

A magyar villamosenergia-rendszer

A múlt század végén a dinamo, generátor feltalálása lehetővé tette, hogy ezeket vízturbinákkal, gőzgépekkel meghajtva villamos áramot fejlesszenek, amelyet kezdetben csak a műhelyekben, majd a tulajdonos lakásában, az üzem környezetében világításra használtak. Ezzel vette kezdetét a villamosenergia-szolgáltatás, amely eleinte egy üzemet, városrészt, később várost, országrészt ellátó erőművet és a hozzá kapcsolódó fogyasztókat jelentette. Az erőművekből szolgáltatott villamosenergia paramétereit (egyenáram, váltakozó áram, utóbbi fázisszáma, frekvenciája) különbözőek voltak, így együttműködésre lehetőség sem volt. A rendszer egységesítése (a három fázisú váltakozó áram csaknem egyszerűsödésévé válása) tette lehetővé az erőművek összekapcsolását, az együttműködésben rejlő előnyök kihasználása pedig a villamosenergia-rendszerek kialakulását.

Történetileg a hazai villamosenergia-rendszer kialakulása a múlt században kezdődött. Magyarországon a legelső erőművet Temesváron 1884-ben építették. Az ország mai területén a legrégebbi, ma is erőművi célokra használt telephelyek Nyíregyházán (1892), Tatabányán (1896) és Ikerháza (1896) vannak. A főváros legrégebbi, ma is működő erőművei az Újpesti (1908) és a Kelenföldi (1914) Erőművek. A háború előtti utolsó nagy erőművet a 30-as években Bánhidán építették fel (3x20 MW) a vasúti villamos vontatás érdekében, a Budapest–országhatár 100 kV-os távvezetékekkel együtt. A negyvenes évek elején Ajkán (2x16+14 MW) építettek még új erőművet a helyi iparfejlesztéshez, majd a Budapest Székesfőváros Elektromos Művei elkezdte a 30 MW-os gőzturbinákra tervezett erőmű építését Hatvantól északra, a főváros villamosenergia-ellátásához. Az energia Budapestre szállításához kettős rendszerű 100 kV-os távvezeték is épült. A jóvátétel címen elszállított Mátravidéki Erőművet a háború után újjáépítették. A második világháborúig a tulajdonosok szinte mindenütt széntüzelésű erőműveket építettek.

Szolgáltatás minősége

A felhasználók a villamosenergia-ellátást a szolgáltatás minősége alapján ítélik meg, mely legfontosabb jellemzője az ellátás megbízhatósága, amit az minősít, hogy évente milyen hosszú időn át szünetel a szolgáltatás. Ebbe a karbantartás és az üzemzavarok miatti kiesések egyaránt beleértendők. A hazai rendszerben 1992-ben a háztartási fogyasztóknál az átlagos üzemszünet mintegy 0,5 óra volt, ami nemzetközileg is jó érték. Ipari fogyasztóknál a kimaradás ellen többoldalú betáplálással védekeznek; ahol a rövididejű kimaradás sem engedhető meg (kórházak, távközlés) akkumulátortelepekkel, dieselmotorhajtású szükségáramforrásokkal biztosítják a szünetmentes ellátást.

A szolgáltatás minősége megköveteli, hogy a feszültség-ingadozás a megengedett tűréshatáron belül maradjon, a hálózati frekvencia (50 Hz) állandó és a váltakozó áram szabályos legyen. A hálózat terhelésétől, nagyobb teljesítményű fogyasztók ki-be kapcsolásából eredő feszültség-ingadozás a fogyasztói körzetet ellátó megfelelő transzformátor, kis ellenállású vezetékek, esetenként körvezetékek, hurkolt hálózat alkalmazásával csökkenthető. Az ipari fogyasztók számára a hálózati frekvencia kisebb eltérései fordulatszám- és teljesítményváltozást, a 2%-nál nagyobbak üzemzavarokat okozhatnak, biztonsági berendezések működését eredményezhetik. A névlegesnél alacsonyabb frekvenciánál az erőművek a valódi fogyasztói igényeknél kisebb teljesítményt szolgáltatnak, a lecsökkenő fordulatszám melletti kisebb fogyasztói igény alakul ki a termelés és fogyasztás közötti egyensúly. Az elektronikai készülékek számára fontos a váltakozó áram szabályossága. Az ebben a körben jelentkező zavarok (hullámszó, a kiszúrások,

a kiesés, a harmonikus zavarás és az elektromos zaj) a fogyasztók által üzemeltetett készülékek visszahatásaként keletkeznek, ezért csak ellenőrzött, az előbbi zavarokat nem okozó készülékeket szabad csatlakoztatni a hálózatra.

A szolgáltatás minőségét tágabban értelmezve a felhasználókat az is érinti, hogy a szolgáltatás mennyire környezetbarát és költségtakarékos. Végső soron minden energiafelhasználás hőveszteséggel, káros anyag kibocsájtással jár. Annál jobb a szolgáltatás minősége minél kisebb költséggel, átalakítási veszteséggel és szennyezőanyag termeléssel jár ugyanakkora energiamennyiség előállítására. Ez a mai energetikai gondolkodásmód alapja.

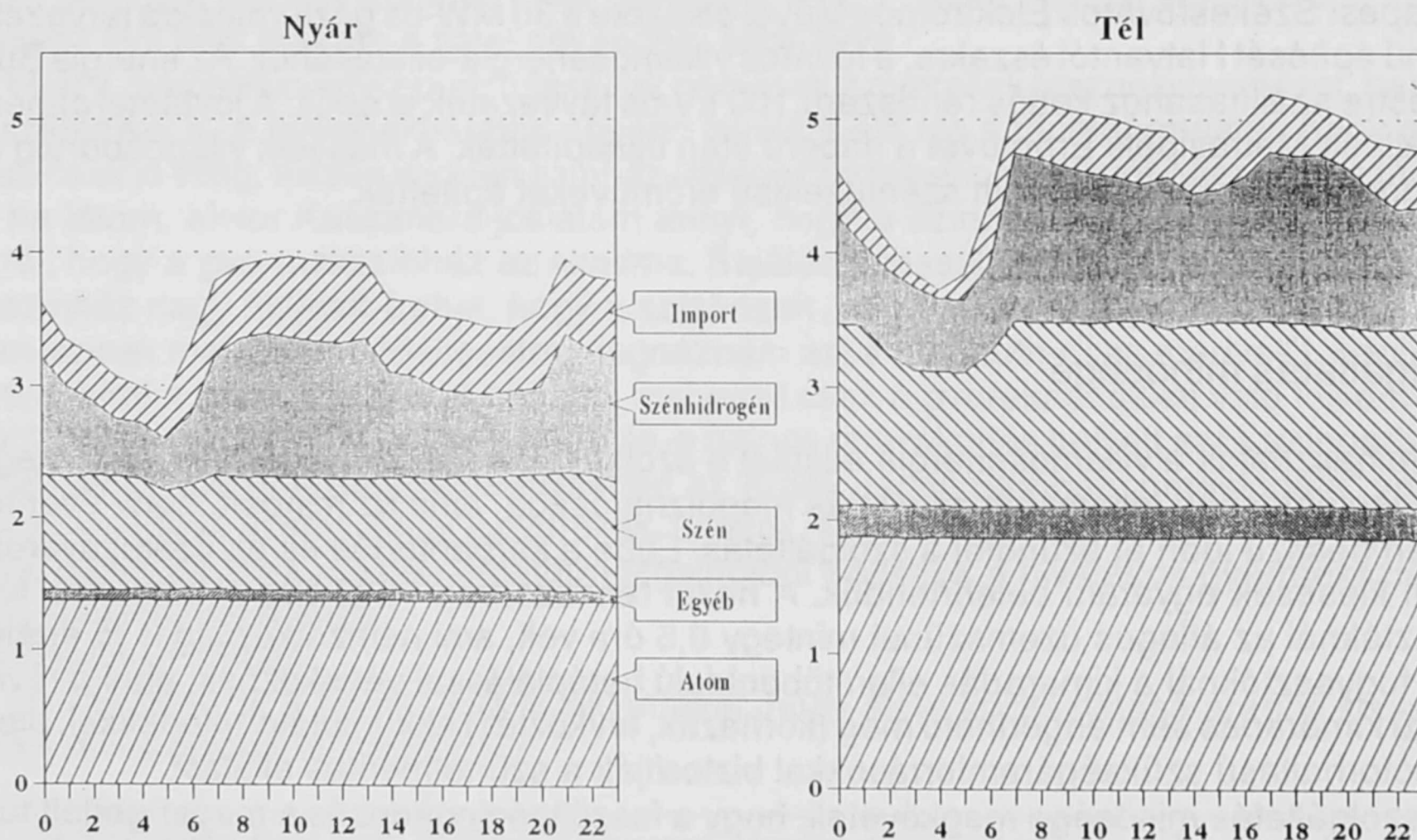
Műszaki, üzemviteli jellemzők

A villamosenergia-rendszerek jellemzésére többféle paraméter használatos. Ezek egy részével már sorozatunk első részében foglalkoztunk. A villamosenergia rendszernek a pillanatnyi fogyasztói igényeket kell kielégíteni, mert a villamos energia nem tárolható. Az igények folyamatosan változnak, alakulásukat szemlélteti egy jellemző téli és nyári napra az 1. ábra. A napi terhelési diagramokról látható, hogy a csúcsidezőszakok a délelőtti és esti órákban fordulnak elő. Völgyidőszakok éjszaka és délután vannak. Egy munkanapon belül 1000 MW-nál nagyobb teljesítményingadozás is előfordul. Legnagyobb sebességű a teljesítményváltozás, igényfelfutás télen (600 MW/h). Ilyen gyorsan kell változtatni az együttműködő rendszer üzemben lévő gépeinek teljesítményét is! A fogyasztói igények

A villamos terhelés megoszlása nyáron és télen 1992. (munkanap) (GW)

Beépített kapacitás : 7277 MW

Csúcs : 5641 MW

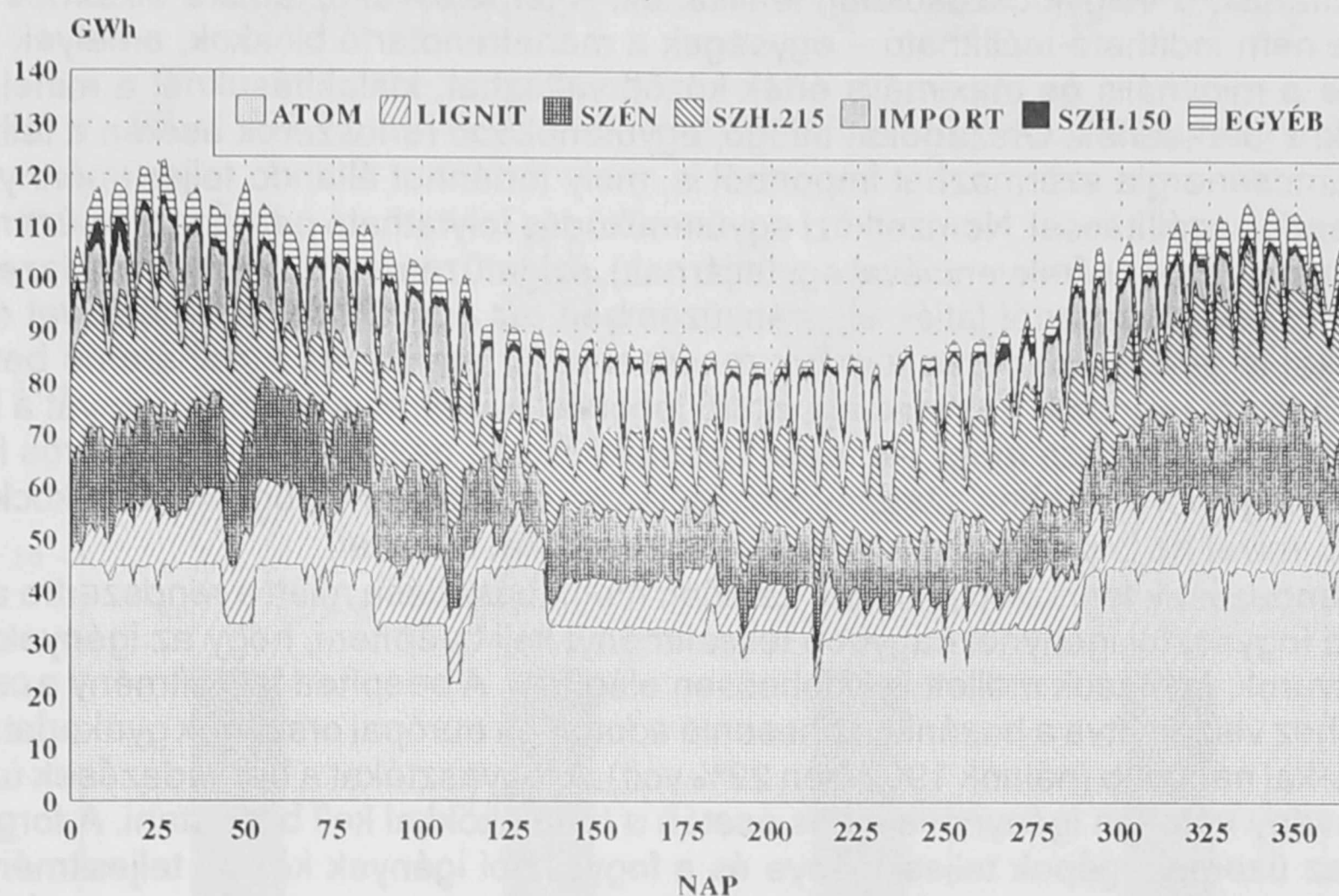


1. ábra

a napi villamosenergia felhasználással is jellemezhető. A 2. ábra termelésváltozási görbéje szemlélteti a munka- és pihenőnapok közötti különbségeket és a szezonális ingadozásokat is. A pillanatnyi igények nagyság szerinti rendezése adja a rendszer tartamdiagramját (3. ábra). Az igényfelfutási görbék, tartamdiagramok alatti terület az összesített éves energiafelhasználás. A teljesítményfelfutási tartamdiagramok alatti terület és az éves csúcsteljesítmény hányadosa az éves csúcskihasználási óraszám. Ez 1992-re 6169 h volt. Csúcskihasználási óraszám más időtartamokra is értelmezhető. Nyári értéke általában kisebb, a terhelési diagram kevésbé telített.

TERMELÉS MEGOSZLÁS 1992.

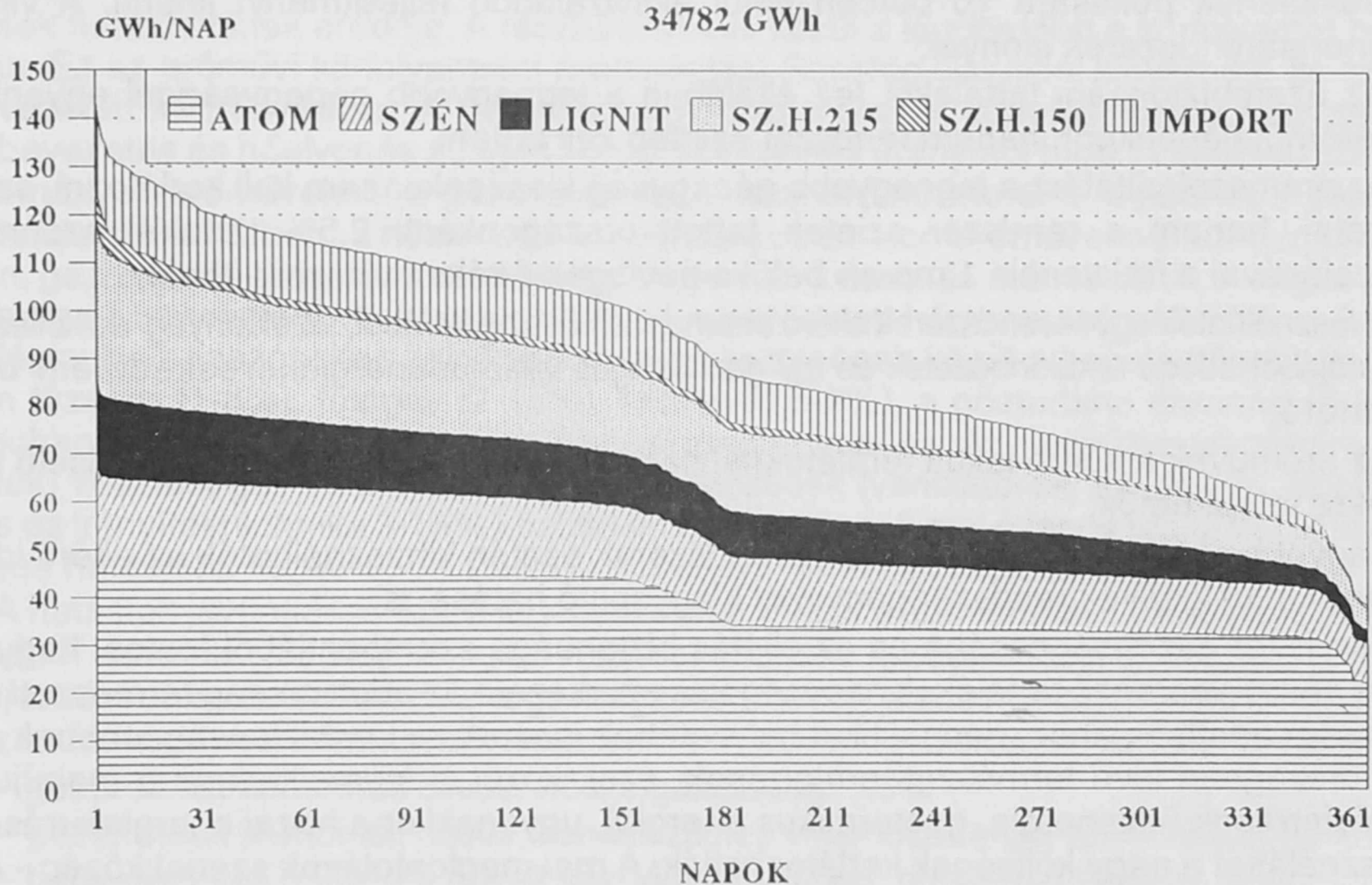
TERMELÉS: 34.8 TWh, CSÚCSKIHASZN. 6169 h



2. ábra

VILLAMOSENERGIA TERMELÉS ÖSSZETÉTELE (1992)

34782 GWh



3. ábra

A teljesítményigények változása miatt a rendszert olyan egységekből kell felépíteni, amelyek a rendszerszintű minimális költségek mellett a fogyasztói igényeknek megfelelő gyors teljesítményváltoztatást is biztosítani tudják. A legkisebb költség és a gyors teljesítményváltoztatás általában ellentétesek egymással, ezért az energiarendszerben vannak olyan ún. alaperőművek amelyek kialakításánál a legkisebb üzemköltségre törekedve bonyolult hőkapcsolást választanak, ezeket folyamatosan állandó teljesítménnyel

üzemeltetik. A gyors teljesítményváltoztatásra alkalmas nagyobb változó költségű erőművek a csúcserőművek, melyeket naponta a csúcsidőszakokban egyszer, vagy többször indítanak, a völgyidőszakokban leállítanak. A terhelésváltoztatásra alkalmas – de naponta nem indítható-leállítható – egységek a menetrendtartó blokkok, amelyek teljesítménye a minimális és maximális érték között változhat, kialakításuknál a minél jobb hatásfokra törekednek. Országokat átfogó, együttműködő rendszerek esetén a felhasznált villamosenergia származhat importból is, mely történhet állandó teljesítménnyel és menetrendes szállítással. Nemzetközi együttműködés folytatható párhuzamos üzemben (a rendszerek azonos frekvenciával együttjárnak), szigetüzemben (az egyik rendszer egy részét a másik rendszerről látják el), irányüzemben (az egyik rendszer erőművet és fogyasztókat is tartalmazó része a másik rendszerrel jár együtt) és egyenáramú betétén keresztül (a két rendszer frekvenciája eltérő lehet és teljesítményáramlás irányát a betét szabályozása határozza meg). Az import technikailag és gazdaságilag is előnyös lehet. Primer energiahordozókban szegény országban ez olcsóbb lehet, ugyanakkor kockázatot is rejt, mivel az import kimaradása ellátási zavarokat okozhat.

A berendezések tervszerű javítása, váratlan meghibásodása miatt a rendszerbe a legnagyobb fogyasztói igénynél nagyobb teljesítményt kell beépíteni, hogy az igényeket az üzemzavarok, javítások mellett is ki lehessen elégíteni. A beépített teljesítmény a csúcsigényekhez viszonyítva a hazánkhoz hasonló adottságú európai országok gyakorlatában 25-35 %-kal nagyobb (nálunk 1992-ben 29% volt). A fogyasztókat a berendezések üzemzavara, vagy váratlan igénynövekedés esetén a tartalékokkal kell biztosítani. A forgótartalékot az üzemelő gépek teljesítménye és a fogyasztói igények közötti teljesítménykülönbség jelenti. Egy része, a primer tartalék bármilyen üzemzavar esetén azonnal aktivizálódik. Az európai előírások szerint ez az aktuális teljesítmény 2,5 %-a. A hidegtartalékok azok az üzembehelyezhető, üzemben kívüli berendezések, amelyek az üzemben lévő berendezések kiesésekor, előre becsülhető igényváltozáskor üzembe vehetők. A tartalék különleges fajtája a szekunder tartalék, amely általában a legnagyobb gépegység váratlan kiesésének pótlására 10 percen belül aktivizálendő teljesítményt jelenti. A villamosenergiarendszerek előnyei:

- az üzembiztonsági tartalékot (ez általában a legnagyobb gépegységgel egyenlő) nem erőműtelepenként, hanem rendszer szinten kell tartani,

- az áramszolgáltatást a legnagyobb gépegység kiesésekor sem kell korlátozni, szüneteltetni, hanem a rendszer szinten tartott országonkénti 2,5% tartalék azonnali aktivizálásával a frekvencia 1 mp-en belül a névleges értéken visszaállítható,

- kihasználhatók egyes rendszerek eltérő berendezés-összetételéből, tüzelőanyag- és költségstruktúrájából adódó árkülönbözetek és így gazdaságos villamosenergiakereskedelem bonyolítható,

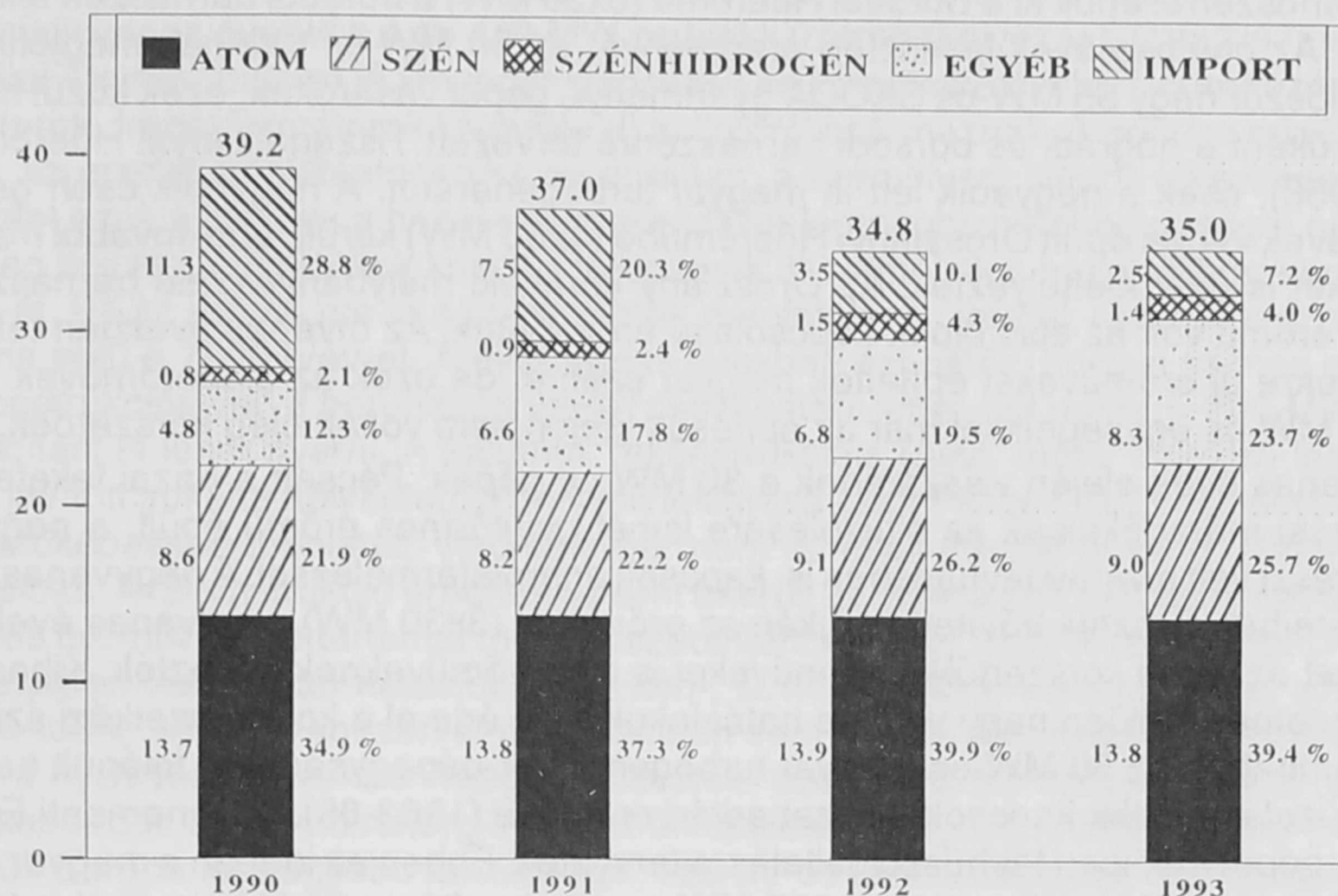
- az erőművek a sűrűn lakott területeknél nagyobb környezetszennyezést elviselő területekre telepíthetők,

- nagyobb szélességi köröket átfogó rendszerek esetén kihasználhatók az eltérő időpontbeli csúcsigények rendszerigényeket kiegyenlítő hatásai is.

A rendszer gazdaságossága és az ellátás biztonsága szempontjából fontos, hogy a primer energiahordozó tartalékok nagysága és szerkezete az adott ország természeti és gazdasági adottságaihoz, geopolitikai helyzetéhez igazodjon. Legbiztonságosabbak az adott országban lévő természeti erőforrások, ezek közül is kiemelkednek a megújuló energiaforrások (vízenergia, geotermikus energia), ugyanakkor a hazai energiaforrások felhasználását a nagy költségek korlátozhatják. A mai megfontolások szerint közép- és hosszú távon csak a nukleáris és kőszén energiahordozókat lehet számításba venni mert ezek több, diverzifikált piacon, a jövőt tekintve is jól becsülhető áron állnak rendelkezésre és többéves tartalékok is képezhetők. Földgázból Európában, Ázsiában középtávon nagy tartalékokkal rendelkezünk, azonban ezek magyarországi megbízható hozzáférhetőségét a vezetékkapcsolatok hiánya (nyugati rendszerhez), és a Szovjetunió utódállamaiban fennálló gazdasági zavarok korlátozzák. A hazai villamosenergia-termelés forrásszerkezetét az utóbbi 4 évben a 4. ábra mutatja. Az energiahordozók közül csak a szén, illetve a szénhidrogén kb. 40%-a származott hazai forrásokból. Megfigyelhető, hogy a villamosenergia-import egyre csökken.

VILLAMOSENERGIA-TERMELÉS 1990 / 1991 / 1992 / 1993					
CSÚCS :	6534	6250	5641	5612	MW
BEÉPÍTETT KAPACITÁS :	7176	7186	7277	7264	MW
IMPORT KAPACITÁS :	1750	1260	634	471	MW

TWh



4. ábra

A költség és a környezetszennyezés minimalizálása szempontjából fontos a berendezések hatásfoka. Az erőművi hatásfok a körfolyamat és az azt megvalósító berendezések hatásfokának eredője. A részhatásfokok közül a legdöntőbb a körfolyamat hatásfoka. Ez az erőművi körfolyamatot reprezentáló Rankine ciklusból kinyerhető és az oda bevezetett hő hányadosa. A hatásfok nagysága a Carnot körfolyamathoz hasonlóan a hőbevezetés és hőelvonás átlagos hőmérsékleteinek arányától függ. A hőbevezetés hagyományos erőműveknél a gőzkazánokban, atomerőműveknél a reaktorban, gázturbinánál a tüzelőtérben, a hőelvonás hagyományos és atomerőműveknél kondenzátorokban, gázturbinás erőműveknél a környezetbe való kiáramlás után történik. A végső nyelő mindig az atmoszféra. Az ide elvezetett hő a bevezetett hőmennyiség 40-60%-a. A technológiai berendezéseken keletkező egyéb veszteségek közül a legjelentősebbek a kazán tüzelési (1-3%), füstgáz (7-15%), felületi (0,5-2%), a gőzturbina áramlási (5-15%), mechanikai (0,1-1%), a generátor, transzformátor vas- és réz- (együttesen néhány százalék) veszteségei, valamint a segédberendezések (ventilátorok, szivattyúk, szabályozás és irányítástechnika 3-15% közötti) önfogyasztása. A mai átlagos technikai színvonal eredő hatásfoka kb. 40%, de 15-20% hatásfokú berendezések is üzemelnek.

A hatásfok javításának egyik legegyszerűbb módja a kondenzátor elhagyása és a turbinából kiáramló gőz technológiai, vagy kommunális hasznosítása, a távfűtés. A hatásfokjavítást célozza a kombinált (egy magasabb és egy alacsonyabb hőmérsékletű határok között működő) körfolyamat alkalmazása is. A mai megvalósítható legjobb hatásfokok:

- gázturbinás kombinált ciklus, hőszolgáltatással 85%
- gázturbinás kombinált ciklus, kondenzációs villamosenergia-termeléssel 54%
- hagyományos hőerőmű növelt kezdőjellemzőkkel, tengervízűtéssel 45%
- hagyományos hőerőmű 40%

Erőművek, erőművi társaságok

A villamosenergia-rendszer különböző gazdasági döntések által motivált fejlődés eredményeként jött létre, kapacitásai különböző korú, teljesítményű, különböző energiahordozókat felhasználó berendezésekből állnak.

Az ötvenes évek elején alaperőműként, a korábbiaknál kedvezőtlenebb jellemzőkkel és egységekkel (6x20 MW) felépítették a jugoszláv események miatt nálunk rekedt cseh-szlovák berendezésekből az Inotai Erőművet a várpalotai lignitre. Alaperőműként, gyűjtősínes rendszerrel épült ki a Borsodi Hőerőmű (6x30 MW) a borsodi barnaszén felhasználására. Az ötvenes évek fejlesztési eredményét az 50 MW-os turbinák megjelenése jelezte. Először négy 55 MW-os SKODA gyártmányú gépet vásároltak, ezek közül három alaperőműként a nógrádi és borsodi barnaszénre tervezett Tiszapalkonyai Hőerőműbe került (1958), csak a negyedik lett itt magyar turbogenerátor. A negyedik cseh gép az ötvenes évek végén épült Oroszlányi Hőerőműbe (4x50 MW) került, ahol további magyar egységeket is üzembehelyeztek. Az Oroszlány környéki mélybányászati barnaszénre telepített erőmű volt az első blokk-kapcsolású erőművünk. Az ötvenes években tehát új telephelyekre új erőműveket építettek magyar szénre, de ezek az alaperőművek a 20, 30 és 50 MW-os egységeikkel már az építésük idején sem voltak elég korszerűek.

A hatvanas évek elején visszatértek a 30 MW-os gépek: Pécsen a hazai feketeszen osztályozási maradékainak az eltüzelésére ismét gyűjtősínes erőmű épült, a negyedik gép már részt vett a városi távfűtésben is, kapcsolt energiatermeléssel. A negyvenes évek paramétereire illesztve bővítették Ajkán az erőművet (3x30 MW) a hatvanas évek elején. Ezeket az eleve korszerűen erőműveket is alaperőműveknek tervezték. Kihasználásuk kezdetben kellően nagy volt, de hatásfokuk nem érte el a kor nemzetközi szintjét. Százhalombattán az 50 MW-os magyar turbogenerátor-gépegységekre felépült hazánk első olajtüzelésű blokk-kapcsolású szabadtéri erőműve (1963-65). A Dunamenti Erőmű harmadik gépét már ipari távhőszolgáltatásra tervezték. Ebben az időben a magyar energetikai gépgyártás már fejlesztette a 100 MW-os, újrahevítéses blokkhoz a turbinát és a generátort, de a Dunamenti Hőerőműbe három szovjet, 150 MW-os blokk került (1966-67). A 100 MW-os magyar fejlesztés kipróbálására Bánhidán került sor (1967), ez az ausztenites túlhevítőt tartalmazó kazánnal felszerelt egyblokkos bővítés azóta is az egyik legjobb hatásfokú alaperőművünk. A hazai külfejtéses lignitre új erőműveket építettek Visontán, ide is elhelyeztek két 100 MW-os hazai fejlesztésű blokkot. Itt épült meg az első két nagyobb, Heller-Forgó-féle léghűtéses rendszer. Ezzel le is zárult a hazai 100 MW-os egységekre támaszkodó blokkok építése.

A hetvenes években a hazai villamosenergia-gazdálkodás irányítói ragaszkodtak a nagy alaperőművek építéséhez. Az igények növekedése még nagy volt, a fejlesztéskor a nagyobb egység-teljesítőképességre gondoltak. Ismét nem bízva a hazai fejlesztésben először egy szovjet 200 MW-os blokk került Visontára, vízhűtéssel. A BBC-licenc megszerzése után a Láng Gépgyár megjelent a 200-220 MW-os gépével, amelyből aztán a hetvenes években tizenkettőt szereltek fel az országban. (Ma is ezek az egységek adják a magyar villamosenergia-rendszer szabályozható teljesítményét.) Az olaj a hetvenes évek elején még olcsó volt, ezért alaperőműként 215 MW-os blokkokkal bővítették a friss-víz-hűtésű dunamenti erőművet. Bár a dunamenti üzembehelyezések idejére (1972-76) esett az első olajválság, mégis ezzel a blokk típussal, alaperőműként épült a Tisza II. Erőmű (4x215 MW). Az erőmű évi kihasználása soha nem érte el az 5000 órát. Ez volt az utolsó hazai fejlesztésű, nagy erőműblokk Magyarországon. Eredményeként az atomerőmű-építés lekerült a napirendről, így megmenekültünk a VVR 230 típusú atomerőművi blokkoktól. E 440 MW-os blokkok ma a kelet-európai rendszerek legtöbb gondot okozó berendezései. Ekkor kezdődött meg a hazai kazángyártás leépítése is. Az import berendezések nem voltak jobbak, csak az önkényes rubel/forint árfolyam kedvezett a KGST-n belüli importnak. A hatvanas évek második felétől kapott jelentős szerepet a puffer földgáz a hazai erőművekben. Az olajtüzelésű erőművek már alternatív olaj- és földgáztüzelésűek. A hetvenes években úgy tűnt, hogy a gyors igényfejlődéshez nagyobb teljesítőképesség kell a villamosenergia-rendszerben. E feltételezett „lyukkiköltésre” vettek két műszakilag nem kiforrott szovjet gyártmányú 100 MW-os csúcserőművi gázturbinát (1974-75) Inotára és egy viszonylag korszerűbb 32 MW-os gázturbinát Kelenföldre. E blokkoknak lényeges szerepük azóta sincs, hiszen nem volt „lyuk”, melyet ki kellett volna tölteni, szekunder tartalékul pedig ezek az egységek nem alkalmasak és üzemeltetésük rendkívül drága.

A magyar villamosenergiarendszer primer és szekunder szabályozása ma sincs megoldva. A frekvenciát a közös KGST villamos rendszerben nem nekünk kellett – nem is lehetett – a kívánt értéken tartani. A legnagyobb egység kiesésekor pedig még ma sincs tíz percen belül üzembe helyezhető tartalékunk a teljes értékű pótláshoz.

A nyolcvanas éveket a 4 db 440 MW-os blokk üzembehelyezése (1982-87) jellemezte a Paksi Atomerőműben. A lényeges gépészeti és irányítástechnikai berendezések (a generátorok, transzformátorok kivételével) külföldről származnak. A gondos minőségbiztosítás, az eredeti irányítástechnika módosítása, a személyzet alapos kiképzése eredményeként ezek a blokkok a hazai energiarendszer legmegbízhatóbb egységei és nemzetközileg is a legjobb blokkok között szerepelnek. Itt termeljük a hazai villamosenergia 45-50%-át. Ez az erőmű ma is a tervezettnél megfelelően üzemel, csúcskihasználási óraszámra eléri a 7500 h/év-et. A nyolcvanas években azt hitték, hogy a szenes erőművek „rekonstrukciójával” a beruházási igényt csökkenteni lehet, sőt mintegy 200 MW többletkapacitást is lehet nyerni. A kazánok rekonstrukciója (Ajka, Inota, Borsod) lényegében nem javított sokat a helyzeten, a blokkok felújítása csak Pécsen és Oroszlányban hozott teljesítőképesség-többletet, Visontán már nem és csak Pécsen javult a gőzkörfolyamat hatásfoka. A rekonstrukció eredményeként sikerült az ötvenes és hatvanas években épült szenes erőművek élettartamát meghosszabbítani mintegy 70 MW teljesítménytöbblettel, lényegében változatlan hatásfokkal és kén-, ill. nitrogénoxid-kibocsátással, azaz hosszabb időre „sikerült” konzerválni a korábban sem magas technikai színvonalat. Az igények a nyolcvanas években még növekedtek, ezért az olcsó szovjet árakra „alapozva” megkezdődött a villamosenergia-import felfuttatása, melynek voltak politikai indítékai is. Kiépült Európa legnagyobb feszültségű, 750 kV-os távvezetéke; az import elérte a 11,3 TWh/a-t a hetvenes évek 4-5 TWh/a-jához képest, a csúcs pedig az 1850 MW-ot az előző évtizedre jellemző 500-800 MW-hoz viszonyítva. A szenes rekonstrukció és a nagyarányú import következtében kimaradt az erőműépítés egy generációja.

Hőszolgáltató erőművek

A kapcsolt hőtermelés lényegesen javíthatja a körfolyamat hatásfokát és az energia-termelés gazdaságosságát. Hazánkban az erőművi távhőszolgáltatás az ötvenes években kezdődött el. Ipari gőzt adtak ki Dunaújvárosban az ipari erőműből, a Borsodi Hőerőműből vagy a Kelenföldi Erőműből és erre a célra ellennyomású gőzturbinák jelentek meg erőműparkunkban. A távfűtés felfutása a hatvanas években következett be. Ezen a területen magyar műszaki fejlesztés a változó ellennyomású, ún. magyar fűtőturbina. A hatvanas években folytatódott az erőművi hőszolgáltatások fejlesztése megfelelő bővítésekkel (Borsod, Tiszapalkonya), ill. átalakításokkal (Kelenföld, Újpest). Az „ellennyomású program” keretében új városi hőszolgáltató erőművek épültek szénre (Kispest) és szénhidrogénre (Kőbánya). Ezekben viszonylag kicsi volt a kapcsoltan termelt villamos energia aránya a szolgáltatott hőhöz képest. A távhőszolgáltatás felfutásával egyidejűleg sokan szorgalmazták a fejlődő távhőértékesítéshez az erőművi blokkokra alapozott távfűtést. A dél-budai és az észak-budapesti kondenzációs fűtőerőművek tervei elkészültek, de az olajválság után inkább a tiszai blokkok megépítése mellett döntöttek. Elmaradt a kapcsolt energiatermelés kínálta tüzelőanyag-megtakarítás és ettől kezdve a fővárosban és néhány vidéki városban csak forróvíz-kazánokat építettek. Ez a korszak folytatódott a nyolcvanas években is.

Erőmű és a környezet kapcsolata

A hagyományos erőművek környezetszennyezése a környezet minden elemét érinti. A szennyezőanyagok közül a gázok hatása (a magas erőművi kémények miatt) elsősorban az erőművektől távolabb, globálisan érvényesül, míg az egyéb szennyezéseké az erőmű környezetében. A tüzelőanyagok elégetésekor keletkező CO₂ az üvegházhatásért, SO₂, SO₃ a savas esőkért, a különböző nitrogénoxidok a savas esőkért, az ózonréteg

károsításáért felelősek. Nitrogénoxidokat illetően az erőművek kibocsájtása hazai viszonylatban a közlekedésből származó kibocsájtás mintegy felét teszi ki. A tüzelőanyagok hamujából, a rosszabb hatásfokú porleválasztás következtében a kéményen át távozó pernye és koromszemcsék, nehézfém vegyületek a kémény környezetében lévő ökoszisztemeket károsítják, ugyanakkor a nyomelemek és más hatóanyagok révén a terméseredmények javításához, a kártevők hatásának mérséklődéséhez is hozzájárulhatnak. A tüzelőanyag hamujából és a kéntelenítés során képződő szilárd anyagokat depozálni kell. Ez hazai viszonylatban 4 millió tonnára tehető évente, emellett évente néhány tonna nehézfém (vanádium, cadmium, nikkel stb.) sókat tartalmazó külön leválasztott veszélyes hulladék is képződik. A cél ezek továbbhasznosítása. A szilárd anyagok tárolásánál a vízzel kioldható elemek talajvízbe kerülését meg kell akadályozni, ezért lerakásuk csak alul, felül vízzáróan kialakított deponiákba engedhető meg. A környezetszennyezés csökkentésére fontos ezen maradékok újrahasznosításának növelése (építési, útépitési anyagként). A vízszennyezések közül legnagyobb a hőszennyezés (az erőművi veszteséghő élővizekkel való elsődleges elnyelése, ami az ökoszisztemek életfeltételeinek drasztikus megváltozását okozhatja). A szilárd anyag deponiák talajvízszennyezésén kívül az erőművi körfolyamatok a szilárd égési maradványok hidraulikus szállítására felhasznált évente kb. 45 millió m³ sókkal, lúgokkal szennyezett vízzel, a kazánüzemi víztisztító berendezések regenerálásához felhasznált évi 10-12 ezer tonna sóval, valamint néhány száz köbméternyi olajos csapágyhűtő, mosóvízzel is terhelik az élő- és talajvizeket. Ezekhez képest a nukleáris erőmű környezetszennyezése minimális és jól ellenőrizhető. Az atomerőművek légköri kibocsájtása elhanyagolható, üzemanyagának térfogata, tömege, a belőle előállítható energia egységére vetítve több nagyságrenddel kisebb mint az ennek megfelelő széné vagy olajé. Szilárd és folyékony hulladékaik rádióaktívak, semmiféle módszerrel nem tisztíthatóak, aktivitásukat csak a múlt idő csökkenti, de tárolásuk biztonságosan megoldott, így az előírások betartása esetén károsítás nem várható. Ezt a folyamatos hatósági és nemzetközi ellenőrzések is szavatolják.

A villamosenergiaipar környezetvédelméhez tartozik a fázisjavító kondenzátorok dioxin tartalmú elektrolitjainak és a PVC szigetelésű kábelek maradékainak különleges eljárásokkal történő ártalmatlanítása is. A villamosenergia-rendszer a környezetszennyezés csökkentése terén jelentős eredményeket elsősorban a nukleáris termelés részarányának növelésével, másrészt a korszerű pernyeleválasztók beépítésével ért el. (A por-kibocsájtás csaknem 90%-kal csökkent a 80-as években.) Részeredmények más területeken is születtek pl. a hibrid szénpor-fluid tüzelés alkalmazása az Ajkai Erőműben kéntelenítésre, NO_x szegény égők alkalmazása a Dunamenti Erőműben, sűrűzagyos salakpernye lerakás a talajvízszennyezés csökkentésére Tatabányán, Pécsen, ellenáramú víztisztítóberendezés regenerálás a paksi, kelenföldi, kőbányai, mátrai, dunamenti, oroszlányi erőművekben, a vegyszer és sókibocsájtás mérséklésére.

Erkölcsei és fizikai avulás, megújítási kényszer

Az erőműveket a kiszolgáló létesítményekkel összehangolt, meghatározott élettartamra méretezik: a szilárdsági számításoknál 20-25 évre, míg saját bányája esetén az erőmű teljesítményét a bányája tüzelőanyagkészletéhez illesztik. A tervezési időtartam végére az erőművi berendezések üzemeltetése egyre gyakoribb üzemzavarokkal járhat, egyes szerkezeti elemek meghibásodása miatt csak igen nagy ráfordításokkal hozhatók üzemképes állapotba. E fizikai avulásnál sokkal gyorsabb lehet az erkölcsi avulás, azaz az adott rendszer a körülmények változása, a technikai fejlődés következtében túlhaladottá válik. A berendezések elhasználódása még a fogyasztói igények változatlansága esetén is rendszeres megújítást igényel, ezért folyamatos a régi berendezések leállítása, megújítása és új berendezések beépítése. A gazdaságosabb, környezetbarátabb berendezésekre való törekvés, a jobb minőségű anyagok alkalmazási lehetőségei a kezdőjellemzők (gőzerőműveknél: gőznyomás, gőzhőmérséklet, többszörös újrahevítés, gázturbináknál: a kezdőhőmérséklet), egység-teljesítmények növelését eredményezik. Előadódhat, hogy a paraméterek további növelésére, hatásfokjavítás-

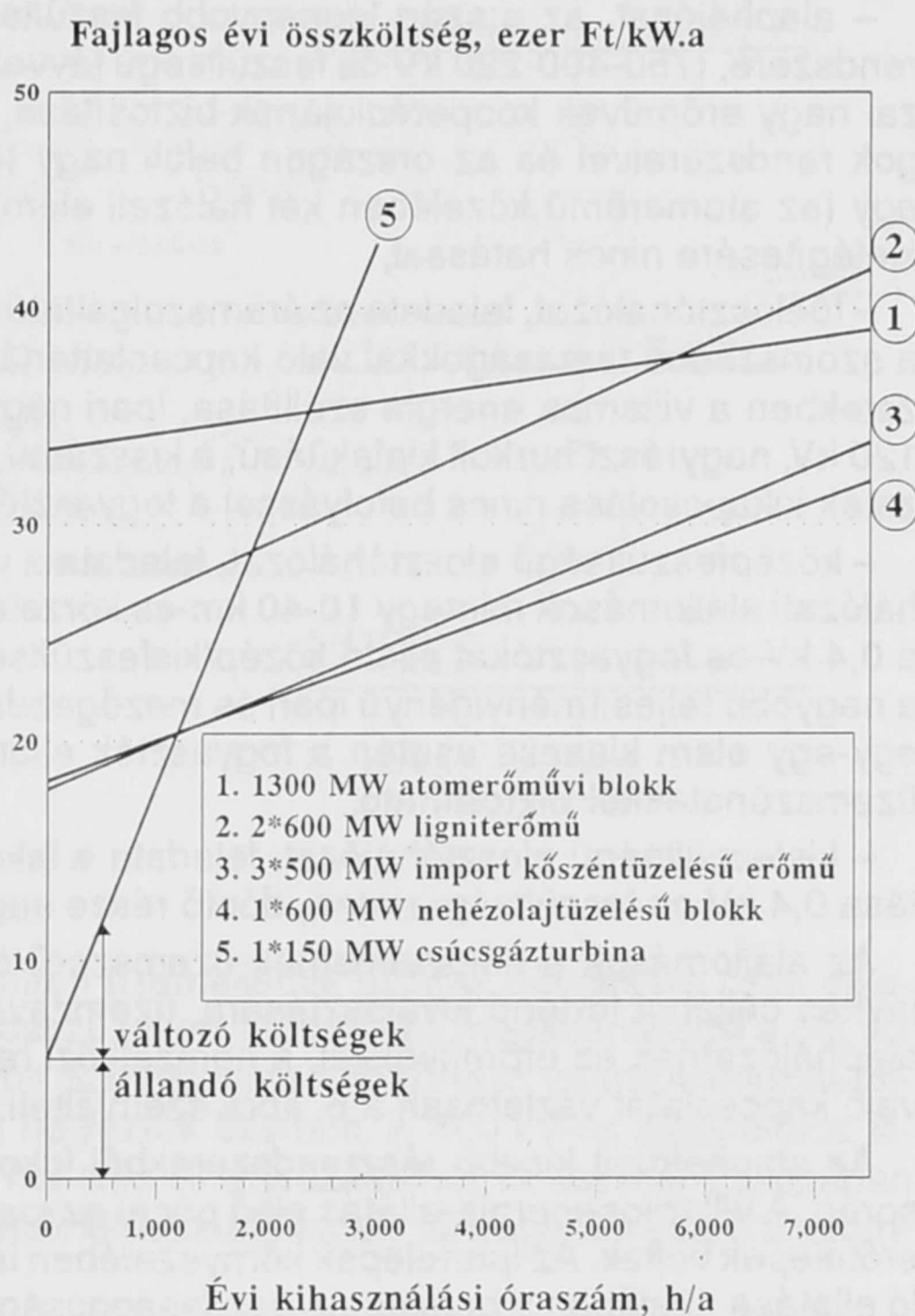
ra nincs mód, de az üzemeltetési, környezetvédelmi előírások megszigorodtak. Ehhez járul, hogy a lakosság a környezeti hatásoktól való félelmében egyre kevésbé fogadja el új erőművi telephelyek létesítését. Ekkor az adott telephelyen a technológiát kell megújítani, kiegészíteni, ami odavezet, hogy az erőművi telephelyeket a korábbi 20-25 év helyett ma gyakran 40-50 évre választják ki és a technológiai berendezések elhasznált részeit megújítják.

Költségszerkezet, költséggörbék, növekményköltség

A szolgáltatók az ár csökkentése és saját profitjuk maximalizálása érdekében a legkisebb költségre törekszenek. A villamosenergia-szolgáltatás a vezetékszerkeztől adódóan természetes monopólium, ezért a villamos energia árképzését átláthatóvá kell tenni és az ármegállapítás törvényben meghatározott módon hatóságilag (államilag) történik. A villamos energia költségei két nagy csoportra oszthatók, az első csoportba a szolgáltatást végző berendezések meglétével, szolgáltatási képességének megőrzésével, üzemeltethetőségével kapcsolatos állandó költségei (fogyasztói kapacitásdíj), a második csoportba a tényleges üzemeltetés változó, döntően tüzelőanyag költségei (fogyasztói áramdíj) tartoznak.

A különböző erőmű-típusokkal előállítható 1 kW teljesítményű különböző kihasználási óraszám mellett vételezett villamosenergia költségét az 5. ábra mutatja. A legkisebb állandó költséggel a csúcsgázturbinák bírnak, ugyanakkor a 2400 óránál nagyobb kihasználásnál már az atomerőműnél is drágábban termelnek. Alaperőműként az import kőszénre, nehézzolajra épített erőmű a legkedvezőbb. Elterjedésüket a tüzelőanyag korlátozott hozzáférése (nehézzolaj) és a stratégiai kérdések korlátozhatják. Az atom- és ligniterőművet összehasonlítva mintegy 5300 óráig a ligniterőmű termel olcsóbban. Alaperőművi üzemmódban a nagy állandó költség mellett csak a kis változó költség. egységek gazdaságosak, míg csúcsüzemre csak kis állandó költségű egységek használata célszerű. Ezek gazdaságos kihasználási óraszámát a változó költség dönti el.

Mivel az állandó költséget mindenképpen ki kell fizetni, a rendszerszintű költségek minimalizálása érdekében először a legkisebb változó költségű egységeket terheljük, legvégül az adott fogyasztói igény kielégítéséhez még szükséges soron következő legkisebb változó költségű egység üzembevételére kerül sor. De elképzelhető olyan egység is, amely egész évben tartalékban áll, üzembevételére a tervezettnél kisebb fogyasztói igény, vagy a kevesebb üzemzavar miatt nem kerül sor. Az egységek közötti teherelosztás, az indítási sorrend meghatározásához az indítás-leállítás költségeit is figyelembe kell venni.



5. ábra

Hálózatok

A villamosenergia továbbítását, a rendszerek közötti kapcsolatot az átviteli hálózatok biztosítják. Az átviteli hálózatok együttműködő rendszere több különböző célú és feszültségű hierarchikusan összekapcsolódó rendszerből áll. A feszültségszinteket transzformátorok kötik össze. Az egyes feszültségszintek kiválasztása a szállítási távolság, a szállítandó mennyiség, a berendezéselemek ára és egységessége figyelembevételével optimalizálják. Az üzembiztonság mellett alapvető cél, hogy az elemek beruházási költségre, valamint az átvitel energiavesztesége és kiszolgálási költsége hosszú távon minimális legyen. A hazai rendszerben a következő típusú hálózatok szabályozott együttműködése valósul meg:

- alaphálózat, az ország legnagyobb feszültségű hálózat elemeinek együttműködő rendszere, (750-400-220 kV-os feszültségű távvezetékek és állomások), feladata a hazai nagy erőművek kooperációjának biztosítása, kapcsolattartás a szomszédos országok rendszereivel és az országon belüli nagy teljesítményű villamosenergia-szállítás, egy (az atomerőmű közelében két hálózati elem) kikapcsolódása a fogyasztói igények kielégítésére nincs hatással,

- főelosztóhálózat, feladata az áramszolgáltató társaságok belső együttműködésének, a szomszédos társaságokkal való kapcsolattartás biztosítása, nagyobb fogyasztói körzetekben a villamos energia szállítása, ipari nagyfogyasztók ellátása, feszültségszintje 120 kV, nagyrészt hurkolt kialakítású, a kisszámú sugaras elemtől eltekintve egy-egy vezeték kikapcsolása nincs befolyással a fogyasztók ellátására,

- középfeszültségű elosztóhálózat, feladata a villamosenergia továbbítás a főelosztóhálózati állomások mintegy 10-40 km-es körzetében 35-20-10 kV-os feszültségszinten a 0,4 kV-os fogyasztókat ellátó közép/kisfeszültségű transzformátor állomásokig, illetve a nagyobb teljesítményigényű ipari és mezőgazdasági fogyasztókig, sugarasan üzemel, egy-egy elem kiesése esetén a fogyasztók ellátása általában csak átkapcsolásokkal, üzemszünetekkel biztosítható,

- kisfeszültségű elosztóhálózat, feladata a lakossági kommunális kisfogyasztók ellátása 0,4 kV-os feszültségszinten, döntő része sugaras kialakítású.

Az állomások a hálózatelemek üzemszerű összekapcsolására, szétkapcsolására, javítás céljából történő leválasztására, üzemzavarok esetén védelmére szolgálnak. Az alaphálózatnak az erőművekkel, a nemzetközi rendszerekkel, valamint a fogyasztókkal való kapcsolatát vázlatosan a 6. ábra szemlélteti.

Az alaphálózat kisebb részrendszerekből fokozatosan alakult ki az elmúlt évtizedek során. A villamosenergia-ellátás első gócai az ipartelepek vagy a városok által létesített erőtelepek voltak. Az ipartelepek környezetében lévő települések villamos energiával való ellátása általában a befektetés gazdaságosságát javító tényező is volt. A helyi hálózatok kialakulása megelőzte az alaphálózattal is rendelkező összefüggő nagy hálózatrendszer kialakulását. Először a kisebb középfeszültségű, lokális hálózatok jelentek meg. Egyes nagyobb ipartelepek létrehoztak ugyan a villamosított körzetüket irányító központokat, ennek ellenére a hazai villamos hálózatot 1945-ig a kooperációs kapcsolatok hiánya, a sok helyi szolgáltató; a sokféle feszültségszint alkalmazása, más és más üzemviteli elvek érvényesítése jellemezte. A nagyobb feszültségű vezetékek közül alaphálózati jellege csak a Budapest-Bánhida-Horvátkimle 100 kV-os távvezetékeknek, valamint a Salgótarján és Szolnok közötti 50 kV-os távvezetékeknek volt. A középfeszültségű hálózatokon tíznél több fajta feszültségszint volt. A hazai alaphálózat kiépítése 100 kV-os feszültségszinten kezdődött. Az 1950-es évek elejéig ez a feszültség az országon belüli koordinációs feladatokhoz megfelelt. A 220 kV-os feszültségszint 1959-ben a csehszlovák kooperáció kapcsán jelent meg. Ezt követően belső célra is épültek 220 kV-os vezetékek, mivel úgy látszott, hogy a hazai 380-400 kV-os alaphálózat kiépítése nem gazdaságos. Több külföldi országban is ez a gyakorlat valósult meg. A villamos energia igények rohamos növekedésével a helyi elosztóhálózaton a 35/20 kV-os táppontok viszonylag hamar telítődtek. A 35/20 kV-os, ill. a 220/120 kV-os, két egymáshoz közeli feszültségszintből adódó műszaki és gazdaságossági problémák egyre

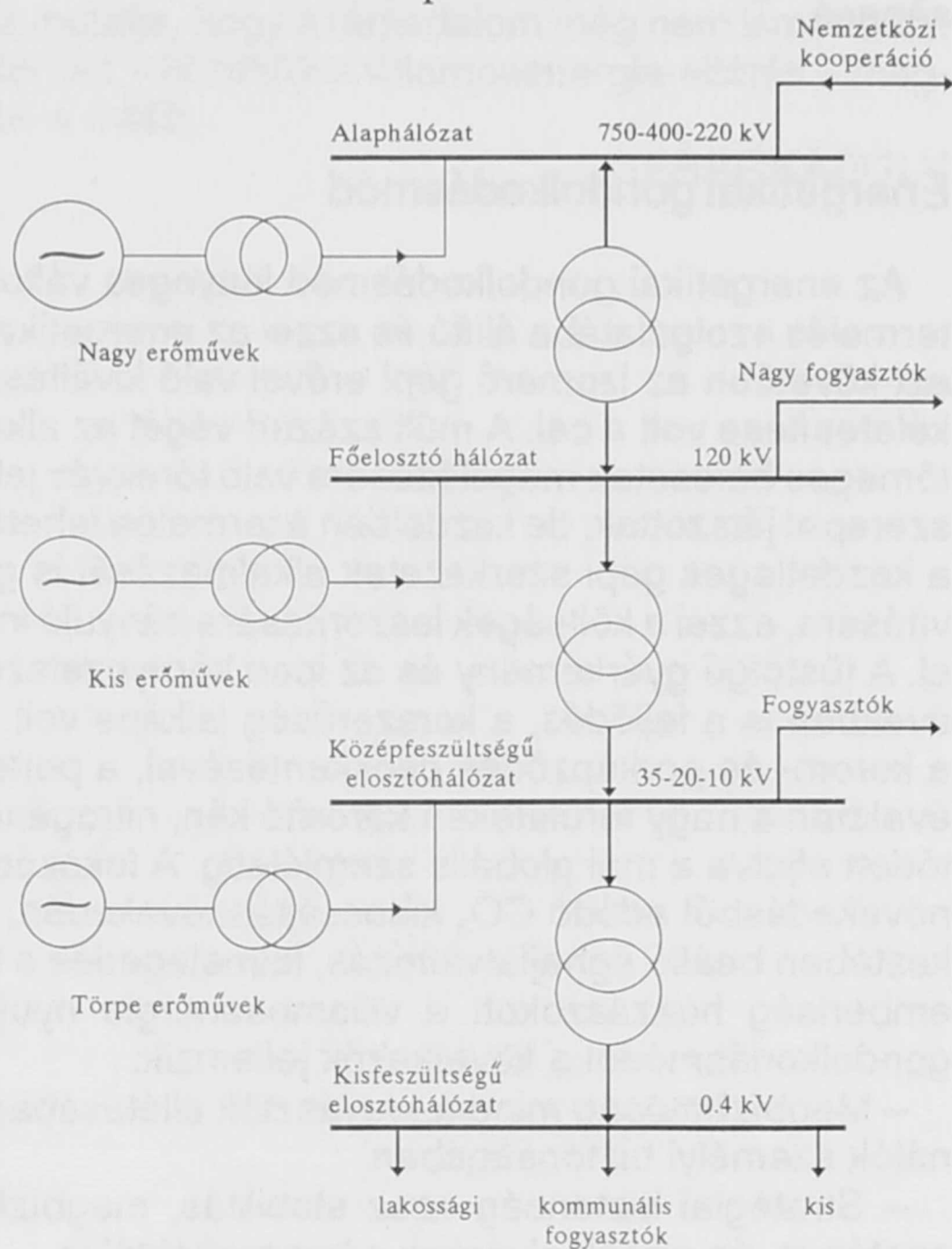
jobban kiütköztek. A célszerű feszültséglépcsőzés megválasztása ráirányította a figyelmet a 220 és 400 kV-os szint közelségére is.

A hosszú távú fejlesztést is optimálisan szolgáló feszültségrendszer megválasztására széles körű vizsgálatok indultak, amelyek az 1:3-hoz közeli feszültséglépcsőzési arányt mutatták a legcélszerűbbnek. Kitűnt, hogy a 120 kV és a 35 kV közti arány megfelelő ugyan, de a 220 kV és a 120 kV közötti, továbbá a 35 kV és a 20 kV közötti arány lényegesen eltér az optimumtól. E kérdés rendezésének első lépéseként tisztázásra került, hogy a 120 kV-ról közvetlenül a 35 kV-nál kisebb feszültségszintre a transzformáció műszakilag jól megoldható. Ezért a 120 kV-os feszültségszint fenntartását elhatározták, a 220 kV-os feszültségszint távlati szerepét felülvizsgálták. Bár ebben az időszakban a 400 kV-os hálózat elemei még drágák voltak, de a modellvizsgálatok szerint a 400/120/20 kV-os struktúrára való áttérés a távlatilag gazdaságos megoldás. Döntés született az országos alaphálózat 400 kV-os szinten történő kiépítésére az-
zal, hogy a már meglévő 220 kV-os hálózatelemek az eredeti feszültségszinten üzemeljenek tovább, bővítésére csak elkerülhetetlen esetekben kerüljön sor és hosszú távon a fokozatos megszüntetése a cél. Az első 400 kV-os vezeték 1969-ben a volt Szovjetunióból származó villamosenergia-import biztosítására Munkács-Göd között helyezték üzembe. A 400 kV-os alaphálózat kiépítés illeszkedik a környező országok hasonló elhatározásaihoz is. Ma már Európában mindenütt ilyen feszültségszintű hálózatok létesülnek, amely lényegesen segíti a szomszédos országok együttműködését is.

A korábbi Szovjetunióból a KGST országok felé irányuló 750 kV-os rendszer kiépítését tervezték. Ez az import növelését, valamint a nagyobb rendszerből származó közös előnyök kihasználását tette volna lehetővé. A távvezeték-rendszer első elemeként 1978-ban üzembe lépett a Zapadnopukrainszkaja-Albertirsa közötti 750 kV-os távvezeték. E távvezeték az albertirsai 750/400 kV-os állomással kapcsolódik a magyar és szlovák alaphálózathoz. A vezetékrendszer többi eleme a KGST felbomlása miatt nem került megépítésre.

A magyar villamosenergia-rendszernek valamennyi szomszédos országgal kapcsolata van, a kapcsolattartás jellegét alapvetően az határozza meg, hogy Magyarország jelenleg az egykori KGST országok egyesített villamosenergia-rendszerének tagjaként az-
zal szinkron üzemel. A nyugat-európai országok villamosenergia-rendszerének egyesüléséhez, az UCPTÉ-hez tartozó országokkal (Ausztria, volt Jugoszlávia) az együttműködés évtizedeken át sziget vagy irány üzemben volt az eltérő szinkron frekvencia miatt. Ezt jelentősen javította a közelmúltban üzembe helyezett Győr-Bécs 400 kV-os távvezeték és a hozzá kapcsolódó 600 MW kapacitású egyenáramú betét. Az egyenáramú betét a különböző frekvenciával üzemelő váltakozó áramú hálózatok együttműködését biztosítja. A korábbi nagyarányú importnak megfelelően a legerősebb, bár jelenleg kihasználatlan a rendszer keleti irányú összeköttetése (egy db 750, egy db 400 kV-os,

Az erőművek-hálózatok-fogyasztók kapcsolata



6. ábra

és 2 db 220 kV-os távvezeték). A továbbiakban újabb kapcsolatok kiépítését tervezzük északi, valamint dél-nyugati irányban. Ezt a kelet-európai országok UCPTÉ rendszerhez való csatlakozása, a keresztirányú energiatranszmisszió biztonságának növelése teszi szükségessé.

Energetikai gondolkodásmód

Az energetikai gondolkodásmód lényeges változásokon ment át. A gőzgépet az ipari termelés szolgálatába állító és ezzel az energetika alapjait megteremtő Watt korában és ezt követően az izomerő gépi erővel való kiváltása, az alkalmazás, ennek technikai tökéletesítése volt a cél. A múlt század végét az alkalmazás biztonságának a növelése, a tömeges balesetek megelőzésére való törekvés jellemezte. A költségek mindig lényeges szerepet játszottak, de kezdetben a termelési lehetőség bővülése, az ebből eredő haszon a kezdetleges gépi szerkezetek alkalmazását is gazdaságossá tette. Így a hatásfok javítására, ezzel a költségek leszorítására irányuló intenzív munka csak a században indult el. A füstölő gyárkémény és az ipari környezetszennyezés sok helyen még az ötvenes években is a fejlődés, a korszerűség jelképe volt. A környezetvédelem először helyileg a korom- és porképződés csökkentésével, a porleválasztással indult, majd a hetvenes években a nagy területeken károsító kén, nitrogénoxid kibocsátás mérséklésével folytatódott eljutva a mai globális szemléletig. A fokozódó energiatranszmisszióból, népességnövekedésből adódó CO₂ kibocsátásnövekedés, az esőerdők kiirtása az ennek következtében beálló éghajlatváltozás, felmelegedés a földi életet veszélyezteti, miközben az emberiség hozzácsokolt a villamosenergia nyújtotta előnyökhöz. A mai energetikai gondolkodásmódot a következők jellemzik:

- Megbízhatóság mind a fogyasztók ellátásában, mind az üzemi személyzet, felhasználók személyi biztonságában.
 - Stratégiai biztonság azaz stabilitás, megbízhatóság még rendkívüli körülmények esetén is, és ennek elvárása a beszállítóktól is.
 - Környezet minimális szennyezése, ehhez a legjobb hatásfokra, legkedvezőbb tüzelőanyagstruktúrára, a kor technikai színvonalának megfelelő technológiai berendezésekre, megújuló energiaforrások hasznosítására való törekvés.
 - Globális mind a tüzelőanyagstruktúra, mind a nemzetközi kapcsolatok, együttműködés tekintetében.
 - Hosszútávú a stratégiai, befektetési biztonság, a minimális rendszerszintű és fogyasztói költségek érdekében.
 - Nyitott a berendezések működési biztonságának, környezetkárosításának, költségeinek bemutatására, a társadalommal, közhatalommal való együttműködésre, utóbbiakat aktívan előmozdítja (PR tevékenység).
 - Hazai ipar támogatása azonos műszaki és gazdasági feltételek esetén.
 - Gazdasági és politikai stabilitás elősegítése a megbízhatósággal, kiszámíthatósággal, hosszútávú szemlélettel.
 - A helyileg előnyös megoldások elfogadása, támogatása, integrálása, versenytesztelése, központosítás csak a rendszer működéséhez, működtetéséhez, a minimális költségek eléréséhez szükséges mértékben.
- A villamosenergia-rendszer irányítói és dolgozói az előbbiek megvalósítására törek-szenek. Ugyanakkor a társadalom tagjainak is fel kell ismerniük és el kell fogadniuk, hogy a villamosenergia-rendszer a fogyasztók érdekében van, az egyes embereket közvetlenül és közvetetten érintő hatásokkal. Felelősek vagyunk
- nemcsak az egyénekért, hanem a társadalomért, nemcsak a jelenlegi, hanem a jövőbeli generációkért,
 - a kockázatokért, de nemcsak az energiaszolgáltatás hanem az energiakimaradás, hiány kockázataiért is,
 - a gazdasági hatásokért, nemcsak az iparág által közvetlenül vagy közvetetten foglalkoztatott munkavállalókon, felhasznált termékeken keresztül, hanem a villamosenergia előállítás költségekkel a társadalom gazdasági teljesítőképességét befolyásolva is.

Ezek ismeretében megdöbbentő, hogy az új Nemzeti Alaptanterv Tantervi alapelvei között az energiatermelés, energiahordozó anyagok hasznosítása, gazdaságos és környezetkímélő felhasználása csak a technikai ismeretek kultúrtörténeti és gazdaságtörténeti vonatkozásaiban szerepel. Ez mutatja, hogy a társadalom még nem ismerte fel, hogy az emberiség jövője az energiakérdés – közöttük a villamosenergia-ellátás – megbízható és környezetbarát megoldásán is múlik.

GERSE KÁROLY