

Kimpián Aladár<sup>1</sup>

## KÖZÖS ÁRAM? KÜLÖN ÁRAM?

Magyarország és szomszédai villamosenergia-rendszereinek kapcsolatai

### Műszaki és rendszerismereti bevezető

**K**evés dolog van a világon, amelynek szabatos, tudományos leírása annyira független a politikától, mint az elektromágneses tér. Tulajdonságait, viselkedését többek között Georg Simon Ohm közismert törvénye (1827), Michael Faraday indukciótörvénye (1831), Gustav Robert Kirchhoff törvényei (1845) és kristálytisztá elméleti formában James Clerk Maxwell egyenletei (1873) írják le, abszolút politikamentesen.

Kevés dolog van a világon, amelynek gyakorlati alkalmazásait (például villamos energia, számítástechnika, távközlés) annyira át- meg átszövi a politika, mint az elektromágneses térét.

Az elektromágneses tér egyik „testet öltött” formája a villamos energia. „Testet öltött”, mert bár tárgyi környezetünk szokásos érzékelési és leírási ismérvei – méret, tömeg, hőmérséklet, szín, illat – alkalmazhatatlanok rá, mindenki tudja, hogy létezik, nélküle mai civilizációnk nem működne. (Egyik áramszolgáltató társaságunk szlogenje: „Ha áram van, minden van.”)

A villamos energia, köznapián szólva az „áram” gyakorlati alkalmazása a XIX. század második felének egyik kolosszális vívmánya. Ezt a furcsa, nem látható, de elképzelhetetlenül sokféleképpen felhasználható energiafajtát kezdetben csak kis, elszigetelt termelők állították elő, méghozzá éppen annyit, amennyit a fogyasztók az adott pillanatban igényeltek. (Ez a műszaki és közgazdasági viszony ma is és fordítva is igaz: a fogyasztók csak annyi villamos energiát tudnak elfogyasztani, amennyit a termelők az adott pillanatban termelnek. Ma még nem ismert olyan eljárás, amellyel a váltakozó áramú villamos energiát nagy mennyiségben lehetne tárolni, miként tesszük ezt a kőolajjal vagy a gabonával.)

A XX. század első negyedében-harmadában alakultak ki azok a villamos távvezeték-hálózatok, amelyeken keresztül a váltakozó áramú villamos energia egyre nagyobb távolságra és egyre nagyobb mennyiségben volt szállítható. Ebben felülmúlhatatlan érdeme van annak a három magyar mérnöknek, a Ganz és Társa Villa-

mossági, Gép-, Waggon- és Hajógyár Rt. invenciózus és sikeres konstruktőreinek, Bláthy Ottó Titusznak, Déri Miksának és Zipernowsky Károlynak, akik 1885-ben feltalálták a zártvasmagú *transzformátort*, amely lehetővé teszi, hogy az áramfejlesztő generátorok által előállított villamos energia viszonylag kis, 10-20 kilovoltos (kV-os) feszültségét akár 120, 220, 400, sőt 750 kV-os nagyfeszültségre transzformáljuk. Ez azzal jár, hogy az áramerősséget (az amper) ugyanilyen arányban csökkentjük, így a távvezetékeken keletkező, az áramerősség négyzetével arányos, úgynevezett ohmos veszteség is négyzetesen csökken. (például tízszer akkora feszültség – tized akkora áram – század akkora veszteség.)

A váltakozó áramú villamos energiát a magyar Jedlik Ányos Benedek-rendi szerzetes fizikatanár által 1861-ben leírt öngerjesztéses dinamóelv alapján működő generátorokkal állítják elő, amelyeket különböző erőgépek (gőzgép, gőz-, gáz-, víz-, szélturbina, belsőégésű motor) hajtanak. A generátorok által termelt villamos áram feszültségét még az erőműben feltranszformálják, így a nagyfeszültségű távvezetékeken való szállítás elfogadható mértékű, 1-2%-os veszteséggel jár. A fogyasztási súlypontok közelében telepített alállomásokon a feszültséget lejjebb (10-20 kV-ra) transzformálják, és az innen induló elosztóhálózatokon keresztül juttatják el a villamos energiát a fogyasztói transzformátorokhoz, amelyek az egyes fogyasztói körzeteket ellátják a már közvetlenül felhasználható 400/230 V-os árammal.

A rohamléptekkel haladó villamosítás kezdetén a termelés-átvitel-elosztás-fogyasztás sémája roppant egyszerű volt: minden nagyobb fogyasztó magának állította elő a villanyt. Ahogy nőttek az igények, úgy terjedt el egyre szélesebb körben az emberi közösségek – a társadalom – egyik fő szervezőelve, a munkamegosztás; kialakultak a villamos energiát termelő, szállító, elosztó vállalkozások, majd vállalatok. Amint az emberek látták, hogy ez az új „valami” mily sokoldalúan használható, életre kelt Faraday jóslata, aki, mikor előadást tartott a Royal Society-ben az indukció-törvényről és az elnöklő tudós megkérdezte, hogy ez mire használható, így felelt: – Sir, úgy gondolom, hogy majd adót lehet kivetni rá.

Megindult a tőke, iparrá vált áramot termelni és eladni, és ezzel együtt megjelentek az áramszolgáltatás iránti minőségi igények. Már nem volt elég csak annyi áramtermelő egységet üzemeltetni, amennyi éppen kielégítette a fogyasztást, hanem gondoskodni kellett tartalékteljesítményről is. Már nem volt elég, ha egy folyamatos ellátást igénylő fogyasztót csak egy, kisebb-nagyobb gyakorisággal kieső erőmű, illetve távvezeték táplált, hanem szükség volt az erőművek és alállomások távvezetékekkel való összekapcsolására, hogy üzemzavar esetén kiegészítsék egymást: létrejöttek a hurkolt hálózatok, amelyeket már bizvást nevezhetünk helyi villamosenergia-rendszernek.

A XX. század 30-as, 40-es éveiben végbement a helyi villamosenergia-rendszerek összekapcsolása országos villamosenergia-rendszerre, ami szükségessé tette a rendszerirányítás megszervezését.

Amíg – egyszerűsítve – egy áramfejlesztő egy fogyasztót lát el, a termelést a fogyasztás napszaki, évszaki ingadozása szerint kell szabályozni (éjjel kisebb, nappal nagyobb, illetve nyáron kisebb, télen nagyobb az áramfogyasztás). Amint a különböző műszaki színvonalú, hatásfokú, teljesítményű erőművek a hurkolt távvezeték-hálózaton keresztül párhuzamosan üzemelnek, felmerül a gazdaságos terheléselosztás, más szóval a termelési menetrend kérdése. A legolcsóbban termelő, úgynevezett alaperőműveket célszerű állandóan járattani, a legdrágábban termelőket, az úgynevezett csúcserőműveket pedig csak a csúcsterhelési időszakban igénybe venni.

Ezt a feladatot végzi a német „Lastverteiler” szó tükörfordítását meghonosítva „teherelosztó”-nak nevezett üzemirányító szervezet.

A hurkolt hálózat elemeit, a távvezetékeket, erőátviteli transzformátorokat, alállomási kapcsoló-berendezéseket időnként tervszerűen ki kell kapcsolni karbantartás, felújítás végett, vagy a nem tervezett kikapcsolódást okozó üzemzavarokat sürgősen el kell hárítani. E műveleteket nem szabad ötletszerűen, egyeztetés nélkül végrehajtani, mert ez végzetesen meggyengíthetné a hálózatot, súlyos baleset, életveszélyhez vezetne. Ezért az említett műveleteket szigorúan koordinálni kell.

Nyilvánvaló, hogy az erőművek termelésének menetrend szerinti szabályozása elválaszthatatlan a hálózati elemeken végzett beavatkozások koordinálásától, így e két tevékenységet kezdetől fogva egy szervezet látta el.

Az ország egészére kiterjedő nemzeti villamosenergia-rendszerek kialakulása hamar elvezetett ezek összekapcsolásához nagyteherbírású nemzetközi, úgynevezett rendszerösszekötő távvezetékek által. Ezzel létrejöttek annak műszaki feltételei, hogy országos üzemzavar esetén a szomszédos országok kiségyítsék az üzemzavart szenvedettet, sőt arra is mód nyílt, hogy kölcsönös előnyök alapján egymásnak tervszerűen szállítsanak nagy mennyiségű villamos energiát. Hasonlóan az országos üzemirányító szervezet kialakulásához, a nemzeti villamosenergia-rendszerek egyesülése törvényszerűen vetette föl az ezek együttműködésének koordinálása, azaz a nemzetközi rendszerirányító szervezet(ek) létrehozása iránti igényt.

A XXI. század új kihívással köszöntött a villamosenergia-iparra: az eddigi, többé-kevésbé monopolisztikus villamosenergia-kereskedelmi rendszer át kell hogy adja helyét a piacnyitásnak, a szabad, plurális kereskedelemnek, méghozzá olyan körülmények között, hogy a termelés-szállítás-elosztás és fogyasztás fizikai feltételeit politikamentes természeti törvények határozzák meg, a villamosenergia-piac működését pedig nem lehet függetleníteni a piac általános, a természeti törvényekével azonos keménységű közgazdasági törvényeitől. Ezek békés, de nem konfliktusmentes egyeztetése, az egyéni-társadalmi-nemzetközi optimum kialakítása érdekében történő harmonizálása óriási kihívás mérnök, közgazdász, kereskedő, politikus számára egyaránt.

## Történelmi áttekintés

A történelmi Magyarország területén először 1884. november 12-én, Temesváron indult meg a közcélú áramszolgáltatás, ahol a városi villamos telep által táplált közvilágítást létesítettek.

A mai Magyarország területén először 1888-ban, Mátészalkán láttak el közvilágítást a távolabbi malom számára termelt árammal. 1890-ben Karánsebesen, 1892-ben Boros-Sebesen, Nagykanizsán és Szatmárnémetiben valósult meg közcélú áramszolgáltatás. A XIX. század utolsó évtizedében sorakozott fel a villamosításban élenjáró települések közé többek között Csáktornya, Kaposvár, Eger, Igló, Késmárk, Máramarossziget, Pécs, Eperjes, Salgótarján, Szeged, Zenta, Fiume, Kassa, Nagyszében, Szabadka, Szolnok, Arad, Kecskemét, Miskolc, Marosvásárhely, Gyulafehérvár [2, 77.].

Budapesten „csak” 1893-ban indult meg a közcélú villamosenergia-szolgáltatás. A Székesfehérváros 1892-ben versenytárgyalást hirdetett villamos világítás bevezetésére, amelyet két cég nyert meg. A Budapesti Általános Villamossági Rt. egyenáramú, a Magyar Villamossági Rt. váltakozó áramú rendszer létesítésére kapott lehetőséget. A szerződéseket 1893 májusában írták alá azzal, hogy az áramszolgáltatást egy év múlva meg kell kezdeni, de mindkét vállalat sietett bizonyítani, és már 1893. október végére elkészültek [2, 79.].

A XX. század első másfél évtizedében a magyarországi villamosítás fő területei a városi és elővárosi vontatás, a világítás és a gyáripari alkalmazások (malmok, fűrésztelepek, gépipari üzemek stb.) voltak. Az ellátás kezdetben az egy áramfejlesztő–egy fogyasztó, később az egy erőmű–sugaras fogyasztói vezetékek séma szerint történt, igen változatos áramnemű, fázisszámú, frekvenciájú (periódusszámú) és feszültségű rendszerekkel.

Az első világháború és a trianoni békeszerződés utáni sokkból lassan felépülve nőni kezdett a villamosenergia-fogyasztás, és a gazdaságossági és ellátásbiztonsági követelmények által kikényszerítve napirendre került a sok és sokféle áramellátó hálózat és rendszer egységesítésének és összekapcsolásának igénye. Ehhez szerencsésen – többek között Verebély Lászlónak (1883–1957), számos magyar energetikai létesítmény kezdeményezőjének, kivitelezése irányítójának, a Királyi József Műegyetem (ma Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem) professzorának ösztönzésére – a háromfázisú váltakozó áramú, 50 Hz frekvenciájú rendszert választották, amely később Európában és a világon másutt is egyeduralmukodóvá vált, megkönnyítve a villamos energetika fejlődésének egy későbbi szakaszában a nemzeti villamosenergia-rendszerek egyesítését.

Érdekes nyomon követni az áramfejlesztő generátorok és a villamos energiát szállító-elosztó szabadvezetékek és kábelek névleges feszültségének alakulását. Hamar fölismerték, hogy mivel az egyenáramot a korabeli eszközökkel nem lehetett

transzformálni, a generátor és a fogyasztó névleges feszültségének közel azonosnak kellett lennie. Ez a XIX. század utolsó évtizedében 100 és 250 volt között változott. Hozzájárult ehhez az is, hogy az egyenáramú rendszerben gyakran alkalmaztak az áramot akár óráig tárolni képes akkumulátorokat, többek között arra az esetre, ha az áramellátás üzemzavar miatt egy időre megszakad, például éjszakai műtét közben kialszik a műtőasztal fölötti lámpa. Ám az akkor (és most) használatos ólomakkumulátorok cellafeszültsége csak 2,2 V körüli, így például 220 V feszültség szolgáltatásához kereken 100 db sorba kapcsolt cella, s ehhez mennyi ólom és mennyi kénsav szükséges!

A fentiekén kívül számos egyéb műszaki probléma is oda hatott, hogy az áramtermelők és -fogyasztók egyre inkább az egyfázisú, majd – jelentős részben a Horvátországban született, szerb származású, a Grazi Műszaki Egyetemen és a Prágai Egyetemen tanuló, majd az Egyesült Államokban karriert csináló Nikola Tesla (1856–1943) találmányainak köszönhetően – a háromfázisú váltakozó áramra tértek át. Egyébként Tesla a háromfázisú váltakozó áram termelését és motorikus felhasználását lehetővé tevő felismerését, a forgó mágneses mező elvét budapesti működése alatt, az 1880-as évek elején írta le.

Nem kis részben a Ganz Villamosság Gyár és zseniális mérnökei, a zártvasmagú transzformátort feltaláló Bláthy, Déri és Ziperowsky műszaki és üzleti sikerei nyomán a századfordulóra a generátorok feszültsége elérte a 3000 V-ot, 1910-re pedig már a 10 kV-ot. Az ilyen feszültségű áramot továbbították távvezetéken a fogyasztóhoz, ahol azt letranszformálták a világításra, motorhajtásra közvetlenül felhasználható 100-200 V feszültségűre.

A villamos teljesítmény a feszültség és az áramerősség szorzata. Ha adott feszültségen nagyobb teljesítményt akarunk átvenni, arányosan nő az áramerősség, ám ezzel együtt négyzetesen nő az ohmos veszteség. Mivel a generátorfeszültség növelésének szigeteléstechikai korlátai vannak (ez a mai gépeknél sem nagyobb 30 kV-nál), a fogyasztók többsége pedig 220-230 V feszültséget igényel, az úgynevezett hálózati veszteség csökkentésének két fő módja van: növelni a vezetékek keresztmetszetét, vagy növelni az átviteli hálózat feszültségét. Az első lineárisan, a második négyzetes arányban csökkenti a hálózati veszteséget. Figyelemmel kell még lenni a feszültségcsökkentésre is, amely Ohm törvénye szerint az áramerősség és a vezetékellenállás szorzata, és ez sem lehet túlzottan nagy, mert akkor a fogyasztó fog panaszkodni, hogy a túl kicsi feszültség miatt nem elég nagy a televízió képe, vagy hogy erőtlen a kukoricadaráló. Ha tehát nagy villamos teljesítményt nagy távolságra akarunk szállítani, meg kell növelni az átviteli hálózat feszültségét. Ez persze nincs ingyen, a nagyobb feszültségű transzformátorok, villamos készülékek drágábbak, mint a kisebb feszültségűek. Könnyen belátható, hogy az ilyen döntések előtt sokváltozós optimumszámításokat kell végezni. Bízást mondhatjuk, hogy ezeket a számításokat minden ország energetikusai elvégezték, és függően az adott

ország villamosenergia-rendszerének körülményeitől, nagyjából azonos következtetésre jutottak.

E számítások azt eredményezték, hogy amikor Budapest Székesfőváros Elektromos Művei a fogyasztás növekedése miatt 1924-ben elhatározták a Kelenföldi Erőmű bővítését, ezzel együtt kidolgozták a korábbinál háromszor nagyobb feszültségű, 30 kV-os budapesti főelosztó hálózat tervét. (Hogy e döntés mennyire bátor és előrelátó volt, bizonyítja az is, hogy ez a feszültség szint több mint 80 évig szolgált.)

A minden újra fogékony és a Műegyetemen kitűnő képzést kapott magyar energetikusok rövid idő alatt két új feszültség szintet is meghonosítottak, és ezzel lehetővé vált az erőművektől nagyobb távolságra levő térségek áramellátása is. A Salgótarjáni Kőszénbánya Rt. beruházásaként az alföldi fogyasztók gazdaságosabb táplálására 1928-ban megépült a Salgótarján–Hatvan–Jászberény–Szolnok 60 kV-os távvezeték, majd az 1927-ben megalapított Magyar Dunántúli Villamossági Rt. 1930-ban üzembe helyezte a Budapest főváros északi részének áramellátását és a Budapest–Hegyeshalom–Bécs villamosított vasútvonal táplálását egyaránt szolgáló Bánhida–Budapest és Bánhida–Győr–Horvátkimle 100 kV-os távvezetékét.

Ezzel megvalósult Verebély László korszakalkotó elgondolásainak egy része, ő ugyanis már egy 1923-ban megjelent *Emlékirat Csonka-Magyarország energiagazdaságának megszervezéséről* című tanulmányában leírta egy nagyfeszültségű országos villamos hálózat tervét, amelyhez az energiaforrások – főleg a gyenge minőségű szenet adó bányák – közelébe telepített, jó hatásfokú erőművek csatlakoznak. Téziseinek időállóságára jellemző, hogy a tanulmányában szereplő nyolc országos jelentőségű erőműből hét később – jórészt már a második világháború után – az általa javasolt helyszínen épült meg [2, 167.].

További értéke 1923-as tanulmányának, hogy már akkor határozottan szorgalmazta a vasúti fővonalak villamosítását, hogy az 1920-as évek elejére kivérzett ország ne rossz hatásfokú gőzmozdonyokkal pöfögtesse el maradék életerejének nem csekély részét. A sors kegyetlen iróniája, hogy az általa javasoltak közül az észak-balatoni vasútvonal még ma sincs villamosítva.

A helyi fogyasztói igényeknél jóval nagyobb teljesítményű Bánhidai Erőmű és az onnan kiinduló távvezetékek létesítését ugyancsak a gyakorlati mérnöknek is kiemelkedő Verebély László vezette, aki egy 1935-ben írt tanulmányában példamutató előrelátással konkretizálta a közeljövő energetikai feladatait. Első teendőként azt javasolta, hogy a sokszor véletlenszerűen, a helyi érdekek által vezérelve kiépített, egymást megközelítő sugaras távvezetékeket a biztonságosabb ellátás érdekében kössék össze hurkokká, illetve gyűrűkké. Ezután pedig a kisebb helyi erőművek indokolt bővítésén túl Lőrinci térségében a közeli rózsaszentmártoni lignitre alapozva építeni kell egy legalább 100 megawatt teljesítményű, országos jelentőségű erőművet, melynek áramát 100 kV-os távvezetékek hálózatán keresztül kell elszállítani, elsősorban Budapestre és a gyorsan fejlődő észak-magyarországi iparvidékre. Java-

solta azt is, hogy a sokféle feszültség szint helyett kevesebb, optimálisan megválasztott értékkel, például 100, 35, 20 és 10 kV-tal, hierarchikusan épüljön ki az alap- és az elosztóhálózat. Elgondolásainak megvalósítása, például a Mátravidéki Erőmű és a hozzá csatlakozó távvezetékek építése az 1940-es évek elején megkezdődött, azonban a világháborús események miatt csak az újjáépítés során fejeződött be [2, 183.].

A nagyírú magyar térképészet kiváló teljesítménye a következő, 1930-as hálózati térkép, amelyen látható, milyen sokféle áram nemű, frekvenciájú, fázisszámú, feszültségű hálózatrészeket kellett integrálni a Verebély-féle koncepció megvalósításához.

### 1. ábra. Magyarország 1930-as hálózati térképe



Hol tartottak ekkor a szomszédos országok? Belső hálózatuk ugyanolyan logika alapján fejlődött, mint a magyar, de az országhatárok a távvezetékek számára átléphetetlenek bizonyultak. Pedig mily szervesen kapcsolhatott volna össze szomszédos, egymást kiegészítő, ugyanakkor egymással versengő gazdasági körzeteket egy-egy Győr–Bécs, Győr–Pozsony, Miskolc–Kassa, Debrecen–Nagyvárad, Békéscsaba–Arad vagy Szeged–Szabadka nagyfeszültségű távvezeték, a mögöttük termelő hő- és

vízerőművekkel! (Bár ezek fantáziaszülte példák, némelyikük évekkkel, sőt évtizedekkel később ugyan, de megvalósultak.)

A második világháború harci cselekményei súlyos károkat okoztak Magyarországon és főleg Budapest erőműveiben és hálózatában. A fővárosi Duna-hidak felrobbantásával csaknem teljesen megszakadt a kábel-összeköttetés a budai és a pesti oldal között. A hidakkal együtt a Duna alatti kábelalagutat is aláaknázták a német csapatok, de sikerült elérni, hogy a meder alatti szakaszt nem robbantották fel, csak a pesti oldali lejárót. A víz ugyan elöntötte az alagutat, de egy 10 kV-os kábel üzemképes maradt, amelyen keresztül a pesti oldal egyik épen maradt erőművéből késsőbb feszültséget tudtak adni a budai oldalon levő Kelenföldi Erőmű helyreállított részének újraindításához. (A helyreállításra azért volt szükség, mert amikor a szovjet csapatok elérték a telephelyet, a kezelőszemélyzetet olyan gyorsan elzavarták, hogy az erőmű kazánjait, szivattyúit és csövezetéseit vízteleníteni sem tudták, ezért azokban fagykárrok keletkeztek.) [2, 231. oldal] A Kelenföldi Erőmű környékén sokáig ide-oda mozgott a front. A pusztítás mértékére jellemző, hogy 1945. február 13-án, az ostrom végén a kereken 2700 km hosszú kábelhálózatból csupán 13 km, az 1200 km-es szabadvezeték-hálózatból mindössze 41 km maradt üzemképes [2, 223–224.].

Ami nem semmisült meg a háborúban, azt részben elhurcolták a visszavonuló német csapatok, részben háborús jóvátétel gyanánt leszerelték és a Szovjetunióba szállították. Így járt az 1945 elején próbaüzemét kezdő Mátravidéki Erőmű is. A magyar fél felajánlotta, hogy ugyanolyan új berendezéseket szállít, de ezt a szovjet fél nem fogadta el. Az erőmű gépeit leszerelték, a 100 kV-os szabadtéri állomás portáljait és a kicsatlakozó távvezeték oszlopait lángvágóval választották le az alapokról és vágták szét vasúton szállítható méretű darabokra. A rombolás értelmetlenségét fokozta, hogy az elszállított berendezéseket sehol sem állították fel, hanem azok a Szovjetunióban szétszóródva váltak az enyészet martalékává. Magyarország számára viszont elvesztek, így a Mátravidéki Erőművet másodszor is létre kellett hozni [2, 230.].

Vidéken különös sors várt a leszakadt távvezetékek réz áramvezető sodronyaira: leleményes emberek főleg szőlőskertek környékén rézgálicot készítettek belőlük [2, 225.].

A háborús pusztítás és a gazdasági összeomlást okozó hiperinfláció felszámolása után 1947. augusztus 1-jén kezdődött el az ország újjáépítéséről és a gazdaság tervszerű fejlesztéséről szóló hároméves terv, melynek témánk szempontjából fontos sarokpontjai az államosítás, az erőműveket és hálózatokat ért háborús károk felszámolása és a faluvillamosítás voltak.

Mint emlékeztetés, az 1950-ben a szovjet ötéves tervek mintájára beindított első ötéves terv fő célkitűzése az volt, hogy „hazánk váljon a vas és acél országává”. Érdekes módon ehhez azonban nem irányozták elő új nagyerőmű építését, mert azt



gondolták, hogy a meglevő erőművek egységes rendszerré való összekötése eredményez annyi tartalékteljesítményt, amennyi a nehézipar erőltetett ütemű fejlesztéséhez és a „békeharc”-hoz szükséges. Nem így történt! Az 1950-es évek elején mindennaposak voltak a fogyasztói korlátozások. Nyilvánvalóvá vált, hogy sürgősen erőművet kell építeni.

Ekkor olyan lehetőség adódott, hogy a cseh gépipar által Jugoszlávia részére gyártott, de a kialakult politikai helyzet miatt (emlékszünk Titóra, az imperialisták „láncos kutyájára”?) oda le nem szállított komplett erőművet Magyarország átvehette; ez lett az Inotai „November 7.” Erőmű, amely azért kapta ezt a nevet, mert első gépegységét 1951. november 7-én helyezték üzembe. Ez enyhítette a teljesítményhiányt.

E korszakot – nemcsak Magyarországon – a merev párt- és állami irányítás jellemezte, amely párosult a gyanakvással, a szakmai érvek figyelmen kívül hagyásával, a természetes zavarok mögött „az ellenség kezének”, a szabotázsok a keresésével és mindezek következményeként az ÁVH (Államvédelmi Hatóság) által fogantatott retorziókkal. (Idősebb kollégák mesélték, hogy a furfangosabb alállomásvezetők tartottak egy égett macskatemetet, amelyet kezelői hibás üzemzavar esetén fel tudtak mutatni az ÁVH-soknak: – Íme, ez okozta az üzemzavart.)

Mi történt a hálózatépítésben és -üzemeltetésben a hároméves és az első ötéves terv idején, 1947–1954 között? Verebély László elgondolásait megvalósítva, az ország iparosodottabb északi felén létrejött egy Miskolctól Győrig húzódó 100 kV-os távvezeték tengely, amelynek nagyteljesítményű betáplálásai a Mátravidéki, a Bánhidai, az Inotai és az Ajkai erőművek voltak, miközben Budapest nagy részét a Kelenföldi Erőmű látta el.

A következő oldali ábra mutatja az 1950-es magyar alaphálózatot (azaz a 100 és 60 kV-os távvezetéseket). Az ábrából még hiányzik az 1950-es évek elején megépült Mátra–Miskolc (Diósgyőr) 100 kV-os távvezeték.

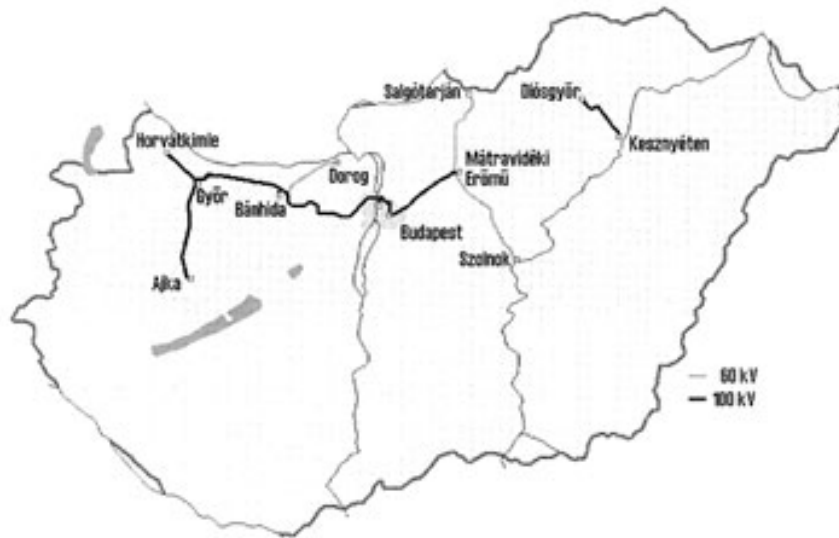
A gyorsan növekvő igényeket a kezdetben nagy átviteli képességűnek tekintett 100 kV-os távvezetéseket sem tudták kielégíteni, ezért 1953-ban Ratkovszky Ferenc, aki 24 évesen lett a Ganz Villamossági Gyár transzformátorszámítási osztályvezetője és 1941-től 1960-ig volt Budapest Székesfőváros Elektromos Műveinek vezérigazgatója, javasolta, hogy a névleges feszültséget növeljék 120 kV-ra. Ezt a szigetelésekben meglevő tartalék lehetővé tette, és az átvihető teljesítmény változatlan sodronykeresztmetszetek mellett 20%-kal megnőtt [2, 256].

A most már 120 kV-os hálózat az 1950-es évek első felében elérte Dunaújvárost (az akkori Sztálinvárost), Pécsset, a zalai olajvidéket (Söjtört), Kecskemétet, Szegedet, Debrecent [11, 32–35.].

Hogy ne ismétlődessen meg az országos korlátozásokhoz vezető teljesítményhiány, 1955–1957 között borsodi barnaszén eltüzelésére felépítették a Kazincbarcika (Berente) melletti, közel 200 MW teljesítményű Borsodi Erőművet, majd 1957–

1959 között az ugyancsak 200 MW-os Tiszapalkonyai Erőművet. Ezzel persze nem csökkent a termelési aszimmetria az ország északi és déli fele között, emiatt újabb távvezetékek építése vált szükségessé.

## 2. ábra. Az 1950-es magyar alaphálózat



Az erőművek és a hálózat gyarapodásával, valamint az 1948–1949-es totális államosítással együtt kellett járnia a villamosenergia-ipar irányítási átalakításának és a beruházói-tervezői-kivitelezői-üzemeltetői háttér bővítésének, illetve megteremtésének.

1949-ben a Iparügyi Minisztériumban Villamosenergia Főosztályt szerveztek (ezt később a Nehézipari Minisztérium Villamosenergia-ipari Igazgatóságává alakították át), és az államosított üzemekből létrehozták az egész országra kiterjedő Állami Villamos Energia Szolgáltató (ÁVESZ) Nemzeti Vállalatot (N. V.-t). Ugyanebben az évben megalapították a Távvezetéképítő N. V.-t, 1950-ben az Erőmű Tervező (Erőterv) N. V.-t, 1951-ben a Villamos Hálózat Tervező (Háterv) N.V.-t, az alaphálózatot üzemeltető Országos Villamos-távvezeték (Ovit) N. V.-t és az erőművi, alállomási és ipari villamos berendezéseket szerelő és előgyártó Villamos Erőmű Tervező és Szerelő (Vertesz) N. V.-t. Ugyanebben az évben megszüntették az ÁVESZ-t, és öt területi áramszolgáltató vállalatot alakítottak, amelyekhez hatodikként csatlakoztatták Budapest Főváros Elektromos Műveit [4].

Amint a 100, majd 120 kV-os távvezetékrendszer bővült és ezzel egyre közelebb került az országhatárhoz, úgy vált reálissá és az itthoni teljesítményhelyzet miatt

egyben szükségessé is az országhatárt átlépő kooperációs távvezetékek építése. Az első fecske a Kisigmánd–Nové Zámky/Érsekújvár 100/110 kV-os vezeték volt, amelyet 1943-ban helyeztek üzembe 24 kV-on azzal a céllal, hogy kisegítse a Duna bal partján fekvő Komárno/Komárom erőművét és javítsa a Csallóköz villamosenergia-ellátását. A háborús események következtében azonban ez az összeköttetés megszűnt. A háború után ennek közelében épült újjá a Kisigmánd( - Komárom)–Nové Zámky/Érsekújvár 120 kV-os távvezeték, amelyet 1952-ben helyeztek üzembe [11, 42–43.].

Mint már szó volt róla, az 1950-es évek elején nagy villamosenergia-hiány alakult ki Budapesten és az északi iparvidéken, szinte naponta kellett korlátozni a fogyasztókat. Áramot importálni Csehszlovákiából lehetett. Kézenfekvő volt, hogy az 1953 közepén üzembe helyezett Váci alállomástól induljon ki az a 120 kV-osként tervezett, de 220 kV-osra is átalakítható távvezeték, amely az akkor komoly csomópontnak számító Bystričany-i/Besztercsényi alállomáson csatlakozott a csehszlovák hálózathoz. (Később ez a vezeték magyar oldalon a Budapest északkeleti részét ellátó Zuglói alállomásig meghosszabbítva és 220 kV-ra áttérítve évtizedekig fontos eleme volt a KGST-országok egyesített villamosenergia-rendszerének.) [11, 43.]

Érdekes és újszerű műszaki feladatot jelentett az 1957-ben Söjtör és a jugoszláviai (horvátországi) Vara din/Varasd között megépített 120 kV-os távvezeték üzemeltetése. A jugoszláv villamosenergia-rendszer össze volt kapcsolva a nyugat-európai villamosenergia-rendszerrel (más szóval azzal szinkron üzemelt), míg a magyar rendszer – ilyen kapcsolata nem lévén – egyedül, hozzá képest aszinkron „járt”. A történelmi áttekintés elején már említettük, hogy a háromfázisú váltakozó áramú rendszer – Tesla nyomán – leképezhető egy forgó mágneses mezővel, melynek forgási frekvenciája 50 Hz (fizikailag precízen kifejezve forgásának szögsebessége  $2\pi \times 50 = 314/s$ ). Mind a magyar, mind a nyugat-európai rendszer névleges frekvenciája 50 Hz, de ha nincsenek összekötvé kellő átviteli képességű távvezeték(ek)kel, akkor az egyik rendszert leképező forgó mágneses mező „hajszálnyt” előresíthet, vagy hátramaradhat a másikéhoz képest, azaz nincsenek szinkronban egymással. Ugyanez a helyzet, amikor erőművi generátort a hálózatra akarunk kapcsolni. Ki kell várni azt a pillanatot, amikor a hálózat és a generátor forgó mágneses mezői ugyanabba az irányba mutatnak és fordulatszámuk pontosan ugyanakkora; ebben a pillanatban szabad és kell a generátort a hálózatra kapcsolni. Míg azonban a generátor fordulatszámát a meghajtó gép (például gőzturbina) szabályozásával finoman tudjuk változtatni, két független villamosenergia-rendszer esetén erre nincs közvetlen módunk. Mit tehetünk? Abban a pillanatban, amikor a két rendszer forgó mágneses mezői rövid időre – néhány másodpercre – egybeesnek, a meghatározott fogyasztói vagy termelői körzetet, úgynevezett „szigetet” rákapcsoljuk az idegen rendszerre, majd lekapcsoljuk a saját rendszerről. Ezt a folyamatot nevezzük megalakítójának, *Bendes Tibornak*, a Magyar Villamos Művek Országos Villamos Relé-

védelmi, Automatikai és Mérési Szolgálat a egykori vezetőjének kifejezését használva pszeudoszinkron átkapcsolásnak. Ilyen szigetüzemben lehetett ellátni Dél-nyugat-Magyarország fogyasztóinak egy részét a jugoszláv energiarendszerről, természetesen kölcsönösen előnyös gazdasági feltételekkel.

1960-ban tovább bővült a határmenti együttműködés Jugoszláviával: elkészült a Szeged–Subotica (Szabadka) 120 kV-os távvezeték. Mivel minden szomszédos országban ennek a feszültségosztálynak a névleges értéke 110 kV, ezért Varasdon és Szabadkán egyaránt be kellett építeni egy-egy 120/110 kV-os transzformátort.

A Csehszlovákia és Magyarország közötti áramszállítási kapacitás megnövelése érdekében a Vác–Bystričany 120 kV-os távvezetékét 1960-ban átalakították 220 kV-ossá, egyben meghosszabbították az akkori idők legnagyobb állomásáig, Zuglóiig.

A névleges feszültség megduplázása azonban nemcsak az irányszállítások növelését tette lehetővé, hanem azt is, hogy az ilyen feszültségű távvezetékkel összekapcsolt nemzeti villamosenergia-rendszerek egységes, együttműködő rendszer-egyesülést alkossanak. Egy 220 kV-os távvezeték átviteli képessége a 120 kV-oséhoz képest 3-4-szer nagyobb, 400-500 MW is lehet, ami alkalmassá teszi arra, hogy az irányszállításon felül azokat a teljesítménylengéseket is elviselje, amelyek egy nagy rendszerben üzemzavarkor az egyes országok között fellépnek.

Az a nemzeti villamosenergia-rendszer, amelyben a termelés tartósan kisebb, mint a fogyasztás, állandó importra szorul. Szerencse, ha van a szomszédok között olyan, aki hosszú távú áramszállításra tud vállalkozni. Magyarország esetében ilyen volt a Szovjetunió, amelynek nyugat-ukrajnai részrendszerében teljesítmény-felesleg volt, így a Mukacsevo-i/Munkácsi 400/220/110 kV-os állomás a Magyarországra, de éppígy a Csehszlovákiába és Romániába irányuló szállítások kiinduló pontjául szolgálhatott.

1962. augusztus 18-án került üzembe a Munkács–Sajószöged kétrendszerű 220 kV-os távvezeték, ezzel a Sajószögedi 220/120 kV-os állomás az ország keleti villamosenergia-kapujává vált.

A nemzeti villamosenergia-rendszerek fejlődése törvényszerűen elvezet ezek műszaki és irányítási integrációjához, amint történt ez Nyugat-Európában, ahol már az 1950-es években létrehozták az UCPTE-t (Union pour la Coordination de Production et de Transmission d'Électricité).

Így minőségi változás állott be öt kelet-európai szocialista ország – a Szovjetunió, Csehszlovákia, Lengyelország, Magyarország és a Német Demokratikus Köztársaság (az NDK) – villamos energetikai együttműködésében is, amikor 1962 decemberében Prágában aláírták a villamosenergia-rendszereik egyesítéséről és a prágai Központi Teherelosztó – a szakmában közismert nevén CDU (Центральное Диспетчерское Управление, rövidítve ÖÁÓ) – létrehozásáról szóló egyezményt. Ebben szovjet részről a nagyjából Lvovtól nyugatra eső terület energiarendszere vett részt [7].

Magyarország számára az egyezményhez való csatlakozás azt jelentette, hogy egyrészt keleti villamosenergia-importunk nemzetközi keretekbe ágyazódott, ezáltal biztonsága megnőtt, másrészt saját rendszerünk üzemzavara, például teljesítményhiánya esetén garantált, szerződészerű kiegészítésre számíthattunk a többi tagország részéről, ezáltal el lehetett kerülni minden áramszolgáltató rémét, a fogyasztói korlátozást. Ez nagy gazdasági előnnyel is járt, mert egyfelől az import villamos energia olcsóbb volt, mint az itthon előállítottak az átlagára, másfelől az üzemzavari kiegészítés ugyan drágább, mint a tervszerűen szállított áram, de még így is sokszorosan (10-20-szor) olcsóbb, mint a nem szolgáltatott áram. Az egyezményhez 1963-ban csatlakozott Románia, majd 1965-ben Bulgária is.

A CDU-együtműködés első, 1978-ig számított szakaszában a tagországok villamosenergia-termelése és fogyasztása 3,1-szeresére, kölcsönös szállításaik 7,6-szeresükre növekedtek.

A hazai gazdasági fejlődés extenzív időszakában, az 1960-as években ugrásszerűen növekedett a magyar nehézvegyipar, elsősorban a műtrágyagyártás és a kőolaj-feldolgozás. Ez utóbbi végtermékét, a gudront, más néven pakurát erőműben tüzelik el. Erre épült fel első ütemben 600 MW teljesítménnyel a százhalombattai Dunamenti Hőerőmű, amely hosszú ideig legnagyobb kapacitású erőművünk volt.

Ezekben az években a villamosenergia-fogyasztás exponenciálisan, évente 7-8 %-kal növekedett, azaz tíz évenként megkétszereződött. Ekkora tempóban nem gyarapodott az erőművi teljesítmény, ezért újra növelni kellett az importot. A forrás ismét a Szovjetunió volt. A 750 MW-ra emelt import behozatalához azonban már nem volt elég a 220 kV-os feszültség szint, hanem eggyel nagyobbra volt szükség. 1965 és 1968 között hazai tervek alapján, magyar anyagokból, berendezésekkel és kivitelezésben megépült a Munkács–Göd 400 kV-os távvezeték és a Gödi 400/220/120 kV-os alállomás, amely szilárdan alátámasztotta Budapest ellátását, egyben erősítette nemzetközi hálózati kapcsolatainkat.

Ugyancsak 1968-ban készült el első nyugat-európai kapcsolatunk, a Győr–Wien Südost, Neusiedl/Neusiedler kétrendszerű 220 kV-os magyar–osztrák távvezeték. Az 1968. május 1-jén megindult villamosenergia-csere úgy bonyolódott le, hogy nappal és az esti áramfogyasztási csúcs idején Ausztria táplálta szigetüzemben az észak-dunántúli fogyasztók egy részét, éjjel pedig az Oroszlányi Erőmű kijelölt gépegysége táplált ki Ausztriába irányüzemben. Mivel az osztrákok UCPTÉ-frekvencián üzemeltek, mi meg CDU-frekvencián, és a két nagy rendszeregyesülést – akkor még – nem lehetett közvetlenül összekapcsolni, a szigetüzem-irányüzem váltásokat a már korábban ismerttetett, szellemes Bendes-féle pszeudoszinkron automatikával hajtottuk végre.

Az 1960-as évek második felében újabb energetikai nagyberuházás indult: a jelentős mennyiségű, kulfejtésesen bányászható visontai lignitre telepített 800 MW-os

Visontai/Gagarin/Mátrai Erőmű, amely a közeli Detki alállomáson keresztül 220 és 120 kV-on táplál be a hálózatba.

Az 1970-es évek elején nagy horderejű iparpolitikai döntés volt a szovjet kőolaj-import megnövelése és ennek következtében a Dunamenti Erőmű bővítése 6 db 215 MW teljesítményű blokkal, melyeknek főberendezései a kazánok kivételével (ezek a csehszlovákiai Tlmace-i/Garamtolmácsi Kazángyárban készültek) a hazai energetikai gépgyártás termékei voltak. A termelt villamos energiát 220 kV-os távvezetékek szállították az átviteli hálózatba.

A magyar–csehszlovák átviteli keresztmetszet növelésére 1972-ben üzembe került a Göd–Országhatár(-Levice/Léva) 400 kV-os távvezeték, amely 2-3-szoros kapacitása révén átvette a korábbi Zugló–Göd–Országhatár(-Bystričany) 220 kV-os távvezeték szerepét is, így ez utóbbit később részben le lehetett bontani, illetve 120 kV-on hasznosítani.

Az 1972-es emlékezetes olajválság csak mérsékelte az áramfogyasztás növekedési ütemét, és mivel az iparpolitikai vita arról, hogy elég korszerű-e a Szovjetunióból államközi szerződés alapján vásárolni szándékozott atomerőmű, a beruházás elhalasztásához vezetett, és a további import kőolaj felhasználására tervezett 860 MW-os Tiszai Erőmű csak az 1980-as évek elejére készülhetett el, 1975-ben határozni kellett arról, miként fedezzük a szinte változatlan áramfogyasztási növekményt. A döntés ismét úgy szólt, hogy növelni kell a szovjet villamosenergia-importot, azonban ennek műszaki és beruházási feltételei már nem lehettek ugyanolyanok, mint a korábbiakéi.

Ahhoz, hogy Magyarország újabb 600 MW-tal megnövelhesse behozatalát, a nyugat-ukrajnai térségben már nem volt elegendő erőművi kapacitás; az újabb villanyért messzebbre, keletebbre kellett menni. Szakmailag helyesebben fogalmazva: a Szovjetunió úgy tudta vállalni a magyar többletszállítást, és ezzel együtt a Csehszlovákiába és az NDK-ba irányuló 200, illetve 250 MW exportot, ha előbb megtörténik a szovjet belső hálózat megerősítése, azaz a Donyec-medencétől a közép-ukrajnai Vinnyicáig már elkészült 750 kV-os nagykapacitású távvezeték tovább épül a Lvovtól délkeletre levő Zapadnoukrainszkaja alállomásig, s mivel a többletszállítás túlnyomó része Magyarországé, tovább a magyar fél által kijelölendő fogadóállomásig.

Körütekintő és gyors vizsgálat után a Budapesttől 50 km-re DK-re levő Albertirsára esett a választás, így az 1975 decemberében Moszkvában aláírt Egyezmény már a Vinnyica–Albertirsa 750 kV-os távvezeteki összeköttetés megépítésében való részvételtől szólt. Ezzel Kanada, a Szovjetunió és az Egyesült Államok után Magyarország lett a negyedik a világon, amely ilyen feszültségű objektumot épít.

Meg kell említeni az ilyen nagytávolságú energiaátvitel érdekes velejáróját, az úgynevezett rendszerközi hatást. Amikor a Donyec-medencében véget ér a napi csúcsterhelési időszak, akkor a tőle 1600 km-rel nyugatabbra levő Albertirsán a két-

órás időeltolódás miatt még tart. Ez azt jelenti, hogy az ukrán erőműveket nem kell visszaszabályozni, hanem a helyben föl nem használt teljesítményt tovább küldhetik nyugat felé; más szóval az egyes országok energiarendszereinek párhuzamos (szinkron) üzemében terhelési menetrendjeik együttes összege kisebb, mintha a külön járó nemzeti energiarendszerek menetrendjeit összegezzük. Ez a különbség – megtakarítás – a rendszerközi hatás első összetevője. A második összetevő – szintén megtakarítás – abból adódik, hogy rendszer egyesítés esetén az egyes nemzeti energiarendszereknek együttesen kevesebb úgynevezett forgótartalékot (üzemben levő, de a névlegesnél kevésbé terhelt, azaz bármikor további teljesítmény leadására képes gépegységet) kell tartaniuk.

Minthogy a rendszerközi hatást a párhuzamos üzemben részt vevő valamennyi ország élvezi, logikus volt a gondolat, hogy ezt az óriási beruházást sokoldalú finanszírozással bonyolítsák le. Így a szovjet területen épülő objektumok költségét nagyobb részben a Szovjetunió, kisebb részben Bulgária, Csehszlovákia, Lengyelország és az NDK, a magyar területen levőket nagyobb részben Magyarország, kisebb részben a többi négy ország állta, az Egyezményben pontosan meghatározott arányokban. Törleszteni a külkereskedelmi áruforgalomban szokásos termékekkel is lehetett, de például Csehszlovákia a magyar féllel szembeni tartozását a legkeményebb komplex szolgáltatással, az Albertirsa-Göd kétrendszerű 400 kV-os távvezeték megépítésével ellentételezte.

Románia kezdetben jelezte, hogy igényt tart 100 MW szovjet importra, később azonban visszalépett. A számára biztosított 100 MW-os szállítást Magyarország vette át. Az Albertirsai alállomás építése 1975 júniusában, villamostechnológiai szerelése 1977 tavaszán, a 750 kV-os távvezeték 268,1 km-es magyar szakaszának építése 1975 szeptemberében kezdődött, első feszültség alá helyezésük 1978. november 4-én történt.

A 750 kV-os összeköttetés műszaki kiviteli terveit részben szovjet mintatervek alapján az Erőterv készítette, a távvezeték a szovjet egysapkás üvegszigetelők kivételével magyar anyagokból az Ovit építette, az Albertirsai alállomás építőipari kivitelezését a 22. sz. Állami Építőipari Vállalat végezte, óriástranzformátorait és kénhexafluorid szigetelésű 400 kV-os kapcsolóberendezését a Ganz Villamossági Művek gyártotta és szerelte, a 750 kV-os alállomási főberendezéseket szovjet szerelésvezetéssel az Ovit és a Vertesz szerelte föl.

A Zapadnoukrajnszkaja–Albertirsa 750 kV-os összeköttetést először 1978. december 4-én helyezték feszültség alá, ezután több mint másfél hónapig rendkívül érdekes kétoldali tudományos mérések folytak az összekapcsolt rendszerek statikus és dinamikus viselkedésének vizsgálatára. A Szovjetunió Egységes Energiarendszere és a KGST-országok Egyesített Energiarendszere közötti párhuzamos üzemre és az Általános Egyezmény szerinti tervszerű szállításoknak, valamint a rendszerközi hatás realizálásának megkezdésére 1979. január végén került sor. A

szovjet–magyar 750 kV-os összeköttetésen keresztül az üzemidő első 15 évében, a Szovjetunió megszűnéséig kerekén 100 milliárd kilowattóra (kWh) villamos energiát vételeztünk, a csúcsterhelés időnként elérte a 2000 MW-ot.

Érdemes megemlíteni, hogy különösen a párhuzamos üzem első időszakában főleg a belső szovjet hálózat viszonylagos gyengesége folytán, időnként pedig a szovjet erőművek tüzelőanyag-, illetve teljesítményhiánya miatt gyakran előfordult úgynevezett metszékbomlás, illetve -bontás, azaz időlegesen megszűnt a két nagy rendszeregyesülés közötti párhuzamos üzem, ami a CDU-tagországok szempontjából a szovjet import egy részének elvesztésével járt. Ezt mind a prágai Központi Teherelosztó, mind a nemzeti teherelosztók nehezen tudták kiszabályozni. Gyakori jelenség volt, hogy a frekvencia nem érte el az 50 Hz-et, sőt a 49,5 Hz-et sem. Emiatt késtek pl. a villamos szinkronórák, de lassabban forogtak a gyárak váltakozó áramú motorjai is, ami a termelés lassulását okozta.

Mindez nem csökkenti érdemben a 750 kV-os rendszerösszeköttetés jelentőségét. Nem rekordhajhászásról volt szó, amit az is mutat, hogy 1984-ben üzembe jött a Hmelnickaja Atomerőmű–Rzeszów szovjet–lengyel, 1986-ban a Juzsnouk-rainszkaja Atomerőmű–Isaccea szovjet–román és 1987-ben az Isaccea–Várna román–bolgár 750 kV-os összeköttetés, kialakítva egy olyan perspektivikus gerinchálózatot, amelyen már a XXI. század várhatóan nagyvolumenű kereskedelmi szállításai is lebonyolíthatók lesznek. Ezen kívül a világ számos országában, például Brazíliában, Venezuelában, Dél-Afrikában, Indiában, Dél-Koreában tértek és térnek át erre a feszültségszintre, ha nagy teljesítményt kell nagy távolságra szállítani.

Miközben folyt a 750 kV-os összeköttetés előkészítése, újra indult az eddigi legnagyobb hazai energetikai beruházás, a Paksi Atomerőmű építése, 4 db, egyenként 440 MW-os nyomottvizes reaktorral. A halasztás nem okozott elviselhetetlen teljesítményhiányt a magyar villamosenergia-rendszerben, mert a 750 kV-os összeköttetés határidőre üzembe került, viszont jól tett az atomerőmű biztonságának és minőségének. Pakson alakult ki a magyar átviteli hálózat legnagyobb 400 kV-os hálózati csomópontja is. Ma a Paksi Atomerőmű az ország legolcsóbban termelő áramfejlesztője.

A 750 kV-os állami nagyberuházáshoz természetesen hozzátartozott az importált villamos energia továbbszállítására szolgáló hazai 400 kV-os hálózat bővítése: a már említett Albertirsa–Göd kétrendszeres távvezetéken kívül az Albertirsa–Martonvásár, a Paks Sándorfalva és a Győr–Országhatár(-Podunajské Biskupice/Pozsonypüspöki) új távvezetékek megépítése, valamint a Martonvásár–Paks–Toponár 400 kV-ra szigetelt, ideiglenesen 120 kV-on üzemelő, illetve a Martonvásár–Litér és a Győr–Litér ugyancsak 400 kV-ra szigetelt, ideiglenesen 220 kV-on üzemelő távvezetékek áttérítése 400 kV-ra. Ilyen volumenű hálózatépítésre mindössze 3 év alatt sem azelőtt, sem azóta nem került sor Magyarországon. Így az 1980-as évek elejére kialakult az a 750-400-220 kV-os átviteli hálózat, amely képes volt a nagyerőművek



(Paks, Dunamenti, Tiszai, Mátrai) teljesítményét, valamint az importot megbízhatóan elszállítani a 120 kV-os fogyasztói csomópontokba.

Megállhatott-e itt a magyar villamosenergia-rendszer fejlesztése? Le kell szögezünk, hogy a KGST-országok villamosenergia-rendszereinek egyesülésével való több évtizedes párhuzamos járás, főleg pedig a Szovjetunióból importált nagy mennyiségű villamos energia biztosította a magyar nemzetgazdaság extenzív-félintenzív fejlődéséhez szükséges energetikai feltételeket. De tárgyilagosan értékelve a helyzetet, azt is meg kell állapítanunk, hogy ez az együttműködés kedvezőtlen következményekkel is járt:

- hálózati kapcsolataink kifejezetten erősek voltak a KGST-országok és gyengék a nyugat-európai országok rendszeregyesülése, az UCPTÉ irányában;
- túl nagy volt a villamosenergia-import hányada és ennek a Szovjetuniótól való egyoldalú függése;
- a villamosenergia-ellátás minőségi jellemzői nem feleltek meg a korszerű nyugat-európai normáknak.

Siettette az új orientáció gazdasági és műszaki alapjainak lerakását, hogy határozott jelei mutatkoztak annak, hogy a Szovjetunió a gazdasági megroppanás felé sodródik, a KGST pedig fel fog oszlani. További muníciót adott, hogy Magyarország, de a többi volt szocialista ország is a politikai rendszerváltoztatással a tőkés piacgazdaság mellett kötelezte el magát, ezzel pedig nem fért össze a csupán Kelet-Európára szorítókozó villamos-energetikai kapcsolat.

Első lépésként Csehország, Lengyelország, Magyarország és Szlovákia 1990–1991-ben bejelentette csatlakozási szándékát az UCPTÉ-hez. A szervezet a csatlakozni kívánó országokkal szomszédos UCPTÉ-tag villamosenergia-rendszerek vezetőiből bizottságot hozott létre, amely 1992-ben megfogalmazta azt a követelményrendszert (a szakmában bevett német elnevezéssel „Maßnahmenkatalog”-ot), amelynek kielégítése esetén az UCPTÉ-vel való párhuzamos üzem megfelelő rendszerpróbák után megvalósítható.

A négy ország az egyre szorosabbra fűzött együttműködést 1992. október 11-én a Centrel nevű egyesülésben intézményesítette, miközben még tagjai voltak a CDU Tanácsnak.

1993-ban elsősorban az orosz belső válság következtében a Szovjetunió Egységes Energiarendszeréből és a CDU-tagországok Egyesített Energiarendszeréből álló társulás három részre esett szét: a keleti orosz területre, az ukrainai és a vele párhuzamosan járó bolgár részre, valamint a Centrel-re, amellyel párhuzamosan járt a volt NDK energiarendszere, a VEAG. A Centrel-hez kapcsolódott még egy kis, mintegy 1000 MW-os nyugat-ukrán sziget. Ekkor Románia a többiektől szeparálva, egyedül üzemelt [8].

Ebben a helyzetben a Centrel-országok a Maßnahmenkatalog egyre több követelményét tudták tartósan teljesíteni, mígnem 1995. október 18-án megkezdődhetett az UCPTÉ-vel való párhuzamos próbaüzem, melynek sikere következtében a négy Centrel-ország 1999. január 1-jén megkapta az UCPTÉ társult tagsági státust [9–10].

A nyugat-európai piacnyitás során a villamosenergia-termelés gyorsan kikerült a központi irányítás alól és e téren egyre inkább a piac szabályai érvényesültek. Ez abban is megnyilvánult, hogy a közismert ötbetűs rövidítésből kikerült a P (production/termelés), és a 2001. május 17-i közgyűlésen a szervezet tagjai, azaz a tagországok rendszerirányító és -üzemeltető társaságainak képviselői, köztük a Centrel-országokéi, már egy új szervezetet, az UCTÉ-t (Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity) hozták létre, amelynek immár a hazánkat képviselő Magyar Villamos Művek is teljes jogú tagja.

Miközben a magyar energetikai diplomácia nagy és sikeres erőfeszítéseket tett azért, hogy a magyar villamosenergia-rendszert átirányítsa a keleti CDU-tagságból a nyugati UCTÉ-tagságba, nem pihentek a távvezetékek és alállomások beruházói, tervezői, kivitelezői és üzemeltetői sem. A XX. század utolsó és a XXI. század első éveiben szinte minden átviteli hálózati alállomás primer és szekunder rekonstrukción esett át, azaz 20-30 éves nagyfeszültségű kapcsolóberendezéseiket a legmodernebbekre cserélték, a védelmi, irányítástechnikai készülékeket a távolból, akár egy koncentrált kezelőközpontból való megfigyelésre és működtetésre is alkalmas, folyamatirányító számítógépen és mikroprocesszorokon alapuló komplex berendezésekkel váltották föl, egyre többet gépesítve a bonyolult kapcsolási folyamatokból, csökkentve az emberi hiba lehetőségét.

Új 400 kV-os nemzetközi és belső távvezetékek épültek, mint például Jugoszlávia felé a Sándorfalva–Szabadka, Ausztria felé a Győr–Wien Südost, Horvátország és Szlovénia felé a Hévíz–erjavinec távvezetékek, illetve a Paks–Litér, az Albertirsa–Békéscsaba, a Sándorfalva–Békéscsaba, a Paks–Pécs és a Győr–Szombathely belső távvezetékek. Mai átviteli hálózatunk látható a következő oldali ábrán.

Új 400 kV-os összeköttetések tervei készülnek, mint például a Hévíz–Szombathely, a Martonvásár–Győr, az Albertirsa–Martonvásár II. belső, illetve a Pécs–Horvátország (Ernestinovo/Ernöháza), a Békéscsaba–Románia (Oradea/Nagyvárad, Arad), a Hévíz–Szlovénia (valószínűleg Maribor vagy Cirkovce), a Sajóivánka–Szlovákia (Rimavská Sobota /Rimaszombat vagy Moldava nad Bodvou/Szepesi) nemzetközi távvezetékeké. Ha ezek megépülnek, Magyarország olyan tekintélyes átviteli kapacitással fog rendelkezni minden szomszédunk irányában, hogy méltók leszünk az Europäische Stromdrehscheibe (európai áram-fordítókorong) címre, amely gazdaság-előnnyel is járhat.

Ma Európában jelentős észak-déli teljesítményáramlások vannak, mint például a lengyel–olasz tranzit, 1000 MW-os nagyságrendben. (Ennek nem csekély része a

magyar–szlovák 400 kV-os távvezetékeken, döntően a Gabčíkovo/Bős–Győr–Litér–Hévíz–erjavinec útvonalon folyik Olaszország felé.) Ha ezek rajtunk keresztül, de gyenge hálózaton át folynak, akkor ezt túlterhelik, és a távvezeték a túlterhelés-védelem kikapcsolhatja, megszakítva ezzel nemcsak a túlterhelést okozó tranzitot, de a tervszerű hazai szállítást is. Ha ellenben erős hálózat néz szembe a tranzittal, akkor „elfér” a vezetéken a belső szállítás mellett a fizika árameloszlási törvényei (a Kirchhoff-törvények) által meghatározott tranzit is. A magyar villamosenergia-ipar szakértői – szoros együttműködésben európai kollégáikkal – olyan nemzetközi szállítási rend kialakításán fáradoznak, amely a tényleges tranzit-áramlások pontos előrejelzését valósítja meg.

**3. ábra. A magyar átviteli hálózat 2006-ban a nemzetközi összeköttetésekkel és a tervezett fejlesztésekkel**



Az Európai Unió kiemelten kezeli a tagországok belső árampiacának megnyitását, legkésőbb 2008-ban. Várható, hogy a tőkeerős áramkereskedők minél nagyobb piaci részesedésre fognak törekedni.

Hozhat-e ez a verseny lényeges villamosenergia-árcsökkenést? Egyfelől igen, mert a klasszikus piaci verseny egyik, több évszázados eszköze aláigérni a versenytárs árának. Másfelől nem, mert mindinkább nyilvánvaló, hogy az európai árampiac egyre kevésbé kínálati, hanem egyre inkább keresleti. Ennek okai valószínűleg a következők:

- Bár Nyugat-Európából az energiafalu – kissé finomabban az energiaigényes – iparágak egyre keletebbre költöznek, ennek határt szabhat a Kelet befogadóképessége, illetve ezen iparágak munkássága és alkalmazotti állománya, akik munkahelyük elvesztésétől félve nyomást képesek gyakorolni a tulajdonosokra és a kormányokra a folyamat lassítása érdekében. Ugyanakkor belátható, hogy az ipar áttelepítésének stratégiai kockázati határai is vannak, az egyre terjedelmesebb és összetettebb szállítási rendszerek összeomlászerű üzemzavaraitól az egyes helyeken már-már elviselhetetlen környezeti terhelésen keresztül a nemzetközi terrorizmusig.
- A globális felmelegedés rémétől és részben már tényétől félve ugrásszerűen nő a légkondicionálás iránti igény, amely nemcsak a villamosenergia-rendszer wattos, hanem meddő terhelését is növeli.
- Az import kőolajtól és földgáztól való függést a legtöbb uniós tagország igyekszik mérsékelni, azaz az ezekből előállítható villamos energia mennyisége sem növelhető korlátlanul.
- Egyes meghatározó országokban erős az atomenergia-ellenes lobbizás, így az atom-áram-kínálat gyors feladására sem lehet számítani.
- A kerekén 400.000 megawatt kapacitású UCTE villamosenergia-rendszerben a következő években több tízezer MW erőművi kapacitást kell előregedés miatt üzemem kívül helyezni és pótlásukról gondoskodni, ami óriási tőkét igényel, amely, ha már befektették, igyekszik minél hamarabb megtérülni. Miből? Olcsó áramból aligha.
- Marad tehát az energiatakarékosság, de jó idő el fog telni, amíg az alapvetően fogyasztói társadalmak felismerik ennek kikerülhetetlenségét.

Egyszóval a villamosenergia-piac teljes liberalizálásától aligha várható az áramár lényeges csökkenése. E pesszimista tablóban hol lehet kitörési pontokat találni Magyarországon és szomszédai számára? A válasz kézenfekvő: egymás műszaki és közgazdasági helyzetének minél teljesebb megismerésében, érdekeink kulturált képviselésében és a kínálgató apróbb-nagyobb lehetőségek azonnali, határozott megragadásában, azaz az együttműködésben, így, jelző nélkül.

## Összefoglalás

Áttekintve a magyar erősáramú elektrotechnika és a belőle kinőtt villamos energetika közel 150 éves fejlődését, megállapíthatjuk, hogy az többnyire előbbre járt, mint a társadalmi igények, és csak tragikus politikai események (világháború, esztelen diktatúra) borították fel az összhangot. A szomszéd országokkal való egyre szorosabb energetikai kapcsolat pedig egyértelműen hordozza a feleletet a címben feltett kérdésre: **közös áram!**

## Köszönetnyilvánítás

A szerző köszönetet mond Almási Kristófnak, Csuka Györgynek, Feleki Zoltánnak, Kapás Mihálynak és Tuza Józsefnek, a MAVIR Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító ZRt. munkatársainak a hazai és az európai rendszerirányítással kapcsolatos irodalmak rendelkezésre bocsátásáért és értékes tanácsaikért.

## Felhasznált irodalom

- Simonyi Károly: A fizika kultúrtörténete a kezdetektől 1990-ig. Negyedik, átdolgozott kiadás. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1998.
- Dr. Horváth Tibor–Dr. Jeszenszky Sándor: A magyar elektrotechnika története. Alapításának 100 éves évfordulójára kiadja a Magyar Elektrotechnikai Egyesület, Budapest, 2000.
- A Magyar Elektrotechnikai Egyesület története. Kiadja a Magyar Elektrotechnikai Egyesület. Felelős szerkesztő: Barki Kálmán. Budapest. Kézirat lezárva: 1999. december 30.
- Kerényi A. Ödön: A magyar villamosenergia-ipar története 1888–2005. Tények és személyes élmények. Budapest, 2006.
- Sitkei Gyula: A magyar villamosenergia-rendszer üzemirányításának története. Magyar Elektrotechnikai Múzeum, Budapest, 2004.
- Geschichte der Elektrotechnik 12. Energie – Information – Innovation. 100 Jahre Verband Deutscher Elektrotechniker. Dr. phil. Horst A. Wessel (Hrsg.). Aches VDE-Kolloquium am 22. Januar 1993 anlässlich des VDE-Kongresses 1993 in Berlin. vde-verlag gmbh, Berlin und Offenbach, 1993.
- Центральное Диспетчерское Управление 1962-1982. 20 лет работы Центрального Диспетчерского Управления Объединенных Энергетических Систем 1962–1982. Central Dispatching Organization 1962-1982. 20 Years of Activity of the Central Dispatching Organization of the Interconnected Power Systems (IPS) 1962-1982. Ďdřár-Prague, 1983.
- ÖÄÓ – 40 лет 1962-2002. 40 лет работы Центрального Диспетчерского Управления Объединенных Энергетических Систем 1962-2002. CDO – 40 Years 1962–2002. 40 Years of Activity of the Central Dispatching Organization of the Interconnected Power Systems 1962–1982. CDO, Perlová 1, 110 00 Praha, Czech Republic.
- MVM-CENTREL-UCPTE. Kiadja és terjeszti a Magyar Villamos Művek Rt. 1011 Budapest, Vám u. 5–7. Felelős kiadó: Lengyel Gyula vezérigazgató. Felelős szerkesztő: Reguly Zoltán. Budapest, 1995.
- Feleki Zoltán, Galambos László, Reguly Zoltán: A magyar villamosenergia-rendszer az UCTE teljes jogú tagja. A Magyar Villamos Művek közleményei. Budapest, 2001/3. [10]
- 1949 Ovit 1999. 50 év a magyar villamos energetikában. Szerkesztők: Király Gyula és Papp Katalin. Vállalati kiadvány, Budapest, 1999. [11]

## Jegyzetek

<sup>1</sup> Kimpián Aladár okl. villamosmérnök, ny. üzemviteli operatív főmérnök, főtanácsos (MAVIR ZRt.)