

A magyarországi villamosenergia-rendszer alaphálózati sérüléseinek hatása az ország nemzetközi energiafüggőségére

A villamosenergia-hálózat az egyes országok működésének alap-infrastruktúráját jelenti, hiszen napjainkban szinte minden árammal működik. Emiatt rendkívül fontos esetleges különleges jogrendi időszak esetén az energiatermelés önellátására felkészülni. Ezért kérdésként merül fel, hogy Magyarország egyáltalán elő tudja-e a jelenlegi erőművi kapacitásával állítani azt a mennyiségű villamos energiát, amely ehhez szükséges. Tanulmányunkban számba vesszük a nyilvánosan elérhető források alapján az ország erőművi helyzetét, az export- és importadatok, valamint termelési és fogyasztási adatok alapján pedig megvizsgáljuk az önellátás biztosítottóságát.

Kulcsszavak: villamos energia, áram, erőmű, export, import, fogyasztás

THE EFFECT OF THE DISRUPTIONS OF THE ELECTRIC POWER CORE NETWORK OF HUNGARY ON THE INTERNATIONAL ENERGY DEPENDENCE OF THE COUNTRY

The electric power network is probably the most fundamental infrastructure of a country, since nowadays almost everything depends on electricity. Therefore, it is of crucial importance to be prepared for self-supply in a case of national emergency. Thus, the question arises if Hungary can produce the amount of electricity needed for this with the present capacity of its power plants. In our paper, by using publicly available sources, we survey the power plant situation of Hungary, the export and import data as well as the data regarding the production and consumption and by these we analyse the possibility of self-supply.

Keywords: electric power, electricity, power plant, export, import, consumption

Bevezetés

Modern nyugati technikai társadalmunk egyre égetőbb problémája (a vízhiány mellett) a fokozódó energiafüggőség. Évről évre több energiát használunk fel, aminek látványos szelete a korábban alacsonyabb nyári villamosáram-fogyasztás szintjének a téli értékkel való kiegyenlítődése a légkondicionáló berendezések elterjedtével. Ezen fokozódó energiafelhasználást újabb erőművek építésével,

illetve importból próbáljuk fedezni (bár ez utóbbi szintén erőművek meglétét feltételezi, csak külföldön). Magyarország energiatermelésében még mindig túlnyomórészt a fosszilis energiahordozókra alapuló erőművek adják a termelés jelentős részét, több mint 85%-át.

Ahogy azonban például 2009 januárjában Oroszország és Ukrajna gázvitája miatt (Oroszország nem adott el Ukrajnának földgázt, de Ukrajna a területén áthaladó gázvezetékeket megsapolta, és ezért Oroszország gyakorlatilag teljesen leállította az Európába irányuló földgázszállítást) az importfüggés súlyos gazdasági zavarokat okozott, ez a helyzet a villamos áram esetében is előállhat.

2024 első félévében a Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zrt. (a továbbiakban: MAVIR) teljes exportja 8474 GWh, míg teljes importja 10 727 GWh volt 14 968 GWh teljes erőművi termelés mellett,¹ ami azt jelenti, hogy az ország teljes energiafelhasználásának 13%-át importból fedeztük. Magyarország tehát szomszédai energiatermelésétől függ. Ez a körülmény, vagyis hogy nem voltunk önellátók (és esetleg nettó exportőrök), két dolgot jelenthet. Lehetséges, hogy meglenne a szükséges erőművi kapacitás a magyarországi felhasználók igényeinek fedezésére, azonban az így megtermelt áram drágább lenne, mint az importból beszerezhető, ezért jobban megéri külföldről vásárolni, mint magunknak előállítani. Hasonló ez az USA olajtermeléséhez, amelyről piaci elemzők azt prognosztizálták, hogy az elkövetkezendő évtizedekben emelkedni fog, ugyanis sok olyan mező található az országban, amely a jelenlegi technológiákkal nem termelhető ki gazdaságosan, azonban a jövőben a technológia fejlődése (és a jelenlegi mezők kimerülése miatt) meg fogja érni kitermelni azokat a készleteket is.²

A pesszimistább lehetőség, hogy Magyarországnak nincs is meg ahhoz a szükséges erőművi kapacitása, hogy a felhasználói igényeket ki tudja elégíteni; ebben az esetben viszont külföldi kitértegről van szó, ami nemzetbiztonsági kockázatot jelent.

Mivel a villamosenergia-hálózat a létfontosságú rendszerek és létesítmények azonosításáról, kijelöléséről és védelméről szóló 2012. évi CLXVI. tv. alapján létfontosságú rendszerelem [régi nevén kritikus infrastruktúra, lásd 2080/2008 (VI. 30.) Korm. hat. a Kritikus Infrastruktúra Védelem Nemzeti Programjáról], hiszen működőképessége alapvetően befolyásolja az ország működését, ezért az önellátás lehetőségének valójában a rendszer részének kell lennie. Kutatásunkban ezért megvizsgáljuk a fent megfogalmazott kérdést: képes-e a magyar

¹ MAVIR [f].

² Portfolió 2012.

villamosenergia-termelés az önellátásra, meg tudják-e termelni a hazai erőművek az ország fogyasztási igényét?

Célkitűzés

Tanulmányunk célja, hogy áttekintő képet nyújtson a magyar villamosenergia-rendszer önellátási képességéről, különös tekintettel az import és az export arányára, valamint a határmetszéki áramlások szerepére. Ehhez kizárólag nyílt forrásokat használunk fel, ami ugyan némi torzítást ad az eredményekhez, de ez pozitív jellegű torzítás, azaz a valóság a publikusan elérhető adatoknál rosszabb nem lehet. A vizsgálat során felmérjük, hogy Magyarország milyen mértékben támaszkodik külföldi energiaforrásokra, illetve hogy a hazai termelés mennyiben képes fedezni az ország villamosenergia-igényét. Ehhez figyelembe vesszük nemcsak az átlagos fogyasztási igényeket, hanem az időszaki (akár napi szintű) kiugró igényeket is, hogy a kutatás konklúziója ne csak átlagosan, hanem minden időpontra igazolható legyen.

Vizsgálatunk további célja annak megértése, hogy a határkeresztező kapacitásokon keresztüli áramlások milyen hatással vannak a rendszer stabilitására, és hogy egy-egy csatlakozás kiesése milyen mértékben okozna problémát az energiaellátásban, illetve hogy milyen intézkedések szükségesek az ilyen jellegű kockázatok minimalizálásához. Ez magában foglalja annak vizsgálatát is, hogy Magyarország képes-e hosszabb távon csökkenteni importfüggőségét, és milyen lépések szükségesek az önellátás növeléséhez, ezzel biztosítva a rendszer rugalmasságát és megbízhatóságát akár a nemzetközi áramlások kedvezőtlen változásai esetén is.

Adatforrások

A tanulmány alapjául szolgáló adatok a MAVIR nyilvános adatszolgáltatásából származnak. A MAVIR feladata, hogy biztosítsa a villamosenergia-rendszer biztonságos és megbízható működését, továbbá felelős az országos villamosenergia-ellátás egyensúlyáért, a fogyasztás és a termelés folyamatos kiegyenlítéséért, valamint a nemzetközi villamosenergia-kereskedelem hatékony lebonyolításáért. A MAVIR központi szerepet tölt be a magyar villamosenergia-piacon, és felügyeli a hálózati infrastruktúra fenntartását, valamint a villamosenergia-áramlások kezelését a határkeresztező kapacitásokon keresztül. A társaság ezenfelül felelős a rendszerirányítás

és piaci szabályozási feladatok ellátásáért, amelyek elengedhetetlenek a hazai energia-ellátás biztonságának szavatolásához. A MAVIR a közép-európai régióban is jelentős szerepet játszik, együttműködve más országok rendszerirányítóival a határon átnyúló villamosenergia-kereskedelem és a regionális ellátásbiztonság biztosítása érdekében.

Az adatokat a MAVIR hivatalos honlapján (mavir.hu), bizonyos mennyiségek esetében akár perces bontásban teszi folyamatosan elérhetővé, ahonnan azok különböző formátumokban (például XLSX, CSV) letölthetők.³ Ezek az adatok rendkívül sokfélék és részletesek, továbbá átfogó képet nyújtanak a magyar villamosenergia-rendszer működéséről, beleértve a hálózati terhelést, az erőművi termelést, az országos villamosenergia-felhasználást, valamint a határmetszékeken keresztüli áramlásokat. Az adatok átlátható és könnyen kezelhető formátumban állnak rendelkezésre, ami lehetővé teszi azok hatékony feldolgozását és elemzését.

A vizsgálat során használt adatokat több kategóriában gyűjtöttük össze. Ide tartoznak a határmetszéki áramlási adatok, amelyek a tervezett és a megvalósult import- és exportmennyiségeket mutatják.⁴ A rendszerterhelés terv- és tényadatai (bruttó és nettó) az országos fogyasztás és termelés alakulását tükrözik.⁵ Emellett az erőművi termelés és a villamosenergia-felhasználás adatai is alapvető fontosságúak voltak az elemzés során, mivel ezek biztosítják a rendszer kiegyensúlyozottságának és az önellátás szintjének mélyreható vizsgálatát.⁶

Az adatok időbeli felbontása fontos szempont volt a kutatás során. Az adatokat 2019. január 1-jéig visszamenőleg gyűjtöttük egyórás bontásban, amely elegendő részletességet biztosít a tendenciák és a minták elemzéséhez, elkerülve a túlságosan részletes, nehezebben kezelhető adatmennyiséget. Bár a MAVIR lehetőséget nyújt az adatok sokkal finomabb felbontású letöltésére is, ez jelentősen megnöveli az adatok feldolgozási idejét, miközben az egyórás bontás már elegendő alapot szolgáltat a rendszer működésének elemzéséhez és a kutatási célokban kitűzött eredmények meghatározásához.

A MAVIR hivatalos honlapján a hazai erőművek termelési adatai csak összesített formában érhetők el, és nem található részletes lista az egyes erőművekről, a MAVIR 2022-ben átfogó jelentést adott ki a magyar villamosenergia-rendszerről.⁷ Ez a jelentés részletes információkat tartalmaz mind a nagy-, mind a kiserőművekről, beleértve azok földrajzi helyzetét, típusát és teljesítményét. A jelentésben

³ MAVIR [b].

⁴ MAVIR [c]; [f].

⁵ MAVIR [d].

⁶ MAVIR [e].

⁷ MAVIR–MEKH 2022.

szereplő adatok több esetben eltérnek a szolgáltatók által közölt információktól, azonban a MAVIR által közzétett adatokat tekintettük hivatalosnak. Az összesített eltérések mértéke nem haladja meg a 2%-ot, így az elemzés során érdemi különbséget ez nem jelent, a végső konklúzióra nincsen hatással.

A termelési kapacitások ismerete kulcsfontosságú az önellátás vizsgálata szempontjából, ezért a tanulmányban részletes erőművi információkat is felhasználtunk. Ezeket az adatokat a VER 2022 jelentés, valamint más nyilvánosan elérhető adatbázisok és szakmai jelentések alapján gyűjtöttük össze. Ezek az adatok elengedhetetlenek voltak ahhoz, hogy átfogó képet alkothassunk a magyar villamosenergia-termelési portfólióról, és pontosabban elemezhessük az egyes erőművek hozzájárulását az országos termeléshez. Így a tanulmányban nemcsak a MAVIR által biztosított összesített termelési értékek szerepelnek, hanem mélyebben is elemeztük az erőművi struktúrát és annak hatását a magyar villamosenergia-rendszer önellátási képességére.

Összességében a MAVIR által közzétett adatok megbízható és részletes forrást jelentenek a magyar villamosenergia-rendszer vizsgálatához. A MAVIR-tól és az egyéb forrásokból származó adatállományok lehetővé tették, hogy átfogó képet alkothassunk a rendszer működéséről, különösen az erőművi termelés, a felhasználás, valamint a határmetszéki áramlások vonatkozásában. Ezek az adatok alapvetően hozzájárultak a tanulmány készítéséhez, és biztosították, hogy a magyar villamosenergia-rendszer önellátási képességeiről hiteles és pontos következtetéseket vonhassunk le.

A nyers adatok feldolgozása

Az előző fejezetben említett nyers adatokat alapos feldolgozásnak kellett alávetni, hogy elemzésre alkalmasakká váljanak. Az adatok összesítése, átalakítása, szükség esetén tisztítása és szűrése elengedhetetlen volt ahhoz, hogy a rendelkezésre álló információk értelmezhetők és használhatók legyenek az elemzési folyamat során. A feldolgozás eredményeként az adatokat olyan struktúrába rendeztük, amely lehetővé tette azok részletes vizsgálatát és elemzését.

A szükséges műveleteket Python kód segítségével hajtottuk végre, a Pandas könyvtár használatával. A Pandas⁸ lehetőséget biztosított arra, hogy az adatokat

⁸ A Pandas nyílt forráskódú adatkezelő könyvtár, amelyet széles körben használnak adatfeldolgozási és elemzési feladatokhoz a Python programozási nyelvben. A Pandas lehetővé teszi a strukturált adatok egyszerű kezelését, beleértve a nagy mennyiségű adat hatékony olvasását, írását, manipulálását

könnyen kezelhető és áttekinthető Excel-fájl formájában exportáljuk, amely lehetővé tette a további elemzéseket, valamint a következtetések levonását. A feldolgozott adatok nemcsak az elemzés elvégzését könnyítették meg, hanem kiváló kiindulási alapot is jelentettek további kutatásokhoz.

Az adatok változókba szervezése nemcsak az elemzési folyamat hatékonyságát növelte, hanem lehetővé tette a dinamikus adatkezelést is, amely lényeges volt az esetleges forrásadatok változásakor. A Python és a Pandas könyvtár használatával az adatok olyan változókba kerültek, amelyek logikai szegmensekre bontották az információkat. Ez a módszer lehetővé tette, hogy az adatokat könnyen módosíthassuk vagy frissíthessük anélkül, hogy az egész elemzési folyamatot újra kellene indítani.

Amikor egy forrásadat frissült, például új adatok váltak elérhetővé vagy a meglévők módosultak, a változók segítségével ezek az új adatok gyorsan integrálhatók voltak az elemzési folyamatba. Ezáltal az újrafeldolgozás folyamata jelentősen leegyszerűsödött: elegendő volt csupán a releváns változókat frissíteni, és az automatikusan továbbgyűrűzött a teljes elemzési folyamaton. Ez a rugalmasság különösen értékesnek bizonyult az olyan helyzetekben, amikor a forrásadatok eltéréseket mutattak, vagy újabb és pontosabb információk váltak elérhetővé.

Erőművek

Az elemzés során kiemelt figyelmet fordítottunk mind a nagy-,⁹ mind a kiserőművek¹⁰ termelési kapacitására, mivel ezek együtt alkotják a magyar villamosenergia-rendszer gerincét. A különböző méretű erőművek hozzájárulása fontos szerepet játszik az ország energiaellátásában, és nagyban befolyásolja az önellátási képességet. A nagyobb erőművek, például a nukleáris és fosszilis tüzelőanyagú létesítmények általában a rendszer alapvető terhelésének biztosításában vesznek részt, míg a kiserőművek, amelyek közé tartoznak a helyi, decentralizált energiatermelők is, a hálózat rugalmasságát és az energiaellátás biztonságát segítik.

és elemzését. A könyvtár számos beépített funkcióval rendelkezik, amelyek segítségével az adatok szűrése, csoportosítása, összesítése és átalakítása gyorsan és hatékonyan végezhető el. Az adatok kezelésére szolgáló eszközei különösen hasznosak a nagy, komplex adathalmazokkal végzett munka során, mivel lehetővé teszik az adatok logikai rendezését és átláthatóvá tételét. A Pandas segítségével könnyedén alakíthatók az adatok különböző formátumokba, és az így létrehozott táblázatok könnyen integrálhatók más elemzési eszközökkel is.

⁹ 50 MW fölötti beépített teljesítőképességgel.

¹⁰ 50 MW alatti beépített teljesítőképességgel. GYÓRFI–HÜGYECZ 2020.

Az önellátás szempontjából azonban nemcsak a termelési kapacitás nagysága, hanem a folyamatos rendelkezésre állás és a tervezhetőség is kulcsfontosságú tényező. Az energiarendszer stabil működése megköveteli, hogy a termelési kapacitások ne csak maximálisan kihasználhatók legyenek, hanem megbízhatóan rendelkezésre is álljanak a nap minden órájában, az év minden napján. Éppen ezért számításaink során kizárólag a tervezhető maximális kapacitásokkal dolgoztunk, nem pedig az abszolút maximummal. Ez azt jelenti, hogy a nap- és szél erőműveket, amelyek termelése időjárásfüggő és ezért kiszámíthatatlanabb, nem vettük figyelembe az önellátási számításokban. Ugyanakkor azt is meg kell jegyezni, hogy a naperőművek által megtermelt villamos energia már nem elhanyagolható, különösen mivel éves szinten folyamatosan nő a termelési kapacitás mértéke, és egyre több háztartásban is telepítenek ilyen háztartási méretű kiserőműveket (HMKE).¹¹

Az ilyen típusú, megújuló energiaforrásokra épülő erőművek kimaradása a számításokból nem jelenti azt, hogy ezek ne lennének fontosak a magyar villamosenergia-rendszer számára. Éppen ellenkezőleg, hosszú távon ezek a források jelentős szerepet játszanak a fenntartható energiatermelésben és a környezeti terhelés csökkentésében. Azonban az önellátási képesség vizsgálata során a hangsúlyt azoknak az erőműveknek a kapacitására helyeztük, amelyek a legnagyobb biztonsággal, folyamatosan képesek energiát termelni, így biztosítva a rendszer stabilitását és megbízhatóságát.

Hazánkban összesen 14 nagyerőmű található, amelyek együttes teljesítménye 5637 MW.¹² Ezek az erőművek alkotják a magyar villamosenergia-rendszer alapját, biztosítva az országos energiaellátás meghatározó részét (12.1. táblázat). Mind közül kiemelkedik a paksi atomerőmű, amely 2000 MW-os termelési kapacitásával a teljes termelés több mint 30%-át adja, ezzel a legnagyobb szereplő a hazai energiatermelésben. A többi nagyerőmű között is jelentős kapacitások találhatók, mint például a Mátrai Erőmű 920 MW-tal és a Dunamenti Erőmű 770 MW-tal, amelyek szintén meghatározóak az ország energiaellátásában.

Az erőművek által felhasznált fűtőanyagok is változatosak, és jelentős hatással vannak az energiaellátás stabilitására és fenntarthatóságára. A paksi atomerőmű nukleáris fűtőanyaggal működik, amely nagy mennyiségű folyamatos energia-termelést biztosít alacsony szén-dioxid-kibocsátással. A Mátrai Erőmű lignitet használ, amely bőségesen rendelkezésre áll, de jelentős környezeti terhelést jelent.

¹¹ Csatlakozási teljesítménye egy csatlakozási ponton nem haladja meg az 50 kVA értéket.

¹² BUKTA 2022; MVM [é. n.]; PALEJ [é. n.]; Veolia Hungary [b].

12.1. táblázat. *A hazai nagyerőművek termelési kapacitása*

Erőmű	Rendelkezésre álló teljesítőképesség (MW)
<i>MVM Paksi Atomerőmű Zrt. (paksi atomerőmű)</i>	2026,6
<i>Dunamenti Erőmű Zrt. (Dunamenti Erőmű G1)</i>	145
<i>Dunamenti Erőmű Zrt. (Dunamenti Erőmű G2)</i>	218,4
<i>Dunamenti Erőmű Zrt. (Dunamenti Erőmű G3)</i>	407,7
<i>MVM Mátra Energia Zrt. (Mátrai Erőmű) I.</i>	170
<i>MVM Mátra Energia Zrt. (Mátrai Erőmű) II.</i>	684
<i>MVM Mátra Energia Zrt. (Mátrai Erőmű) GT</i>	66
<i>Uniper Hungary Kft. (gőnyűi kombinált ciklusú erőmű)</i>	433
<i>Alpiq Csepel Kft. (csepeli erőmű)</i>	395,1
<i>Budapesti Erőmű Zrt. (Kelenföldi Erőmű)</i>	177,8
<i>Budapesti Erőmű Zrt. (Kispesti Erőmű)</i>	113,3
<i>Budapesti Erőmű Zrt. (Újpesti Erőmű)</i>	105,3
<i>PANNONGREEN Kft. (Debreceni Kombinált Ciklusú Erőmű)</i>	95
<i>MVM Balance Zrt. (Lőrinci Gázturbinás Erőmű)</i>	172,4
<i>MVM Balance Zrt. (Litéri Gázturbinás Erőmű)</i>	120
<i>MVM Balance Zrt. (Sajószögedi Gázturbinás Erőmű)</i>	120
<i>Bakonyi Erőmű Zrt. (ajkai hőerőmű)</i>	71,5
<i>MVM Balance Zrt. (Bakonyi Gázturbinás Erőmű)</i>	116
Nagyerőművek összesen	5637,1
<i>MVM</i>	145,185
<i>MVMZG szk.</i>	144,064
<i>EON szk.</i>	72,375
<i>Alpiq</i>	6,53
<i>Energiabörze</i>	216,025
<i>Greenenergy</i>	63,234

Erőmű	Rendelésre álló teljesítőképesség (MW)
CHP	76,872
Sinergy szk.	107,474
Tatabánya Erőmű Kft. (Tatabánya Erőmű)	35,1
Pannon Green Power Kft. (Nyíregyházi Kombinált Ciklusú Erőmű)	47,1
Pannon-Hő Kft. (Pannon-Hő Biomassza Kiserőmű)	70
Pannon Green Power Kft. (pécsi hőerőmű)	49,9
Bakonyi Bioenergia Kft. (bakonyi biomassza-kiserőmű)	30
Uniper Hungary Kft. (gönyői kombinált ciklusú erőmű)	10
Kiserőművek összesen	1073,1859
Összesen	6710,959

Forrás: MAVIR–MEKH 2022 alapján a szerzők szerkesztése

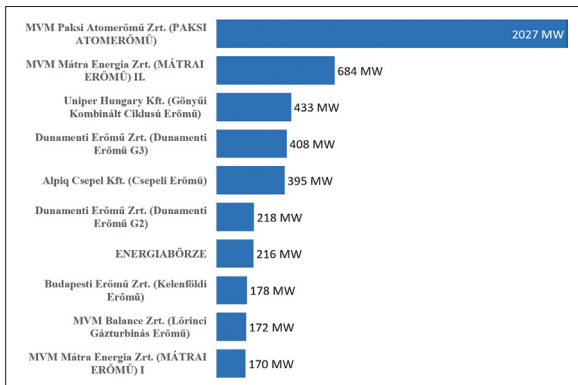
A földgázalapú erőművek, mint például a Dunamenti, a gönyői és a Csepeli Erőmű, gyorsan üzembe helyezhetők és rugalmas energiaforrást biztosítanak, de függenek az importált földgázellátástól. Ezenkívül néhány erőmű, mint például az ajkai és a pécsi erőmű, biomasszát is használ, ami hozzájárul a megújuló energiaforrások részarányának növeléséhez, bár termelésük szezonális ingadozásoknak van kitéve. Az erőművek fűtőanyag-használata így nemcsak az energiaellátás biztonságát, hanem annak fenntarthatóságát és környezeti hatásait is meghatározza.

A fenti értékeket az egymáshoz képesti arányuk jobb áttekinthetősége érdekében a 12.1. ábrán mutatjuk be.

A fentiek alapján a paksi atomerőmű bizonyul az ország legfontosabb erőművének, bár a 2000-es évek elején hangsúlyozott állítás, miszerint a hazai termelés felét ez adja, már messze nem igaz. Ugyanakkor a két legnagyobb erőmű, azaz a paksi mellett a visontai Mátrai Erőmű már valóban az ország termelésének felét adja.

Az adatokat összegezve 5637 MW adódik, azaz ennyi a magyarországi villamosenergia-nagyerőművek összteljesítménye. A fentiekhez adódik még a kiserőművek összesen 1074 MW-nyi teljesítménye. Mindent figyelembe véve így 6710 MW adódik mindösszesen a magyarországi teljes erőművi termelés maximumára.

A későbbi számítások során a határértéket azonban 6800 MW-nak fogjuk tekinteni. Ennek oka egyrészt a korábban már írt eltérések, így valamivel magasabb



12.1. ábra. A termelési kapacitások közti különbségek szemléltetése

Forrás: a szerzők szerkesztése

értéket veszünk alapul. Másrészt, hogy még 2024 második felében újraindul¹³ az oroszországi erőmű, amelynek várható teljesítménye 100 MW körül lesz.

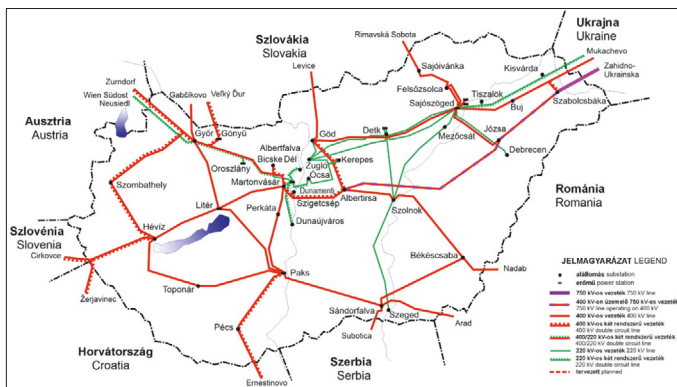
A magyar átviteli hálózat

A magyar villamosenergia-átviteli hálózat kulcsszerepet játszik az ország villamosenergia-ellátásában, biztosítva az energia hatékony és biztonságos elosztását a termelési helyektől a fogyasztói pontokig. Az átviteli hálózat a nagyfeszültségű vezetékekből és az ezekhez kapcsolódó alállomásokból áll, amelyek lehetővé teszik az energia szállítását nagy távolságokon keresztül, minimalizálva a veszteségeket. A hálózat megbízható működése elengedhetetlen az ország energiaellátásának stabilitása szempontjából, különösen a csúcsidőszakokban, amikor a terhelés maximális.

Határkeresztezők

Magyarország villamosenergia-átviteli hálózatának határkeresztezői kiemelt jelentőséggel bírnak, mivel lehetővé teszik az ország számára, hogy részt vegyen a nemzetközi villamosenergia-kereskedelemben. 2022 óta minden szomszédos

¹³ Veolia Hungary [a].



12.2. ábra. *A magvar átviteli hálózat*

Forrás: MAVIR 2024

országgal működik határkereszteszési pont.¹⁴ A határkereszteszések kulcsfontosságúak az ország energiaellátásának diverzifikálása és a rendszer rugalmasságának biztosítása szempontjából. Így egy-egy hazai erőmű kiesését a lehetőségekhez mérten relatív hamar és könnyen lehet átmenetileg helyettesíteni.

A határkeresztezési kapacitások lehetővé teszik az energia importját és exportját, ami hozzájárul az energiaellátás biztonságához, különösen akkor, ha a belföldi termelés nem elegendő a kereslet kielégítésére. 2023-ban az éves elszámolt villamosenergia-forgalom a határkeresztezéseken keresztül 28 828 GWh volt.¹⁵ Ez az energiaáramlás nemcsak Magyarország ellátásának biztosításában játszik szerepet, hanem a szomszédos országok energiahálózataival való szoros együttműködést is elősegíti, ami a régió energiabiztonságának alapját képezi. A határkeresztezési kapacitások optimalizálása és bővítése továbbra is kiemelt feladat, hogy a jövőben is biztosítani lehessen a stabil és fenntartható energiaellátást.

Csúcsterhelés

Az energiatermelés szempontjából az ideális az egyenletes fogyasztás lenne, mivel így hosszú távra tervezhető lenne a termelési igény. Azonban ez nyilvánvalóan

¹⁴ MAVIR [a].

15 MAVIR [g].

nincs így, ezért amennyiben túl sok a megtermelt villamos energia, azt exportálni kell (hiszen tárolni ekkora mennyiségben nem lehetséges, az erőművek leállítása és újraindítása pedig ilyen időskálán nem járható út). Amennyiben viszont kevés a termelés az igényekhez képest, importra szorul az ország. Hogy a felhasználók energiaigényét hazai termelésből tudjuk kielégíteni, szükséges az éves maximális fogyasztás értékének változását figyelemmel követni. Hasonlóan, hogy ismerjük, mekkora mennyiségű villamos energiát képes az ország exportálni, célszerű ismerni az éves minimumértékeket is. Ezen adatokat az elmúlt hat évre a 12.2. táblázatban foglaltuk össze.

12.2. táblázat. Rendszerterhelések abszolút maximum- és minimumértékei évenkénti bontásban

Év	Maximumfogyasztás (MW)	Minimumfogyasztás (MW)
2019	7082,375	3402,495
2020	6985,707	2864,129
2021	7278,896	3502,363
2022	7319,045	3408,468
2023	7299,325	2917,523
2024	7389,884	2855,882

Forrás: a szerzők szerkesztése

Az elmúlt évek adatai¹⁶ alapján a magyarországi villamosenergia-rendszer bruttó tényleges terhelése folyamatos növekedést mutatott, különösen a téli és nyári csúcsterhelési időszakokban, amikor a fűtési és hűtési igények a legmagasabbak. Az adatok elemzése során megfigyelhető, hogy a 2019 és 2024 közötti időszakban a rendszer csúcsterhelése évente átlagosan 70–80 MW-tal növekedett. A téli időszakban a csúcsterhelés általában a januári-februári hideg hónapokban jelentkezik, míg a nyári csúcsok főként a júliusi-augusztusi forró napokra esnek. Ez a trend azt jelzi, hogy a növekvő gazdasági aktivitás, az urbanizáció, valamint az energiaigényes technológiák terjedése egyaránt hozzájárul a terhelés emelkedéséhez. A növekedés üteme nem mutat jelentős lassulást, ami azt sugallja, hogy a következő években is szükség lesz a rendszer kapacitásainak bővítésére és a hálózati infrastruktúra fejlesztésére.

¹⁶ MAVIR [d].

A lineáris regresszióval végzett előrejelzések szerint a 2025–2027 közötti időszakban a rendszer csúcsterhelése tovább emelkedik, és 2027-re várhatóan eléri a 7622 MW-ot. Ezen előrejelzések megerősítik, hogy a villamosenergia-rendszer stabil működésének fenntartása érdekében elengedhetetlen a további kapacitásbővítés és a meglévő infrastruktúra modernizálása. A téli csúcsterhelési időszakban, amikor a fűtési rendszerek, illetve a nyári csúcsok idején, amikor a légkondicionálók használata megugrik, a rendszer különösen nagy kihívásokkal néz szembe. Az előrejelzések alapján a rendszerirányításnak fel kell készülnie a növekvő terhelések kezelésére, beleértve a megújuló energiaforrások integrálásának növelését és a rugalmas hálózati megoldások alkalmazását is. Az ilyen mértékű növekedés szükségessé teszi a hosszú távú energiapolitikai tervezést, hogy biztosítani lehessen a folyamatos és megbízható energiaellátást a következő évtizedben is.

Negatív napok

12.3. táblázat. A negatív napok száma évenként

Év	A negatív napok száma (db)
2019	10
2020	19
2021	29
2022	24
2023	19
2024	22

Forrás: a szerzők szerkesztése

Negatív napok alatt azokat a napokat értjük, amelyeken Magyarország összes fogyasztójának felhasználása túllépte azt az energiamennyiséget, amelyet az ország erőművei képesek megtermelni, azaz a villamosenergia-import elkerülhetetlen volt az igények biztosításához. Ehhez összesítettük a rendszerterhelési adatokat, és azon napok számát vizsgáltuk, amikor a fogyasztás meghaladta a 6800 MW-ot. Az évek során a negatív napok száma növekvő tendenciát mutatott. A 2021-es évben volt tapasztalható a legmagasabb érték (29 nap), amelyet 2022 és 2024 követ, míg 2019-ben volt a legkevesebb ilyen nap (12.3. táblázat). Fontos megjegyezni,

12.4. táblázat. A negatív napok száma negyedévenként

Félév	A negatív napok száma (db)
2022. 1. né.	22
2024. 1. né.	18
2021. 4. né.	17
2023. 4. né.	15
2020. 1. né.	11
2021. 1. né.	11
2020. 4. né.	8
2019. 4. né.	6
2019. 1. né.	4
2023. 1. né.	4
2024. 3. né.	3
2022. 4. né.	2
2021. 2. né.	1

Forrás: a szerzők szerkesztése

hogy 2024-ben jelenleg csak az év 8. hónapjánál járunk, és a teljes téli időszak még előttünk áll, ami további terhelési csúcsokat jelenthet, így az idei év végleges adatai meghaladhatják majd a jelenlegi számokat.

A negyedéves eloszlások az alábbiak szerint alakultak.

1. negyedév: Ez a legaktívabb időszak, különösen 2022-ben (22 nap) és 2024-ben (18 nap), ami azt mutatja, hogy az év elején, valószínűleg a hidegebb téli hónapokban jelentős a terhelés.

2. negyedév: Jelentősen kevesebb nap, csak 1 nap volt 2021-ben.

3. negyedév: Csak 2024-ben volt említésre méltó, 3 nap.

4. negyedév: Szintén jelentős terhelést mutat, különösen 2021-ben (17 nap) és 2023-ban (15 nap), ami arra utal, hogy az év végi hidegebb hónapokban ismét megnövekszik a rendszerterhelés.

Összességében a terhelési csúcsok túlnyomórészt az év első és utolsó negyed-évében koncentrálnak (lásd 12.4. táblázat), ami összhangban van a téli hónapok

magasabb energiaigényével, elsősorban a fűtési szükségletek miatt. Ez a tendencia arra utal, hogy a hálózatnak különösen fel kell készülnie a téli időszakokra, amikor a terhelés a legmagasabb.

Rendszerterhelés a maximumhoz közel

A rendszer terhelésének alakulását is megvizsgáltuk, olyan aspektusból, amikor a terhelés értéke meghaladta a 6600 MW-ot, de nem érte el a 6800 MW-ot. Ennek fontossága az ország energiatermelési rendszerének sérülékenységet hivatott vizsgálni, ugyanis bármikor előfordulhat egy erőmű kiesése a rendszerből vagy annak lassabb elindítása. A hiányzó részt 200 MW-ban határoztuk meg. Az eredmények (12.5. táblázat) alapján kiderült, hogy rendkívül szélsőségesen változik az egyes években azon napok száma, amikor a terhelés ebben a kritikus tartományban mozgott.

12.5. táblázat. A napok száma évenként, amikor a fogyasztás átlépte a 6600 MW-ot, de nem lépte túl a 6800 MW-ot

Félév	A közel negatív napok száma (db)
2019	26
2020	39
2021	62
2022	52
2023	30
2024	28

Forrás: a szerzők szerkesztése

Fenyegetettség és kitettség

Az ennyire kiszámított és feszesen tervezett termelési és fogyasztási struktúra jelentős biztonsági kockázatokat rejt magában a magyar villamosenergia-rendszer számára. Amennyiben bármelyik nagyobb erőmű kiesik a termelésből műszaki hiba, karbantartás vagy váratlan meghibásodás miatt, az azonnal jelentős terhelést

helyez a hálózat többi részére. A jelenlegi kapacitások mellett az ilyen kiesések veszélyeztetik a rendszer stabilitását, mivel a tartalékkapacitások korlátozottak, és a megújuló energiaforrások kiszámíthatatlansága miatt nem mindig áll rendelkezésre azonnali helyettesítési lehetőség. Az ilyen helyzetekben megnövekedhet az áramkimaradásoknak, a tervezett áramszüneteknek vagy akár a hálózat összeomlásának a kockázata, amely súlyos következményekkel járhat mind a gazdaság, mind a lakosság számára.

Mivel a hazai tartalékkapacitások nem elegendők minden esetben a kieső erőművek pótlására, a magyar villamosenergia-rendszer egyre inkább külföldi forrásokra van utalva ilyen kritikus helyzetekben. Ez a függőség nagy stratégiai kockázatot jelent, különösen abban az esetben, ha az importlehetőségek is szűkösek vagy bizonytalanok, például nemzetközi konfliktusok vagy regionális energiaválságok esetén. Ilyen körülmények között Magyarország kiszolgáltatottá válhat a külföldi energiapolitikai döntéseknek, ami további veszélyeket jelent az energiaellátás biztonságára nézve. A hálózat stabilitásának biztosítása érdekében elengedhetetlen, hogy a rendszer rendelkezzen elegendő hazai kapacitással, amely képes azonnal és megbízhatóan pótolni bármilyen kiesést, minimalizálva ezzel az energiaellátási zavarokat és a kapcsolódó kockázatokat.

Vizsgálataink alapján megállapítható, hogy a magyar villamosenergia-rendszer tervezhető maximális kapacitása nem elegendő a napi fogyasztási igények év közbeni folyamatos kiszolgálására. Számos olyan nap van az év során, amikor a fogyasztás megközelíti vagy akár meg is haladja a rendelkezésre álló kapacitások elméleti felső határát. Ez a helyzet különösen aggasztó lehet a csúcsidezőszakokban, amikor emiatt a rendszer stabilitása is veszélybe kerülhet. Az ilyen körülmények között a rendszerüzemeltetők számára kihívást jelent a megbízható energiaellátás biztosítása, ami rámutat a jelenlegi kapacitások elégtelenségére.

A fogyasztási igények kapacitáson túli növekedése különösen problémás lehet abban az esetben, ha valamilyen okból megszűnik vagy jelentősen korlátozódik a villamosenergia-import lehetősége. Ilyen helyzetek előfordulhatnak például nemzetközi konfliktusok, természeti katasztrófák, technikai problémák vagy akár célzott támadások következtében is, amelyek gátolhatják az energia áramlását a határkereszteségi pontokon. Amennyiben a hazai termelés nem képes fedezni a teljes energiaigényt, az importálási lehetőségek hiánya nagy kihívások elé állíthatja az országot. Ennek következményeként a lakosság szembesülhet áramkimaradásokkal, energiakorlátozásokkal, amelyek negatív hatással lehetnek az életminőségre, a gazdaság működésére, valamint a kritikus infrastruktúrák, például a kórházak és a közszolgáltatások biztonságos üzemeltetésére.

Bár a naperóművek jelentős mértékben hozzájárulnak a rendszer teljesítményéhez, időszakosan akár 2000 MW-ot is biztosítva, és ehhez még hozzáadódik a széleróművek termelése is, ezek az energiaforrások időjárásfüggők, ezért kiszámíthatatlanok. A napelemek és a szélturbinák által termelt energia csak korlátozottan tervezhető, ami azt jelenti, hogy ezekre nem lehet kizárólagosan alapozni a villamosenergia-rendszer stabilitását és folyamatos ellátását. A megújuló energiaforrások integrációja ugyan fontos lépés a fenntarthatóság irányába, de a jelenlegi technológiai korlátok miatt nem képesek biztosítani az ellátásbiztonságot minden körülmények között.

Ebből adódóan elengedhetetlen olyan további erőművek telepítése és fejlesztése, amelyek bármikor képesek az energiatermelésre, és azt a lehető legrövidebb beüzemelési idővel tudják biztosítani. Az ilyen típusú erőművek, amelyek nem függenek az időjárási viszonyoktól, képesek garantálni az energiaellátás folyamatosságát és biztonságát még a legnagyobb terhelés idején is. Ez különösen fontos a téli időszakban, amikor a megújuló energiaforrások termelése általában alacsonyabb, de a fogyasztás jelentősen megnövekedhet.

A jövőbeni energiapolitikai és beruházási döntések során figyelembe kell venni a jelenlegi kapacitások korlátait, és prioritásként kell kezelni az új, stabilan termelő erőművek fejlesztését. Csak így biztosítható a magyar villamosenergia-rendszer hosszú távú megbízhatósága és fenntarthatósága, valamint az, hogy a rendszer képes legyen megfelelni a növekvő fogyasztói igényeknek minden körülmények között. A megfelelő erőművi kapacitások kiépítése nemcsak az ellátásbiztonságot erősíti, hanem hozzájárul a gazdaság stabilitásához és a társadalom jólétéhez is.

Összegzés

Tanulmányunkban a magyar villamosenergia-rendszer jelenlegi helyzetét, ön-ellátási képességét vizsgáltuk. Számba vettük a hazai nagy- és kiserőművek termelési kapacitását, valamint a tervezhető maximális kapacitások szerepét a villamosenergia-ellátás biztosításában. Az adatokból világosan kirajzolódik, hogy a jelenlegi kapacitások sok esetben nem elegendőek a folyamatos fogyasztási igények kielégítésére, különösen a csúcsidőszakokban. Az elemzés rávilágított arra is, hogy a megújuló energiaforrások, bár jelentős mértékben hozzájárulnak a rendszerhez, jelenleg nem biztosítanak kellő megbízhatóságot az ellátás szempontjából, ezért elengedhetetlen további, időjárásfüggetlen kapacitások kiépítése.

A jövőbeli energiaellátás biztonsága szempontjából kulcsfontosságú a meglévő kapacitások bővítése (mint például a Paks II. beruházás megvalósítása), amelyek jelentős mértékben növelhetik a rendszer tervezhető maximális kapacitását. Eredményeink alapján világossá vált, hogy az ország energiafüggőségének csökkentése és az önellátás növelése érdekében stratégiai jelentőségű beruházásokra van szükség. Emellett a rendszer stabilitása érdekében fontos az erőművi kapacitások és az energiaimport közötti egyensúly fenntartása, hogy Magyarország hosszú távon is biztosítani tudja az energiaellátást, még a legkritikusabb helyzetekben is. Az itt bemutatott adatok és következtetések alapvetően hozzájárulhatnak a jövőbeli energiapolitikai döntésekhez és a fenntartható villamosenergia-rendszer kialakításához.

Felhasznált irodalom

- BUKTA Imre et al. (2022): *A magyar villamosenergia-rendszer 2022. évi adatai*. Budapest: Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal – Mavir Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító. Online: www.mavir.hu/documents/10258/239341959/A+magyar+villamosenergia-+%C3%A9s+f%C3%B6ldg%C3%A1zrendszer+2022.+%C3%A9vi+adatait+bemutat%C3%B3+kiadv%C3%A1ny.pdf/dd5b5343-f7ab-f57f-e3ce-8ee9f25f4783?t=1697181260471
- GYÖRFI László Krisztián – HUGYECZ Attila (2020): *A hazai kísérőművi szegmens bemutatása*. Kézirat.
- MAVIR [a]: *A Szlovénia és Magyarország közötti Cirkovce – Hévíz határkeresztező távvezeték üzembe helyezése*. Online: www.mavir.hu/web/mavir/-/a-szlov%C3%A9nia-%C3%A9s-magyarorsz%C3%A1g-k%C3%B6z%C3%B6tti-cirkovce-h%C3%A9v%C3%ADz-hat%C3%A1rkeresztez%C5%91-t%C3%A1vvezet%C3%A9k-%C3%BCzembe-helyez%C3%A9se?returnPlid=237657540
- MAVIR [b]: *Adatpublikációk és kiadványok*. Online: <https://mavir.hu/web/mavir/adatpublikaciok-es-kiadvanyok>
- MAVIR [c]: *Import-export*. Online: <https://mavir.hu/web/mavir/import-export>
- MAVIR [d]: *Rendszerterhelés Terv és Tény adatok (Bruttó, Nettó)*. Online: <https://mavir.hu/web/mavir/rendszerterheles>
- MAVIR [e]: *Valós idejű aggregált termelés*. Online: <https://mavir.hu/web/mavir/valos-ideju-aggregalt-termeles>
- MAVIR [f]: *VER forgalmi adatok – aggregált adatok*. Online: <https://mavir.hu/web/mavir/ver-forgalmi-adatok-aggregalt-adatok>
- MAVIR [g]: *Határmetszéki áramlások*. Online: <https://mavir.hu/web/mavir/hatarmetszeki-aramlasok>
- MAVIR (2024): *Összefoglaló a magyar villamosenergia-rendszer előzetes adatairól 2023*. Online: https://issuu.com/mavirzrt/docs/ver_osszefoglal_2023
- MVM [é. n.]: *Termelés*. Online: <https://mvm.hu/hu-HU/Tevekenyssegunk/Termeles>
- PALEJ János [é. n.]: *A magyar közcélú átviteli villamosenergia-rendszer felépítése*. Online: https://witch.mik.pte.hu/oktatas/Tanszeki_anyagok/Villamos_Halozatok_Tanszek/Haj/F3s%20Imre/Szabadvezet%E9k_eloszt%F3h%E1l%F3zat/1%20t%20E9mak%F6r%20tov%20E1bbi%20info/VER_bemutat%E1sa2014.pdf
- Portfolio (2012): *Meglepo jövőt jósolnak: olajhatalom lesz Amerika*. *Portfolio.hu*, 2012. március 25. Online: www.portfolio.hu/vallalatok/energia/meglepo_jovot_josolnak_olajhatalom_lesz_amerika.164714.html
- Veolia Hungary [a]: *Oroszlányi erőmű*. Online: www.veolia.hu/hu/oroszlanyi-eromu
- Veolia Hungary [b]: *Erőműveink*. Online: www.veolia.hu/hu/eromuveink