i></b>
6.1.	Fajlagos beruházási költség

6.2.	Fajlagos állandó költség
6.3.	Fajlagos állandó költség
6.4.	Eredő termelési egységköltség
6.5.	Aktualizált egységköltség
6.6.	Primerenergia-hordozó fajlagos költsége
<b>7.</b>	<b><i>Környezetterhelés</i></b>
7.1.	Az energiaátalakítási technológia légszennyezése
7.1.1.	Fajlagos CO <sub>2</sub> kibocsátás
7.1.2.	Fajlagos CO kibocsátás
7.1.3.	Fajlagos SO <sub>2</sub> kibocsátás
7.1.4.	Fajlagos NO <sub>x</sub> kibocsátás
7.1.5.	Fajlagos szilárd lebegőanyag kibocsátás
7.1.6.	Ózonpajzs károsító vegyületek kibocsátása
7.1.7.	Metán emisszió
7.1.8.	Radonkibocsátás
7.1.9.	Vízgőzkibocsátás
7.2.	A villamosenergia-termelés teljes technológiai láncára vonatkozó légszennyezés
7.2.1.	Fajlagos CO <sub>2</sub> kibocsátás
7.2.2.	Fajlagos CO kibocsátás
7.2.3.	Fajlagos SO <sub>2</sub> kibocsátás
7.2.4.	Fajlagos NO <sub>x</sub> kibocsátás
7.2.5.	Fajlagos szilárd lebegőanyag kibocsátás
7.2.6.	Ózonpajzs károsító vegyületek kibocsátása
7.2.7.	Metán emisszió
7.2.8.	Radioaktív anyagok kibocsátása
7.2.9.	Vízgőzkibocsátás
7.3.	Erőművi hamu, salak
7.4.	Vízszennyezés
7.5.	Környezet hőszennyezése
7.6.	Talajszennyezés
7.7.	Környezet sugárterhelése
7.8.	Zajszennyezés
7.9.	Zavaró látvány
7.10.	Természeti erőforrások igénybevétele
7.10.1.	Fajlagos vasércfelhasználás
7.10.2.	Fajlagos rézércfelhasználás
7.10.3.	Fajlagos bauxitfelhasználás
7.11.	Egyéb környezetterhelés



<b>8.</b>	<b><i>A villamosenergia-termelési technológiák egészségkárosító és anyagi károsodást okozó hatása</i></b>
8.1.	Baleseti mutatók
8.2.	Katasztrófamutatók
8.3.	YOLL (elvesztett életidő)
8.4.	WDL (kiesett munkaidő)
8.5.	YERC (keresőképesség relatív csökkenése)
8.6.	QALY (csökkent minőségű életidő)
8.7.	MAU (sokparaméteres hasznosság)
8.8.	Légszennyezés miatti egészségkárosodás
8.9.	Szilárd szennyezőanyag kibocsátások miatti egészségkárosodás
8.10.	Radioaktív kibocsátások miatti egészségkárosodás
8.11.	Vízszennyezés miatti egészségkárosodás
8.12.	Savlerakódás és kémiai oxidánsok okozta anyagi károk
8.13.	Ökorendszerek károsodása
<b>9.</b>	<b><i>Villamosenergia-termelési technológiák összehasonlító jellemzése a rendszerirányítás szempontjából</i></b>
9.1.	Részvétel a rendszerirányítási feladatok ellátásában
9.2.	Villamosenergia-termelés ütemezhetősége
9.3.	Terhelésváltoztatási képesség, felterhelési és visszaterhelési sebesség
9.4.	Minimumterhelés
9.5.	Indítási időtartam
9.6.	Újraindítási időköz
9.7.	Részvétel a primer szabályozásban és primer tartaléktartásban
9.8.	Részvétel a szekunder szabályozásban és tartaléktartásban
9.9.	Részvétel a terciér tartaléktartásban
9.10.	Kiszabályozási teljesítményszükséglet
9.11.	Rendszerszintű tartaléktartási szükséglet
9.12.	Szerepvállalás a meddőgazdálkodásban
<b>10.</b>	<b><i>Externális költségek</i></b>
10.1.	Az energiaátalakítási folyamat externális költségei
10.2.	A teljes technológiai láncra vonatkoztatott externális költségek
<b>11.</b>	<b><i>Jellemző fajlagos területfelhasználás</i></b>
11.1.	Az erőműtechnológia jellemző fajlagos területfelhasználása
11.2.	A teljes technológiai láncra vonatkoztatott jellemző fajlagos területfelhasználás
<b>12.</b>	<b><i>Társadalmi elfogadottság</i></b>

Az alábbiakban célirányosan a villamosenergia-rendszerek rendszerszintű tervezésével és az egyes villamosenergia-termelési technológiák komplex összehasonlító vizsgálatával összefüggő, döntően magyar nyelvű forrásokat adtuk meg a teljesség igénye nélkül.

- [1] BÜKI, GERGELY: Erőművek. Budapest, Műegyetemi Kiadó, 2004
- [2] VAJDA, GYÖRGY: Energiapolitika. Budapest, Akadémiai Kiadó, 2001.
- [3] FAZEKAS ANDRÁS ISTVÁN: Villamosenergia-rendszerek rendszerszintű tervezése I. kötet. Akadémiai Kiadó, Budapest (megjelenés alatt).
- [4] BÜKI, GERGELY: Energetika. Budapest, Műegyetemi Kiadó, 1997.
- [5] STRAUSS, KARL: Kraftwerkstechnik zur Nutzung fossiler, regenerativer und nuklearer Energiequellen. 4. Auflage mit 226 Abbildungen und 53 Tabellen, Berlin etc., Springer Verlag, 1998.
- [6] MÜLLER, LEONHARD: Handbuch der Elektrizitätswirtschaft / Technische, wirtschaftliche und rechtliche Grundlagen. Berlin etc., Springer Verlag, 1998.
- [7] DR. FAZEKAS, ANDRÁS (I.): Szénelgázosítással összekapcsolt kombinált ciklusú villamosenergia-termelés / Környezetkímélő nagy hatásfokú szénerőművek. Környezetvédelmi Füzetek, 1994/24, Országos Műszaki Információs Központ és Könyvtár (OMIKK), Budapest, 1994
- [8] DR. FAZEKAS, ANDRÁS (I.): Fluidtüzeléses erőművi technológiák / Környezetkímélő nagy hatásfokú szénerőművek. Környezetvédelmi Füzetek, 1994/24, Országos Műszaki Információs Központ és Könyvtár (OMIKK), Budapest, 1994
- [9] DR. FAZEKAS, ANDRÁS (I.): Megnövelt kezdőjellemzőjű erőművek / Környezetkímélő nagy hatásfokú szénerőművek. Környezetvédelmi Füzetek, 1994/24, Országos Műszaki Információs Központ és Könyvtár (OMIKK), Budapest, 1994
- [10] DR. FAZEKAS, ANDRÁS (I.): A villamosenergia-termelés rendszerszintű optimalizálása (A műszaki-gazdasági modell legfontosabb összefüggései). Energiagazdálkodás, XXXII. évf., 1991/11, p.502-507.
- [11] DANY, GUNDOLF – HAUBRICH, HANS-JÜRGEN – LUTHER, MATHIAS – BERGER, FRANK – SENGBUSCH, KLAUS VON: Auswirkungen der zunehmenden Windenergieeinspeisung auf die Übertragungsnetzbetreiber. Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 2003., 53. Jg., Heft 8, p.562-566.
- [12] DR. FAZEKAS, ANDRÁS ISTVÁN: A villamosenergia-ellátással szemben támasztott követelményrendszer. Magyar Energetika, 2001. augusztus, IX. évf., 4. szám, p.29-34.
- [13] DR. FAZEKAS, ANDRÁS ISTVÁN: A kiserőművi villamosenergia-termelés a rendszerirányítás szempontjából. Magyar Kapcsolt Energia Társaság (MKET) Konferencia. Előadásanyag. 2004. március 02.-03. / Debrecen
- [14] DR. FAZEKAS, ANDRÁS ISTVÁN: Szabályozási feladatok az együttműködő villamosenergia-rendszerben. Magyar Energetika, 2002. április, X. évf., 2. szám, p.9-14.
- [15] DR. FAZEKAS, ANDRÁS ISTVÁN: Rendszerszintű szolgáltatások a liberalizált villamosenergia-rendszerekben. Energiagazdálkodás, 2002. június, XLIII. évf., 3. szám, p.15-20.
- [16] DR. FAZEKAS, ANDRÁS ISTVÁN: Kiegészítő villamosenergia-szolgáltatás a liberalizált villamosenergia-rendszerekben. Magyar Energetika, 2002. június, X. évf., 3. szám, p.20-24.
- [17] DR. FAZEKAS, ANDRÁS ISTVÁN: Villamosenergia-termelési technológiák komplex összehasonlító vizsgálata. ENERGIA FÓRUM 2004. Előadásanyag. 2004. április 15-16. / Balatonfüred

- [18] DR. FAZEKAS, ANDRÁS ISTVÁN: Sztochasztikus rendszerszámítás a villamosenergia-termelés tervezésében. *Energia és Atomtechnika*, XLIII. évf., 1990/3, p.111-115.
- [19] DR. FAZEKAS, ANDRÁS ISTVÁN: A villamosenergia-rendszer rendszerszintű üzemtervezése és üzemirányítása. *Villamosság*, 39. évf., 1991/5, p.129-135.
- [20] DR. FAZEKAS, ANDRÁS ISTVÁN: Főbb fejlesztési irányok a villamosenergia-termelési technológiák területén. *Magyar Energetika*, II. évf., 1994/1, p.9-16.
- [21] DR. FAZEKAS, ANDRÁS ISTVÁN: A villamosenergia-termelés fajlagos költségeinek alakulása különböző primerenergia-bázisú alaperőművek esetében. *Energiagazdálkodás*, XXXVI. évf., 1995/6, p.234-240.
- [22] DR. FAZEKAS, ANDRÁS ISTVÁN: Különböző erőművek fajlagos költségei. *Magyar Energetika*, II. évf., 1994/6, p.37-43.
- [23] DR. FAZEKAS, ANDRÁS ISTVÁN: Néhány lehetséges új erőművi egység termelési költségének alakulása a kihasználás függvényében. *Magyar Villamos Művek Rt. Közleményei*, XXXIII. évf., 1996/1-2., p.41-45.
- [24] DR. FAZEKAS, ANDRÁS ISTVÁN: Erőművi villamosenergia-termelési technológiák főbb fejlesztési irányai. *Elektrotechnika*, 89. évf., 1996/5, p.219-224.
- [25] DR. FAZEKAS, ANDRÁS ISTVÁN: Möglichkeiten zur Verbesserung der Wirkungsgrade in der ungarischen Kraftwirtschaft. *VGB Kraftwerkstechnik* Jg.77., 1997/4, p.304-306.
- [26] DR. FAZEKAS, ANDRÁS ISTVÁN: Erőművek rendszerszintű gazdaságossági összehasonlító vizsgálata. *Magyar Villamos Művek Rt. Közleményei*, XXXV. évf., 1998/1, p.21-25.
- [27] DR. FAZEKAS, ANDRÁS ISTVÁN: Optimumszámítási feladatok a villamosenergia-rendszerek rendszerszintű tervezésének területén. *Energiagazdálkodás*, XLII. évf., 2001/2, p.4-8.
- [28] DR. FAZEKAS, ANDRÁS ISTVÁN: Szabályozási zónák, illetve mérlegkörök közötti kiegyenlítő villamos energia elszámolásának alapelvei. *Elektrotechnika*, 95. évf., 2002/7-8, p.230-233.
- [29] Dr. Barócsi Zoltán; Dr. Fazekas András (István); Gombás Ernőné; Magács Dezsőné; Székely Eszter; Vámosné Kalmár Ilona: Erőművek legfontosabb adatai. *Magyar Villamos Művek Tröszt*, 1989.
- [30] DR. FAZEKAS, ANDRÁS ISTVÁN: Költségszámítás alapjai (A költségek csoportosítása). *Villamosenergia-rendszerek rendszerszintű tervezése 1. EN-OPT 2002*.
- [31] *Enhanced Electricity System Analysis For Decision Making*  
A Reference Book  
(DR. FAZEKAS, ANDRÁS ISTVÁN (co-author))  
International Atomic Energy Agency, Vienna 2000

# Tartalom

<b>6.1. Célkitűzés</b>	<b>4</b>
<b>6.2. Villamosenergia-termelési technológiák</b>	<b>5</b>
6.2.1. A villamosenergia-termelési technológiák áttekintése	5
6.2.2. A komplex összehasonlítás tárgyát képező villamosenergia-termelési technológiák	15
6.2.3. A kiválasztás szempontjai	19
<b>6.3. Primerenergia-hordozók rendelkezésre állása</b>	<b>20</b>
6.3.1. A primerenergia-hordozók rendelkezése állása szempontjából releváns kérdések	20
6.3.2. Általános megjegyzés a primerenergia-hordozók rendelkezésre állásáról (primerenergia-hordozó vagyronról)	21
<b>6.4. A potenciális termelési kapacitás az egyes villamosenergia-termelési technológiák esetében</b>	<b>22</b>
<b>6.5. Az energetikai hatások</b>	<b>24</b>
6.5.1. Az energetikai hatások értelmezése	24
6.5.2. A vonatkoztatási rendszer szerepe a hatások értelmezés során	24
6.5.3. A különböző energetikai hatások értelmezések	25
<b>6.6. Gazdasági hatékonyság (költségek)</b>	<b>26</b>
<b>6.7. A villamosenergia-termelési technológiák környezetterhelése</b>	<b>27</b>
6.7.1. Környezetterhelés, környezeti hatások fogalma	27
6.7.2. A „hatás-út” fogalma	29
6.7.3. A villamosenergia-termelés, villamosenergia-ellátás környezetterhelése, legfontosabb környezeti hatásai	31
<b>6.8. A villamosenergia-termelési technológiák egészségkárosító és anyagi károsodást okozó hatása</b>	<b>33</b>
6.8.1. Módszertani problémák	33
6.8.2. Az egészségkárosodást okozó hatások vizsgálati módszerei	35
6.8.3. Az egészségkárosodás következményeinek számszerűsítése	36
<b>6.9. Villamosenergia-termelési technológiák összehasonlító jellemzése a rendszerirányítás szempontjából</b>	<b>36</b>
6.9.1. A rendszerirányítás fő feladata	36
6.9.2. Az energiatermelő egységek rendszerirányító számára lényeges tulajdonságai	37
<b>6.10. Járulékos, külső (externális) költségek</b>	<b>39</b>
6.10.1. A járulékos, külső (externális) költségek fogalma	39
6.10.2. Az externális költségek meghatározására irányuló erőfeszítések	40
6.10.3. Az externális költségek internalizálására irányuló erőfeszítések	41
6.10.4. A környezetvédelmi költségek és a környezeti kár fogalma	42
<b>6.11. Az egyes villamosenergia-termelési technológiák jellemző fajlagos terület-felhasználása</b>	<b>43</b>
6.11.1. A terület-felhasználás tendenciájában bekövetkezett változások	43
6.11.2. A fajlagos területfelhasználás értelmezése	44

6.11.3. Az erőművi fajlagos területigény és a teljes technológiai láncra vonatkoztatott fajlagos területigény.....	45
6.12. Társadalmi elfogadottság .....	45
6.12.1. A villamosenergia-szektor helye és szerepe a modern társadalmakban .....	45
6.12.2. A társadalmi elfogadtatás kérdése a villamosenergia-ellátással kapcsolatos műszaki létesítmények esetében.....	46
6.13. A teljes szempontrendszer .....	48
<b><i>Szakirodalom jegyzéke .....</i></b>	<b>52</b>



Magyar Atomforum Egyesület