



Közzététel: 2025. július 14.

A tanulmány címe:

Magyarország napi villamosenergia-fogyasztási profiljának elemzése

Szerző:

ZSIROS ÁDÁM JÁNOS

a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar Közgazdaságtan Tanszékének PhD-hallgatója

E-mail: zsiros@edu.bme.hu

DOI: <https://doi.org/10.20311/stat2025.07.hu0648>

Az alábbi feltételek érvényesek minden, a Központi Statisztikai Hivatal (a továbbiakban: KSH) Statisztikai Szemle c. folyóiratában (a továbbiakban: Folyóirat) megjelenő tanulmányra. Felhasználó a tanulmány vagy annak részei felhasználásával egyidejűleg tudomásul veszi a jelen dokumentumban foglalt felhasználási feltételeket, és azokat magára nézve kötelezőnek fogadja el. Tudomásul veszi, hogy a jelen feltételek megszegéséből eredő valamennyi kárért felelősséggel tartozik.

1. A jogszabályi tartalom kivételével a tanulmányok a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. törvény (Szt.) szerint szerzői műnek minősülnek. A szerzői jog jogosultja a KSH.
2. A KSH földrajzi és időbeli korlátozás nélküli, nem kizárólagos, nem átadható, térítésmentes felhasználási jogot biztosít a Felhasználó részére a tanulmány vonatkozásában.
3. A felhasználási jog keretében a Felhasználó jogosult a tanulmány:
 - a) oktatási és kutatási célú felhasználására (nyilvánosságra hozatalára és továbbítására a 4. pontban foglalt kivétellel) a Folyóirat és a szerző(k) feltüntetésével;
 - b) tartalmáról összefoglaló készítésére az írott és az elektronikus médiában a Folyóirat és a szerző(k) feltüntetésével;
 - c) részletének idézésére – az átvevő mű jellege és célja által indokolt terjedelemben és az eredetihez híven – a forrás, valamint az ott megjelölt szerző(k) megnevezésével.
4. A Felhasználó nem jogosult a tanulmány továbbértékesítésére, haszonszerzési célú felhasználására. Ez a korlátozás nem érinti a tanulmány felhasználásával előállított, de az Szt. szerint önálló szerzői műnek minősülő mű ilyen célú felhasználását.
5. A tanulmány átdolgozása, újra publikálása tilos.
6. A 3. a)–c) pontban foglaltak alapján a

Folyóiratot és a szerző(ke)t az alábbiak szerint kell feltüntetni:

„*Forrás: Statisztikai Szemle c. folyóirat 103. évfolyam 7. számában megjelent, Zsiros Ádám János által írt, Magyarország napi villamosenergia-fogyasztási profiljának elemzése című tanulmány (link csatolása)*”

7. A Folyóiratban megjelenő tanulmányok kutatói véleményeket tükröznek, amelyek nem feltétlenül esnek egybe a KSH vagy a szerzők által képviselt intézmények hivatalos álláspontjával.

Zsiros Ádám János

Magyarország napi villamosenergia-fogyasztási profiljának elemzése

Analysis of the daily electricity consumption profiles in Hungary

Zsiros Ádám János, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar
Közgazdaságtan Tanszékének PhD-hallgatója
E-mail: zsiros@edu.bme.hu

A tanulmány a magyarországi villamosenergia-fogyasztás szezonális változásait elemzi, különös tekintettel a háztartási méretű kiserőművek (HMKE) és a saját célra termelő erőművek (SCTE) növekvő szerepére. Az elemzéshez a 2019 és 2024 közötti MAVIR¹-adatokat használtam fel, összehasonlítva a fogyasztási és a termelési profilokban bekövetkezett változásokat. A kutatás célja annak feltárása, hogy a HMKE-k esti kieső termelése milyen hatást gyakorol az esti rendszerterhelésre, valamint hogyan alakulnak át a napközbeni és az esti csúcsfogyasztási időszakok a megújuló energiatermelés térnyerésével. Az eredmények megerősítik a napközbeni fogyasztási csúcsok és a naperőművek termelési profilja közötti szoros kapcsolatot, miközben bemutatják, hogy az esti órákban a kereslet és a kínálat közötti egyensúly hogyan módosul a napszakos termelési ingadozások következtében. Az elemzés eredményei rávilágítanak a megújuló alapú energiatermelés növekedésének várható rendszerhatásaira és a szabályozási kihívásokra is.

Kulcsszavak: megújuló energiatermelés, fogyasztási profil, látens fogyasztás

The study analyses the seasonal variation in electricity consumption in Hungary, with a special focus on the increasing role of small household power plants (SHPPs) and self-consumption power plants (SCPPs). MAVIR data from 2019 to 2024 were used for the analysis, comparing changes in consumption and generation profiles. The aim of the research is to explore the impact of the evening off-peak generation of CCGTs on the evening system load and how the daytime and evening peak consumption periods will change with the penetration of renewable generation. The results confirm the strong link between the mid-day consumption peaks and the generation profile of solar power plants, while showing how the balance between supply and demand in the evening hours is modified by the intraday variations in generation. The results of the analysis also highlight the expected systemic impacts of the growth in renewable generation and the regulatory challenges.

Keywords: renewable energy production, consumption profile, latent consumption

¹ Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító ZRt.

A villamosenergia-hálózatok működésének és fejlesztésének jelentősége az elmúlt évtizedekben globálisan megnőtt, különösen az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése és a fosszilis energiaforrásoktól való függőség mérséklése érdekében. A villamosenergia-termelési lehetőségek közül a szél-, a víz- és a nukleáris energia a legkisebb, míg a lignit és a szén energiává alakítása a legnagyobb környezeti terhelést jelenti (Csipkés *et al.*, 2018). Az európai országok – így Magyarország is – egyre nagyobb hangsúlyt helyeznek a megújuló, időjárásfüggő energiaforrásokra, amelyek ugyan fenntarthatók, de termelési ingadozásaik új kihívásokat jelentenek a hálózat stabilitása és a piac működése szempontjából. Az ilyen ingadozások rugalmasabb hálózati alkalmazkodást és szabályozási stratégiákat igényelnek. A megújulók térnyerése a villamosenergia-piacokat is átalakította, kiszámíthatatlanabbá és volatilisabbá téve az árakat, amelyekre mind negatív, mind extrém magas csúcsok jellemzők. A tényleges fogyasztás pontos modellezése ezért alapvető fontosságú, mivel ez teremti meg a piaci árak meghatározásának egyik alapját, a keresletet. A modellezhető árak pedig elősegítik az új beruházások megtérülésének számítását, valamint a szükséges ösztönzők kialakítását.

A hálózaton mérhető rendszerterhelés azonban nem mindig tükrözi a valós keresletet, különösen a háztartási méretű kiserőművek (HMKE) és az ipari, saját célra termelő erőművek (SCTE) termelése miatt. Mivel ezek az erőművek közvetlenül a fogyasztóhoz kapcsolódnak, a tényleges, az úgynevezett óra utáni (*behind-the-meter*) fogyasztás kiszolgáltatásában vesznek részt. Ennek következtében a fogyasztónak a mérőóráján keresztül a hálózatról vételezett, úgynevezett óra előtti (*before-the-meter*) fogyasztása jóval kevesebb lesz, miközben a tényleges fogyasztása változatlan marad. Azonban egy ködös napon, amikor a napenergia-termelés jelentős mértékben csökken, a teljes kereslet a hálózatra nehezedhet, ami ellátási kihívásokat eredményezhet. A feltételezések szerint a napi rendszerterhelési mintázatok továbbra is a hagyományos – azaz az úgynevezett kacsagörbe, vagyis a *duck-curve* – alakjukat követik: reggel közepes, napközben alacsony, este magas fogyasztási szintekkel (Jászay–Nieberl, 2015). Tanulmányom azonban arra kíván rávilágítani, hogy a napközbeni tényleges fogyasztás gyakran eléri, sőt számos esetben meg is haladja az esti csúcsokat. Csakhogy mivel a napközbeni időszak fogyasztását a HMKE- és az SCTE-rendszer fedezi, az nem jelenik meg a hálózati terhelésben. Az ilyen „láthatatlan”, azaz látens fogyasztás pontos feltárása kulcsfontosságú az energiaellátás biztonsága és a rendszertervezés szempontjából, különösen az esti csúcsterhelések kezelésében és a napközbeni negatív árak és a naperőműtermelés-csökkenés pótlásában.

1. Szakirodalmi áttekintés

Az aggregált villamosenergia-fogyasztás tehát nemzeti vagy regionális szintű kutatása több okból is kulcsfontosságú, különösen az energiapolitika és a fenntarthatóság vizsgálata kapcsán (Bianco et al., 2009). Nejat és szerzőtársai (2015) áttekintése bemutatta, hogy a lakossági energiafogyasztás és a szén-dioxid-kibocsátás milyen hatást gyakorol a tíz legnagyobb kibocsátó ország energiastratégiájára. A tanulmány hangsúlyozza az energiafogyasztás kezelését és a kibocsátás csökkentését célzó hatékony szakpolitikák szükségességét, továbbá kiemeli az aggregált fogyasztási minták megértésének fontosságát. A rendszer működésének átfogó megértése – amelynek alapja a fogyasztás pontos modellezése – lehetővé teszi a hatékonyabb energiagazdálkodást, a csúcskeresleti időszakok hatásainak mérséklését, és hozzájárul a megújulók integrációjához, amelyek időjárási ingadozásaik miatt nehezen tervezhető kínálatot és ezáltal jelentős kihívásokat jelentenek. A tényleges fogyasztási minták feltárása elengedhetetlen a kereslet-kínálat összehangolása érdekében.

Az energiainport-függőség és az -ellátás biztonságának kérdése szintén kiemelt kutatási terület. Brucker és szerzőtársai (2024) vizsgálata rávilágított az Európai Unió országainak energiafüggőségére, különös tekintettel az importált fosszilis tüzelőanyagokra. Az országonkénti energiaforrás-megoszlás elemzése, valamint az egyes szektorok fogyasztási mintáinak vizsgálata Magyarország esetében is fontos tanulságokat nyújthat. Deák (2020) az EU fosszilis energiahordozói (olaj, szén, földgáz) importfüggőségének változásait elemezte az ezredfordulót követően 2000 és 2016 között, hangsúlyozva a megújulók szerepének növelését az energiafüggetlenség erősítése érdekében.

A megújuló energiatermelők elterjedését megelőző időszakból számos kutatás található, amelyben már meglévő modellek alkalmazásával vontak le következtetéseket országuk villamosenergia-fogyasztásáról. Bastos és szerzőtársai (2015) például a REflex Project (n. d.) által fejlesztett FORECAST-Tertiary segítségével modellezték az egyes brazil szektorok villamosenergia-igényét. Azonban gyakrabban találkozni olyan elemzésekkel, amelyek saját regressziós modellek fejlesztését tűzték ki célul. Bianco és szerzőtársai (2009) eredményei arra világítottak rá, hogy az aggregált fogyasztási adatok milyen módon támogatják a döntéshozatalt az energiarendszer kínálati és keresleti oldalának kezelésében, legyen szó állami szereplőkről vagy vállalatvezetőkről. Sugár (2011) szintén regressziós modellek elemzésével vont le következtetéseket a magyar villamosenergia- és gázfogyasztásra vonatkozóan, figyelembe véve a hét napjait, az ünnepnapokat és a hőmérséklet hatásait. Ez a megközelítés jól mutatja a különböző időbeli ciklusok fontossá-

gát, amelyek a napi, heti és éves fogyasztási mintázatokat meghatározzák. Megállapította, hogy hétvégén és ünnepnapokon általában kevesebb a fogyasztás, továbbá szignifikáns különbség tapasztalható a különböző évszakokban mért adatok között is. Ehhez hasonlóan *Le és szerzőtársai (2019)* megvizsgálták a fogyasztási mintázatok ciklikusságát, napi és szezonális szinten, több modellezési megközelítést összehasonlítva. Kutatásuk rámutatott arra, hogy az eltérő időbeli skálákra alkalmazott modellek jelentősen különböző pontosságot mutathatnak, különösen az olyan mérőszámok, mint az MSE (Mean Squared Error – átlagos négyzetes hiba) vagy a MAPE (Mean Absolute Percentage Error – átlagos százalékos abszolút hiba) alapján.

A kínálati oldal azonban az elmúlt néhány évben jelentős mértékben megváltozott: a megújuló energiaforrások, valamint a háztartási és saját célra termelő ipari naperőművek (HMKE-k és SCTE-k) lettek a magyar és számos más európai ország meghatározó termelői (*Eurostat, 2023*). Ez jelentős mértékű hálózati láten-²ciát² jelent a hazai energiaszektor számára (*Horváth et al., 2023*). A keresleti oldal is jelentősen megváltozott az elmúlt néhány évben, hiszen az elektromobilitás elterjedése (*Kiss et al., 2021*), valamint az elektrifikáció (pl. hőszivattyúk alkalmazása és az adatközpontok számának növekedése) jelentősen megnöveli a villamosenergia-keresletet is (*Csermely et al., 2024; IEA, 2019*). Ugyanakkor nem csupán ezek a tényezők befolyásolták az elmúlt évtized, de különösen az elmúlt néhány év villamosenergia-piacát. A háztartások éves fogyasztása szorosan összefügg a jövedelemmel (*Csomós–Kulcsár, 2014*), továbbá az orosz–ukrán háború kitörése előtti és utáni időszakok közötti havi eltérések is jelentős mintázatokat mutattak (*Tóth et al., 2023*). Tehát az energiafogyasztás közvetlenül függ gazdasági, közvetetten pedig geopolitikai tényezőktől is (*Harmsen et al., 2024*). A kibocsátáscsökkentési célok is befolyásolják a villamosenergia-keresletet és -kínálatot, ez a terület is jelentősen kutatóvá vált. *Hartvig és szerzőtársai (2023)* az EU kibocsátáskereskedelmi rendszere (ETS – Emissions Trading System) árainak előrejelzéséhez egy új, online hírekre alapozott mutatót – az EU Climate Change News Indexet (Klimaváltozási Hírek Indexét) – fejlesztettek ki. Ez a releváns klímaváltozási kulcsszavak TF–IDF alapú elemzésével készült mutató jelentősen javította az ETS-árfolyamváltozások előrejelzésének pontosságát. Bár tanulmányuk közvetlenül nem a villamosenergia-fogyasztással foglalkozik, módszertanuk – különösen a külső gazdasági és környezeti tényezők figyelembevétele – hasznos lehet a fogyasztási mintázatok gazdasági összefüggéseinek vizsgálatában.

² A látens fogyasztás olyan fogyasztás, amelyet a fogyasztó elfogyaszt, viszont saját maga termeli meg (például időjárásfüggő naperőművével). Ez a fogyasztás a hálózaton általában nem jelenik meg, azonban felhősebb napokon ezt a mennyiséget kénytelen a hálózatról vételezni. Ennek az az oka, hogy feltételezhetően ugyanúgy elfogyasztja a szükséges energiamennyiséget, csupán megtermelni nem tudja. Fontos a látens fogyasztással is foglalkozni, hiszen egyes napokon fogyasztásként jelentkezik a hálózaton, más napokon viszont nem. Erre az ingadozó terhelésre a hálózatnak fel kell tudni készülnie, és tisztában kell lennie a mértékével.

A rendszerterhelés ingadozásai, különösen az alacsony megújulóenergia-termelésű időszakokban, kiemelt figyelmet igényelnek. A lakossági napelemek termelésének csökkenése éjszakai vagy kedvezőtlen időjárási körülmények között a hagyományos energiaforrásokra való támaszkodást növeli. A megújuló energiaforrások termelése mellett a hagyományos energiaforrásokra való támaszkodás megmarad, csupán egy szűkebb időintervallumra korlátozódik, ez viszont árnövekedést eredményez. *Kankal és szerzőtársai (2011)*, valamint *Mohamed és Bodger (2005)* rámutattak, hogy az energiafogyasztás modellezése segíthet olyan politikák kialakításában, amelyek ösztönzik a terhelés áthelyezését és a túlkeresleti időszakok redukálását, ezáltal támogatva a hálózat kiegyensúlyozott működését. *Hartvig és Szabó (2024)* tanulmányában a magyarországi lakossági szektor fogyasztási potenciálját vizsgálta. Kimutatták, hogy az időbeli fogyasztás optimalizáció akár 2,2–3,6%-os csúcsidőszak-csökkentést is eredményezhet, amely télen 205, nyáron pedig 166 MW terhelés-visszaesést jelent. Az intelligens mérőórákkal és a háztartási készülékek időzítésével elérhető optimális terheléeloszlás nemcsak a hálózati stabilitás javításában játszhat szerepet, hanem az energiafogyasztók költségeinek akár 6,1%-os mérséklődését is eredményezheti. Ez alátámasztja, hogy a hálózatok fejlesztése és a fogyasztásoldali ösztönzők bevezetése hozzájárulhat a megújuló energiaforrások integrációjához és a fogyasztási csúcsok mérsékléséhez.

Az elmúlt évek során számos kutatás foglalkozott a villamosenergia-fogyasztás vizsgálatával, azonban ezek túlnyomó többsége 2019 előtt készült, amikor a villamosenergia-piac még jelentősen különbözött a jelenlegi helyzettől. A 2020-as évektől a globális energiapiacot olyan tényezők alakították át, mint az orosz–ukrán háború, a fosszilis energiahordozók drágulása, valamint a megújuló energiaforrások térnyerése. Bár néhány tanulmány foglalkozott a világpolitikai és a gazdasági események fogyasztásra gyakorolt hatásaival, ezek jellemzően makroszintű elemzések voltak, és nem tértek ki arra, hogy az átalakulások konkrétan hogyan módosították a fogyasztási mintázatokat, sem annak évszakos és napszakos jellemzőit. *Molnár (2022)* megvizsgálta a hazai rendszerterhelés változásait, és prognózist készített a 2031. évi értékek lehetséges tartományára. Arra az eredményre jutott, hogy a rendszerterhelés az elmúlt években az idő előrehaladtával változott, a különböző évek azonos időszakában tekintett értékei között eltéréseket lehet tapasztalni. Kutatásából és eredményeiből levonható az a következtetés, hogy a rendszerterhelés mellett a fogyasztás is némileg megváltozik, azonban ennek minőségéről és mennyiségéről a szakirodalomban nincs fellelhető információ.

A villamosenergia-fogyasztás modellezése tehát nem csupán technikai kérdés, hanem gazdasági, társadalmi és környezeti szempontból is kritikus jelentőséggel bír. A fogyasztási mintázatok pontos feltárása és előrejelzése nélkülözhetetlen alapot nyújt az energiaszuverenitás erősítéséhez, a zöld átállás elősegítéséhez és az energiaellátás biztonságának fenntartásához.

2. Célkitűzés

A tanulmány célja, hogy feltárja a magyarországi villamosenergia-fogyasztási mintázatok szezonális átalakulását, különös tekintettel a háztartási méretű kiserőművek (HMKE) és a saját (ipari) célra termelő erőművek (SCTE) termelési szerepének növekedésére. A kutatás tudományos újdonságereje a fogyasztási mintázatok elemzésében rejlik: bár a villamosenergia-fogyasztás vizsgálata régóta kutatott téma, a világpolitikai és gazdasági tényezők hatásain túl eddig nem született átfogó elemzés arról, hogy az elmúlt évek piacváltozásai hogyan módosították konkrétan a fogyasztási és termelési mintázatokat. Ezen belül nem található olyan átfogó elemzés a szakirodalomban az évszakos és napszakos sajátosságok részletes bemutatásáról és azok vizualizálásáról, amely figyelembe veszi a látens, azaz „láthatatlan” fogyasztást (a HMKE-k és az SCTE-k által előállított, de hálózati terhelésként nem megjelenő energiát). A kutatás középpontjában az a kérdés áll, hogy a HMKE-k esti kieső termelése hogyan befolyásolja az esti csúcsidőszakok terhelését, és hogy a szezonális különbségek milyen mértékben hatnak a rendszer egyensúlyára. Az elemzés célja továbbá annak vizsgálata, hogy a megújuló energiaforrások arányának növekedése hogyan módosítja a kereslet-kínálati viszonyokat, és milyen további szabályozási kihívásokat jelenthet a változó fogyasztási profil – különösen a hálózati rugalmasság szempontjából.

A tanulmány szerkezete az évszakos változások átfogó elemzésére épül. Az elemzés során külön-külön bemutatom a tavaszi, a nyári, az őszi és a téli fogyasztási mintázatot, részletezve a fogyasztás és a HMKE/SCTE-termelés közötti összefüggéseket, amelyek az adott évszakra jellemző időjárási és termelési feltételekből adódnak. Az egyes évszakok elemzése során rávilágítok a napszakos csúcsfogyasztások eltolódásaira és a napenergia alapú termelés napi ciklusának hatásaira. A szezonális elemzést követően az összehasonlító fejezet összefoglalja a négy évszak eltérő fogyasztási és termelési mintázatait, azonosítva azokat a közös trendeket és sajátos különbségeket, amelyek az energiafogyasztás és a megújuló alapú energiatermelés jövőbeni változásait valószínűsítik. Az elemzés záraként összegzésre kerülnek a szezonális különbségekből adódó szabályozási és rendszerszintű kihívások, valamint a megújulók szerepének fokozatos bővítésének hatásai. Az egyes évszakokhoz külön fejezet rendelése lehetőséget biztosít az átfogóbb összehasonlítás és elemzés számára, míg a végső fejezet átláthatóan összegezheti az egyes időszakok fogyasztási sajátosságait, közös mintázatait és különbségeit.

Az elemzés hipotézise tehát a következő. A HMKE-k és a SCTE-k termelése miatt a látens fogyasztás jelentősen módosítja a hálózati terhelési görbéket, azaz a napközbeni villamosenergia-fogyasztás valójában nem esik vissza, ahogyan az a

rendszerterhelési görbéken látható. Ennek következtében az esti csúcsidőszakok magas terhelése részben a napközbeni látens fogyasztási igényekkel áll összefüggésben. Ehhez a napjainkban jellemző fogyasztási görbe napközbeni alakulását évszakonkénti bontásban³ összehasonlítottam az 5 évvel korábbival. A vizsgált legkorábbi időszakban (2018 őszén) a hazai villamosenergia-termelésben még csak kis mennyiségben⁴ vettek részt háztartási kiserőművek (HMKE-k) és saját (fogyasztási) célra termelő (ipari) erőművek (SCTE-k). 2024 szeptemberére azonban a hazai HMKE BT (beépített teljesítőképesség) már közel kilencszeresére (2596 MW-ra) növekedett a nagyjából 6 évvel korábbi értékekhez képest, az SCTE-állomány pedig több mint tizenegyszeresére (656,4 MW-ra). Tehát a nagyjából 6 évvel korábban meglévő 357 MW-nyi HMKE és SCTE BT mostanra több mint kilencszeresére, 3252 MW-ra nőtt (MAVIR, 2024).

3. Módszertan

A vizsgálathoz az alább felsoroltak szerint a 2018 szeptemberétől 2019 augusztusáig, illetve a 2023 szeptemberétől 2024 augusztusáig terjedő villamosenergia-termelési és -fogyasztási adatokat vettem alapul:

- a hazai hálózatokon mérhető villamosenergia-fogyasztás (MAVIR, *n.d.*);
- a hazai ipari naperőművek termelése (MAVIR, *n.d.*);
- a hazai ipari, illetve a HMKE és az SCTE naperőművek beépített teljesítőképessége (MAVIR, 2024).

A vizsgálat során a MAVIR weboldalán nyilvánosan elérhető negyedórás adatokra alapozva elemeztem a villamosenergia-fogyasztást:

1. Az ipari naperőművek hálózaton mért fogyasztási adatainak és a beépített teljesítőképességének felhasználásával meghatároztam az ipari naperőművek kihasználtságát.
2. Az ipari naperőművek kihasználtságának, valamint a HMKE-k és a SCTE-k beépített teljesítőképességének felhasználásával megbecsültem a HMKE és a SCTE naperőművek termelését.⁵

³ Minden évszak 2. hónapját (január, április, július, október) vizsgálva.

⁴ HMKE: 2018 októberére 308,1 MW BT; SCTE: 2018. év végére 72,3 MW BT.

⁵ A HMKE-k esetén a MEKH által javasolt 0,8-es korrekciós szorzót alkalmaztam. Így a HMKE-k becsült teljesítménykihasználtsága az ipari naperőművek kihasználtsági értékének 80%-a. Az alkalmazott módszertan oka, hogy a HMKE-k esetén a telepítési felület (pl. háztető) szöge dominánsabb tényező a napelem elhelyezésében, mint a nap állása (vonulási szöge). Utóbbi az ipari naperőművek elhelyezésének kiemelt szempontja.

3. A hazai villamosenergia-hálózaton mért fogyasztáshoz a HMKE- és az SCTE-termelést⁶ hozzáadva megkaptam a tényleges fogyasztás becsült értékét.
4. A fenti értékek alapján az egyes hónapok munkanapjainak és munkaszüneti napjainak számából⁷ átlagot és standard hibát számoltam.
5. Ezek alapján negyedórás bontásban ábrázoltam a tényleges fogyasztás várható értékét (átlagát) és a 99%-os konfidenciaintervallumot.

A vizsgálat célja, hogy megértsük a villamosenergia-fogyasztás szezonális és napi időszakok szerinti változásait, ezért az adatelemzéshez hónapokra, azon belül pedig a nap típusára bontottam a fogyasztási adatokat. Az elemzés során a munkanapok és a munkaszüneti napok külön kerültek kezelésre, mivel ezek esetén a fogyasztás napi dinamikája eltérő lehet.

Jelölések

A következő jelöléseket használok a negyedórás bontású villamosenergia-fogyasztási adatok modelljéhez:

- $C_{i,t}^W$: a negyedóránkénti aggregált villamosenergia-fogyasztás értéke (MW). Ebben a jelölésben:
 - W jelöli a nap típusát, ahol $W = M$ munkanapot (pl. hétfőtől péntekig), $W = S$ pedig munkaszüneti napot (hétféjét vagy ünnepnapokat) jelöl.
 - i a nap sorszáma az adott hónapban.
 - t az időpontot jelöli a nap folyamán, negyedórás bontásban (pl. $t = 09:45$).
 - Ez alapján $C_{i,t}^M$ jelöli a munkanapokon, míg $C_{i,t}^S$ a munkaszüneti napokon mért negyedórás villamosenergia-fogyasztási értékeket.

További jelölések

- $L_{i,t}^W$: a negyedóránkénti aggregált villamosenergia-rendszerterhelés értéke (MW). Az indexjelölések a $C_{i,t}^W$ fogyasztási értéknél használatos jelölésekkel megegyeznek.
- $S_{i,t}^W$: a negyedóránkénti aggregált ipari napenergia-termelés értéke (MW). Az indexjelölések a $C_{i,t}^W$ fogyasztási értéknél használatos jelölésekkel megegyeznek.
- $P_{\text{industrial}}$: az ipari naperőművek aggregált beépített teljesítőképessége (MWp⁸).
- $P_{\text{HMKE,SCTE}}$: a háztartási méretű kiserőművek és a saját célra termelő ipari naperőművek aggregált beépített teljesítőképessége (MWp).

⁶ Ezt az energiát ugyanis a HMKE-k és az SCTE-k tulajdonosai elfogyasztották, ez azonban a hálózaton nem jelentkezik mérhető fogyasztásként.

⁷ Az ünnepek, az egyedi munkaszüneti, a szabad- és az áthelyezett munkanapok figyelembevételével.

⁸ Az erőművek nem mindig maximális teljesítményen termelnek, így általában az aktuálisan leadott teljesítményt MW-tal, a maximális teljesítményt pedig MWp-vel (p: *peak* – csúcserő) jelölik.

A becsült negyedórás fogyasztás kiszámítása

$$C_{i,t}^W = L_{i,t}^W + \frac{S_{i,t}^W}{P_{\text{industrial},t}} \cdot P_{\text{HMKE,SCTE},t} \quad (1)$$

Az átlagos fogyasztás kiszámítása

Negyedórás bontásban számítottam ki a fogyasztási értékek átlagát minden hónapon belül munkanapokra és munkaszüneti napokra külön. A munkanapokra és a munkaszüneti napokra vonatkozó negyedórás fogyasztási átlagok kiszámítására az alábbi képletet használtam:

$$\bar{C}_t^W = \frac{1}{n_W} \sum_{i=1}^{n_W} C_{i,t}^W, \quad (2)$$

ahol:

- $\bar{C}_t^W$ a nap egy adott negyedórás időszakában (pl. 9:45-kor) mért átlagos villamosenergia-fogyasztás az adott nap típusára (munkanap vagy munkaszüneti nap) vonatkozóan,
- n_W a napok száma a hónapban az adott típusú naptípusra (munkanap vagy munkaszüneti nap),
- $C_{i,t}^W$ a fogyasztás az i -edik napon és t időpontban.

A szórás és a standard hiba kiszámítása

Az egyes időpontok (negyedórák) fogyasztásának szórását a napok típusa szerint külön számoltam ki. A korrigált tapasztalati szórás kiszámításához használt képlet:

$$s_t^W = \sqrt{\frac{1}{n_W - 1} \sum_{i=1}^{n_W} (C_{i,t}^W - \bar{C}_t^W)^2} \quad (3)$$

Ezután a standard hibát (SE) az alábbi képlet segítségével számítottam:

$$SE_t^W = \frac{s_t^W}{\sqrt{n_W}}, \quad (4)$$

ahol SE_t^W az adott időpontban mért fogyasztási értékek standard hibája, amely az adott naptípus napi ingadozásának becslését segíti.

Konfidenciaintervallumok számítása normális eloszlás feltételezésével

Normális eloszlást feltételezve az $1 - \alpha = 0,99$, azaz 99%-os konfidenciaintervallum az alábbiak szerint számítható a negyedórás fogyasztási adatokra:

$$P\left(\bar{C}_t^W - t_{1-\frac{\alpha}{2}}(DF) \cdot SE_t^W < \mu < \bar{C}_t^W + t_{1-\frac{\alpha}{2}}(DF) \cdot SE_t^W\right) = 0,99, \quad (5)$$

ahol:

- $t_{1-\frac{\alpha}{2}}(DF)$ a Student-eloszlás 99%-os konfidenciájának megfelelő kvantilisérték,
- $\bar{C}_t^W$ az adott naptípus és negyedóra átlagos fogyasztása,
- SE_t^W a standard hiba.

Évszakos reprezentáció

A kapott eredmények ábrázolása során minden évszak esetén a „leginkább jellemző” hónapot választottam ki. Így a tavaszi, a nyári, az őszi és a téli fogyasztási mintázat szemléltetésére az adott évszak középső (azaz 2.) hónapja alapján készült grafikonok nyújtanak betekintést a fogyasztás szezonális változásaiba.

A modell elkészítése során az alábbi feltételezésekkel éltem:

- A HMKE-k termelése (a panelek szögének beállítási korlátai miatt) 20%-kal kisebb, mint az ipari naperőműveké (SCTE-ké).
- A megtermelt villamos energiát 100%-ban felhasználják, illetve értékesítik.

A modellezés során a fogyasztás eloszlásáról feltételeztem, hogy normális eloszlást követ, a standard hiba értéke a munkanapok esetén minden negyedórás intervallumban 1–2% közötti értékeket mutatott, míg a szabad- és munkaszüneti napokon is csupán 3% alatti értékeket kaptam.

4. Elemzés

4.1. Az őszi villamosenergia-felhasználás elemzése

A [Függelék F1–F2. ábrája](#) a 2018. októberi és a 2023. októberi⁹ villamosenergia-fogyasztási, valamint a becsült HMKE- és SCTE-termelési adatokat mutatják be munka- és munkaszüneti napokon. Az F1. ábrán a folytonos vonal a 2023-as, a szaggatott pedig a 2018-as értékeket jelöli. A kék szín a MAVIR által a hálózaton mért fogyasztást, a sárga a HMKE-k és az SCTE-k becsült termelését, a zöld pedig a kettő összegéből adódó becsült fogyasztást mutatja. A HMKE-k napi átlagos termelésén látható, hogy míg annak mértéke 2018 októberében még szabad szemmel nem volt érzékelhető (maximum 90 MW), addig 2023 októberében 7:30 és 18:00 között már jól látható értékeket mutat, sőt 11:00 és 14:00 között az 1000 MW-ot is meghaladja. A 2018-as és a 2023-as októberi becsült tényleges fogyasztás (szaggatott és folyamatos zöld görbe) igazolja azt a fenti hipotézist, amely szerint a becsült HMKE- és SCTE-termeléssel (látens fogyasztással) összesített napközbeni

⁹ Az őszi évszakhoz nem rendelkezünk még 2024. októberi adatokkal, ezért 1 évvel korábbi időszakot vizsgáltam, amelyet így a 2018. októberi adatokkal hasonlítottam össze.

fogyasztás nem esik vissza, hanem az esti csúcspotasztással¹⁰ megközelítően azonos szintet, 5600 MW körüli értéket vesz fel. Az is megfigyelhető továbbá, hogy 2018 októberében csekély (150 MW) eltérés mutatkozott a tényleges, illetve a hálózaton mért fogyasztás (a szaggatott zöld és a szaggatott kék görbe) között. Ez az eltérés 2023 októberére jelentős mértékben megnövekedett, és akár a közel 1000 MW értéket is meghaladta (a folytonos zöld és a folytonos kék görbe).

Megvizsgáltam, hogy ugyanebben az időszakban a napjainkban jellemző fogyasztási görbe hogyan alakul a munka-, illetve a munkaszüneti napokon.¹¹ Ezeknek a görbéknek az alakulását az F2. ábra mutatja. A vizsgált őszi időszakban az októberi hónap esetében látható, hogy 2023-ra a 2018-as értékhez képest emelkedett a munka- és a munkaszüneti napokon becsült átlagos tényleges fogyasztás.

- A munkanapi fogyasztás a 23:00 és 7:30 közötti időszakban nagyságrendileg 0–50 MW-ot csökkent, a 9:30 és 13:30 közötti időszakban viszont 300 MW-ot növekedett. Ez azt jelenti, hogy százalékosan a 23:00-tól 7:30-ig terjedő időszakban 1–1,5%-os a csökkenés, 9:30 és 13:30 között viszont 4–5%-os a növekedés.
- Munkaszüneti napokon az éjszakai fogyasztás értéke néhány tized százalékkal nagyobb mértékben (2%-kal) csökkent, a napközbeni fogyasztás értéke pedig egyes órákban jelentős mértékben (6–7%-kal) növekedett.

A 2018-as és 2023-as őszi fogyasztási görbék jellege változott: a munka- és a munkaszüneti napi fogyasztás esetén a fogyasztási csúcs már nem 18:00 és 20:00 között tapasztalható, hanem 10:00 és 13:00 között.¹²

A 99%-os konfidenciaintervallum mérete (az adott szín körüli világos sáv) némileg csökkent.¹³ Ennek az lehet az oka, hogy 2023-ban kevésbé ingadozhatott a hőmérséklet vagy a napsugárzás, mint 2018-ban. Megfigyelhető, hogy a munkaszüneti napokon 6:00 és 9:00, valamint 16:00 és 19:00 között megnövekszik a fogyasztás szóródása. Mivel ez a periódus a napfelkelte, illetve a napnyugta időszakra esik, a napok között feltételezhetően jelentős fény- és hőmérséklet-különbségek alakulhatnak ki.

¹⁰ Vagyis a 18:00 és 20:00 közötti 5500 MW-os értékkel.

¹¹ 2018 októberében és 2023 októberében is 22 munkanap, 4 szabadnap és 5 munkaszüneti nap volt.

¹² A fogyasztási csúcserték mindkét esetben már napközben tapasztalható, néhány MW-tal maga mögött hagyva az esti csúcserteket.

¹³ A munkaszüneti napon azért nagyobb a konfidenciaintervallum, mert kevesebb munkaszüneti naptól lehetett becsülni.

4.2. A téli villamosenergia-felhasználás elemzése

A Függelék F3–F4. ábrája a téli időszak esetében vizsgált januári¹⁴ adatokat mutatják be. Az F3. ábra szemlélteti, hogy a HMKE-k és az SCTE-k napi átlagos termelése 2018 októberéhez hasonlóan 2019 januárjában sem becsülhető meg szabad szemmel, 2024 januárjában viszont 8:00-tól 16:00-ig már jól kivehető értékeket mutat, sőt, csúcsertékén az 1000 MW körüli termelést is megközelíti. A 2019-es és a 2024-es januári becsült tényleges fogyasztás is igazolja a fenti hipotézist, amely szerint a becsült HMKE- és SCTE-termeléssel (látens fogyasztással) össze-sített napközbeni fogyasztás nem esik vissza, hanem 2019-ben megközelítőleg azonos szintet (6200 MW-ot), 2024-ben pedig az esti 6600 MW-os fogyasztásnál nagyobb értéket (6800 MW-ot) ér el. Tehát 2024-ben nem az esti időszakban, hanem napközben (9:00 és 13:00 között) éri el a hazai villamosenergia-hálózat a becsült fogyasztási csúcsát. Az is megfigyelhető, hogy míg 2019 januárjában szinte azonos a tényleges, illetve a hálózaton mért fogyasztás, 2024 januárjában már jelentős eltérés van a kettő között, ami azt jelenti, hogy a csúcstermelési időszakban akár közel 1000 MW is lehet az átlagos hálózati látencia.

Megvizsgáltam az ugyanezekben az időszakokban a munkanapokon, illetve a munkaszüneti napokon elfogyasztott villamosenergia-mennyiségeket is. Ezeket az F4. ábra szemlélteti. A téli időszakban vizsgált januári hónap esetében látható, hogy 2019-hez képest 2024 januárjára emelkedett az átlagos munka- és munkaszüneti napokon becsült tényleges fogyasztás: munkanapokon a 9:00 és 13:00 közötti időszakban nagyságrendileg 500 MW-ot, más időszakokban pedig 250 MW-ot fogyasztottak. Ez azt jelenti, hogy százalékosan 9:00-tól 13:00-ig 8–10%-os, ezeken az időszakokon kívül pedig 5–7%-os volt a növekedés. A 99%-os konfidenciaintervallum nagysága is növekedett 2019-hez képest, aminek az oka, hogy megemelkedett a fogyasztást napi szinten befolyásoló egyes tényezők (pl. napfény mennyisége, hőmérséklet) hatása.

4.3. A tavaszi villamosenergia-felhasználás elemzése

A Függelék F5–F6. ábrája azt mutatja, hogy 2019, illetve 2024 áprilisában miként alakultak a villamosenergia-fogyasztási, valamint a becsült HMKE- és SCTE-termelési adatok.¹⁵ Az F5. ábrán megfigyelhető, hogy a HMKE-k és az SCTE-k napi

¹⁴ Mindkét év januárjában 22 munkanap, 4 szabadnap és 5 munkaszüneti nap volt.

¹⁵ 2019 áprilisában 20 munkanap, 4 szabadnap és 6 munkaszüneti nap volt, míg 2024-ben eggyel több munkanap volt a munkaszüneti napok rovására.

átlagos termelése 2019 áprilisában már szabad szemmel is megbecsülhető volt.¹⁶ 2024 áprilisában 9:00 és 16:00 között már 1000 MW fölötti, a csúcstermelés idején pedig több mint 1600 MW teljesítményen termeltek. A 2019-es és a 2024-es áprilisi becslt tényleges fogyasztás szintén igazolja a fenti hipotézist, amely szerint a becslt HMKE- és SCTE-termeléssel (látens fogyasztással) összesített napközbeni fogyasztás nem esik vissza, hanem az egész napon belül megközelítőleg azonos szinten marad, 2024-ben pedig már napközben (9:00 és 14:00 között) van a becslt fogyasztási csúcs. 2019-ben szinte azonos a tényleges, illetve a hálózaton mért fogyasztás, 2024 áprilisában viszont jelentős eltérés látható, az átlagos hálózati látencia akár a több mint 1600 MW-os értéket is eléri.

A tavaszi időszakban vizsgált április hónap munka- és munkaszüneti napjain elfogyasztott villamosenergia-mennyiséget az F6. ábra mutatja. 2019 áprilisához képest 2024 áprilisára emelkedett az átlagos munka- és munkaszüneti napokon becslt tényleges fogyasztás.

- Munkanapokon a 23:00 és 7:30 közötti időszakban 50–100 MW-ot csökkent, 9:00 és 14:00 között pedig 400 MW-ot emelkedett.¹⁷ Ez azt jelenti, hogy százalékosan az éjjeli fogyasztáscsökkenés mértéke 1–2%-os volt, míg a nappali növekedés maximális értékei a 9:00–14:00 közötti időszakban 6–7% körül alakultak.
- Munkaszüneti napokon a fogyasztás jellemzően a napközbeni csúcsfogyasztás idején növekedett meg, közel 700 MW (15%) értékkel, az esti csúcsfogyasztás esetén viszont 200 MW (4%) körüli volt az emelkedés, míg az éjszakai fogyasztásban minimális csökkenés tapasztalható.

A 99%-os konfidenciaintervallum az április esetében minimális mértékben növekedett. A szóródásban a munkanapi fogyasztásnál figyelhető meg kisebb mértékű növekedés. A fogyasztási görbék jellege kismértékben változott, a nappali fogyasztási csúcs jobban kiemelkedett, így ekkor már két, vizuálisan is érzékelhető fogyasztási csúcs alakult ki: 10:00 és 13:00, illetve 19:30 és 21:20 között.

4.4. A nyári villamosenergia-felhasználás elemzése

A Függelék F7–F8. ábrája a 2019. júliusi és a 2024. júliusi¹⁸ villamosenergia-fogyasztási, valamint a becslt HMKE- és SCTE-termelési adatokat mutatja be munka-, illetve munkaszüneti napokon. A nyári időszakban vizsgált hónapról készített F7. ábrán már szabad szemmel is megbecsülhető a 2019. júliusi átlagos napi

¹⁶ Szemben a 2018. októberi és a 2019. januári adatokkal.

¹⁷ 14:30 és 16:30 között 50 MW-os emelkedés volt tapasztalható, más időszakban pedig nem volt változás.

¹⁸ 2019 és 2024 júliusában is 23 munkanap, 4 szabadnap és 4 munkaszüneti nap volt.

HMKE-termelés. 2024 júliusában pedig a HMKE-k és az SCTE-k a csúcspontjukon már közel 2000 MW teljesítményen termeltek. A 2019-es és a 2024-es júliusi becsült tényleges fogyasztás is egyértelműen igazolja azt a vizsgált hipotézist, amely szerint a becsült HMKE-termeléssel (látens fogyasztással) összesített napközbeni fogyasztás valójában nem esik vissza, csak a közcélú hálózat rendszerterhelésében nem jelenik meg. A fogyasztási görbe 2019-ben és 2024-ben is 12:30 és 13:30 között érte el a csúcspontját, ezek az értékek pedig jóval (900–1000 MW-tal) magasabbak az esti (20:00 és 22:00 közötti) rendszerterhelésnél. A 2019-es júliusi hónapot vizsgálva minimális a tényleges, illetve a hálózaton mért fogyasztás közti különbség. 2024 júliusában viszont jelentős hálózati látencia figyelhető meg, amelynek átlagos értéke a közel 2000 MW-os értéket is eléri.

A jelenlegi fogyasztási görbe napközbeni alakulását a júliusi munka- és munkaszüneti napok esetében is megnézttem. Az adatok az F8. ábrán szerepelnek. A nyári időszakban vizsgált július hónap esetében látható, hogy 2019-hez képest 2024-re jelentős mértékben megemelkedett a munka- és munkaszüneti napokon becsült átlagos tényleges fogyasztás.

- Munkanapokon a 23:00 és 7:00 közötti időszakban nagyságrendileg 300 MW-ot, a 11:00 és 17:00 közötti időszak esetén pedig 900–1000 MW-ot nőtt. Ez azt jelenti, hogy százalékosan 23:00-tól 7:00-ig nagyságrendileg 8%-os, 11:00 és 17:00 között pedig már 17–18%-os volt a növekedés. A 99%-os konfidenciaintervallum növekedése a július esetében is számottevő, vagyis jelentősen megemelkedett az olyan tényezők hatása, amelyek napi szinten befolyásolják a fogyasztást (pl. napfény mennyisége, hőmérséklet).¹⁹ A fogyasztási görbék jellege nem változott, a napi fogyasztási maximum 11:00 és 16:00 között látható, ami egybeesik a napelemes csúcstermelési időszakkal.
- Munkaszüneti napokon még jelentősebb a változás. Az éjszakai átlagos fogyasztás szintén 300 MW-ot növekedett, ez azonban esetenként már 10%-os, a nappali fogyasztás 900–1000 MW-os növekedése pedig 18–26%-os növekedést jelent. Ezeken a napokon is látványos a 99%-os konfidenciaintervallum szélesedése.

¹⁹ Ez feltehetően a klímahasználat terjedésének felgyorsulásával magyarázható.

5. Összehasonlítás a négy évszak vizsgált hónapjaira vonatkozóan

A fentiek alapján kijelenthető, hogy az alaphipotézis minden évszak általam vizsgált hónapjában igazolható. Napközben tehát nem esik vissza jelentősen a becsült tényleges fogyasztás. A HMKE-k és az SCTE-k termelésével (önfogyasztásával) becsült tényleges fogyasztás az eddig feltételezett esti fogyasztási csúcsnál magasabb fogyasztási csúcsot ér el napközben. Ez a tendencia különösen 2024-ben rajzolódik ki, ugyanis az átlagos hálózati látencia akár 2000 MW-ot meghaladó értéket is felvehet. Tehát a 2019-es fogyasztás – amikor még minimális mértékű (360 MW) HMKE és SCTE volt a hazai villamosenergia-hálózatban – megfelelő alapot szolgáltatott a hipotézis igazolásához, ám a 2024-es becsült fogyasztási értékek vizsgálatakor is hasonló következtetésre jutottam.

Változás tapasztalható a munkanapi fogyasztási görbék és fogyasztási csúcsok idejében (1. táblázat).

- Az őszi, a téli és a tavaszi fogyasztás egymáshoz hasonlóan változott. 2019-ben a munkanapokon kismértékű napközbeni fogyasztási csúcsok rajzolódtak ki, míg az esti fogyasztási csúcsok nagyobbak voltak, azonban azok értéke sem volt jelentősen kiugró. Tehát összességében elmondható, hogy a nappaltól estig tartó időszak fogyasztása (néhány száz MW-os ingadozástól eltekintve) közelítőleg azonos mértékű volt, azaz egy „lapos” fogyasztási görbét eredményezett minimális „esti púppal”. A fogyasztási profil a 2019-et követő években némileg változni kezdett: a napközbeni és az esti fogyasztások nagyobb mértékben növekedtek, mint a délutániak. Így fokozatosan egy „kétpúpú” fogyasztási görbe kezdett kialakulni 2024-re, a fogyasztási csúcsok pedig – ha csak néhány MW értékkel is, de – már nappal tapasztalhatók. Tehát a „fogyasztási csúcsok” helyett már érdemesebb a két csúcs közötti „fogyasztási völgyre” hivatkozni.
- A nyári fogyasztások esetében már 2019-ben is magasabb volt a napközbeni fogyasztás, esti fogyasztási csúcs pedig gyakorlatilag nem is volt érzékelhető. Ez 2024-ben sem változott. A nyári munkanapi fogyasztási görbe tehát 2019-ben és 2024-ben is „egypúpú” (napközbeni csúcsfogyasztással).

A munkaszüneti napok esetében a következő megfigyelések tehetők a fogyasztási görbék és a fogyasztási csúcsok kapcsán (1. táblázat):

- Mind 2019-ben, mind 2024-ben télen, tavasszal és ősszel is „kétpúpú” a fogyasztási görbe. Változás azonban, hogy 2019-ben az említett évszakokban még az esti fogyasztási csúcsok voltak a nagyobbak, 2024-ben viszont már a nappali fogyasztási csúcsok emelkedtek ki jobban.

- A nyári fogyasztás jellegében nem tapasztalható jelentős változás: a fogyasztási görbe 2019-ben és 2024-ben is „egypúpú”: a napközbeni fogyasztás 2019-ben is jelentősebb volt, mint az esti, ez a különbség pedig a következő években csak tovább növekedett.

1. táblázat

A becsült fogyasztási görbék jellegének változása évszakonként
Change in the nature of the estimated consumption profiles by season

Év	Ősz	Tél	Tavaszi	Nyár
Munkanap				
2019	lapos (esti csúcs)	lapos (esti csúcs)	lapos (esti csúcs)	egypúpú (napközbeni)
2024	kétpúpú (napközbeni)	kétpúpú (napközbeni)	kétpúpú (napközbeni)	egypúpú (napközbeni)
Munkaszüneti nap				
2019	kétpúpú (esti)	kétpúpú (esti)	kétpúpú (esti)	egypúpú (napközbeni)
2024	kétpúpú (napközbeni)	kétpúpú (napközbeni)	kétpúpú (napközbeni)	egypúpú (napközbeni)

További fontos megállapítás, hogy a napközbeni fogyasztási csúcsok egybeesnek a naperőművek termelésével. Ezáltal a napközbeni „megnövekedett” kereslet szintén megnövekedett kínálattal párosul. Azonban ugyanez nem mondható el az esti órákról, mivel akkor már csak elenyésző a kínálatnövekedés (csekély a naperőművek termelése). Ekkor ugyanis a fogyasztás a napközben tapasztalható csúcscsértékeknél csak kismértékben alacsonyabb. Szintén megállapítható, hogy a villamosenergia-fogyasztás növekedése nappal sokkal jelentősebb, mint éjszaka. A hálózaton mérhető villamosenergia-felhasználás (és feltételezhetően a globális hálózatterhelés) viszont éppen ezzel ellentétes: nappal jóval alacsonyabb. A lokális hálózatok terheltsége ellenben ezekben az órákban érheti el a csúcst, hiszen a HMKE-k által megtermelt villamos energiát el kell juttatni a közvetlen környezetükben lévő fogyasztókhoz.

A modell legjelentősebb limitációiként érdemes kiemelni a feltételezéseimet, amelyek szerint

- a HMKE-k termelése az ipari naperőművekhez képest 80%-os,
- a megtermelt napenergia felhasználása 100%, tehát nem szabályozzák le sem a háztartási kiserőműveket (HMKE), sem az ipari saját célra termelő (SCTE) naperőműveket.

Az említett limitációkat elsősorban a villamosenergia-árak figyelembevételével lehetséges feloldani, ugyanis pozitív piaci árak esetén a piaci szereplők gazdasági érdeke, hogy a megtermelt villamos energiát minél nagyobb mértékben értékesítsék. Így negatív árak esetén előfordulhat, hogy a megtermelt energiát nem teljes mértékben használja fel a termelő. Ez leginkább a csúcstermelésű órákban fordulhat elő. A konfidenciaintervallum kapcsán pedig fontos limitációja a modellnek a feltételezés, miszerint a fogyasztás becslt értéke normális eloszlású. Más eloszlások esetén a várható érték minimális eltérést mutathat, azonban a feltételezés a következtetések jellegén nem változtat. Ezen felül a konfidenciaintervallum határai és akár az intervallum szimmetriája is megváltozhat. Azonban fontos kiemelni, hogy a napon belüli és az évszakok (valamint évek) közötti összehasonlításban a normalitás feltételezése nem okoz információvesztést. Így megfelelő vizualizációs hatással bír, továbbá alkalmazásával releváns következtetések vonhatók le az évszakok és az évek közötti eltérésekre vonatkozóan.

6. Következtetések, összefoglalás

A hipotézist – miszerint nappal sem esik vissza a tényleges fogyasztás – igazoltam. Ezenkívül a modell alapján az alábbi főbb megállapítások tehetők a tényleges fogyasztásra vonatkozóan.²⁰

1. A munka- és a munkaszüneti napok tényleges fogyasztásaival kapcsolatban egyaránt megállapítható, hogy
 - a) a változékony évszakokban (ősszel és tavasszal) az éjszakai fogyasztás némileg csökkent, a nappali pedig közepes mértékben emelkedett;
 - b) a két, hőmérsékleti szempontból szélsőséges évszakban (tél és nyár) az éjszakai fogyasztás közepes, a nappali fogyasztás pedig jelentős mértékben emelkedett. A kettő közül a nyár tűnik ki jobban, ekkor ugyanis a nappali fogyasztás extrém mértékben nőtt.
2. A napközbeni fogyasztási csúcsok egybeesnek a naperőművek termelési profiljával,²¹ az esti magas fogyasztás esetében viszont jelentős az eltérés.²²
3. A nappali fogyasztásnövekedés jóval jelentősebb, mint az éjszakai. Ez feltételezhetően megegyezik a lokális rendszerterhelés növekedésével, azonban éppen ellentétes a hálózaton mért fogyasztás változásával.

²⁰ Ezeket a 2. és a 3. táblázat szemlélteti, a részletes grafikonok pedig a [Mellékletben](#) (M1., M2. ábra) találhatók.

²¹ Ez a nappali alacsony áramárak egyik fő oka.

²² Ez az esti magas áramárak egyik fő oka.

2. táblázat

**A becsült fogyasztási görbék jellegének változása
az egyes napszakokban, évszakonként**

*Change in the nature of the estimated consumption profiles at each time of day,
by season (% change)*

(%-os változás)				
Napszak	Ősz	Tél	Tavaszi	Nyár
Munkanap				
Éjszaka	–1	+5–7	–2	+8
Nappal	+4–5	+8–10	+6–7	+18
Munkaszüneti nap				
Éjszaka	–2–3	+4–6	–2	+8–10
Nappal	+4–10	+10–13	+10–15	+18–26

3. táblázat

**A becsült fogyasztási görbék jellegének változása az egyes napszakokban,
évszakonként**

*Change in the nature of the estimated consumption profiles at each time of day,
by season*

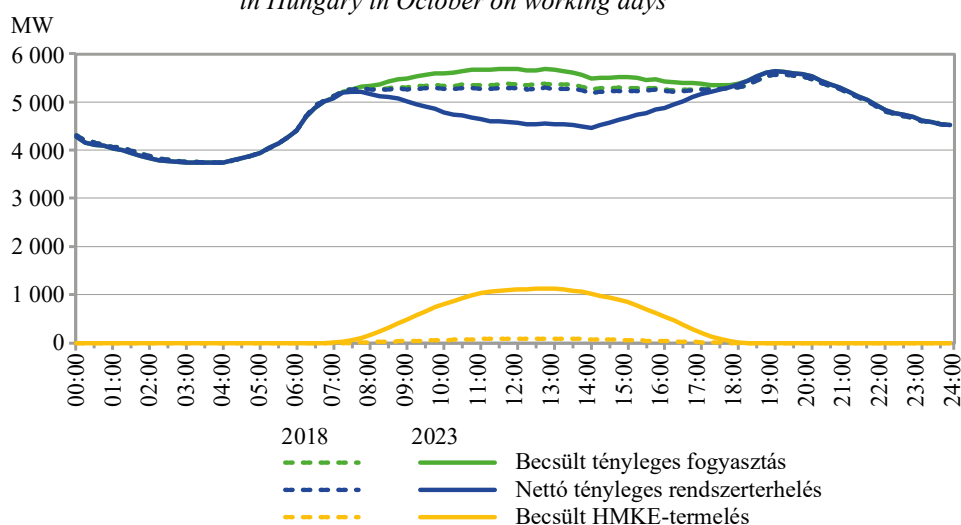
(MW)				
Napszak	Ősz	Tél	Tavaszi	Nyár
Munkanap				
Éjszaka	–50	250	–100	300
Nappal	300	500	400	1 000
Munkaszüneti nap				
Éjszaka	–100	200	–100	300
Nappal	450	600	600	1 100

Függelék

F1. ábra

Magyarország októberi becsült átlagos villamosenergia-fogyasztása, valamint becsült HMKE-termelése munkanapokon

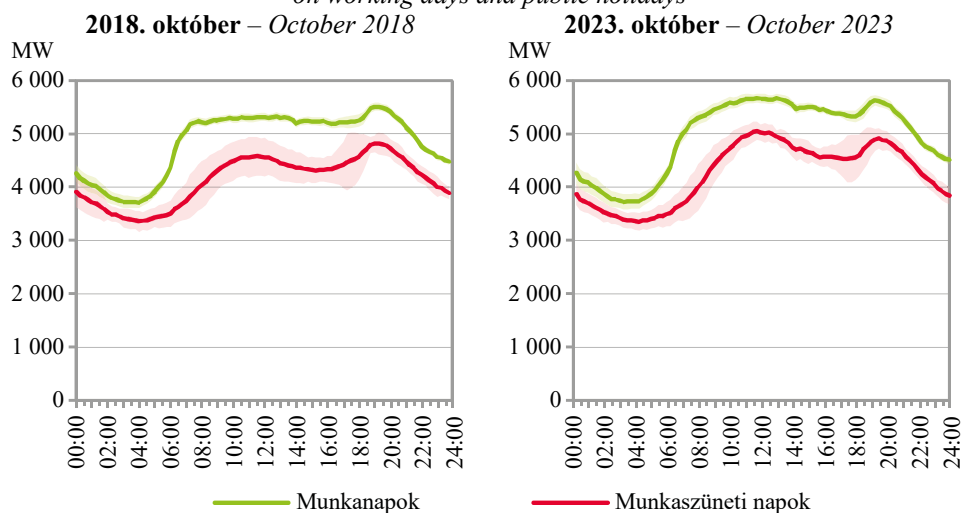
Estimated average electricity consumption and estimated electricity generation in Hungary in October on working days



F2. ábra

Magyarország becsült ténylegesen elfogyasztott villamosenergia-mennyisége munka- és munkaszüneti napokon

Estimated actual electricity consumption in Hungary on working days and public holidays

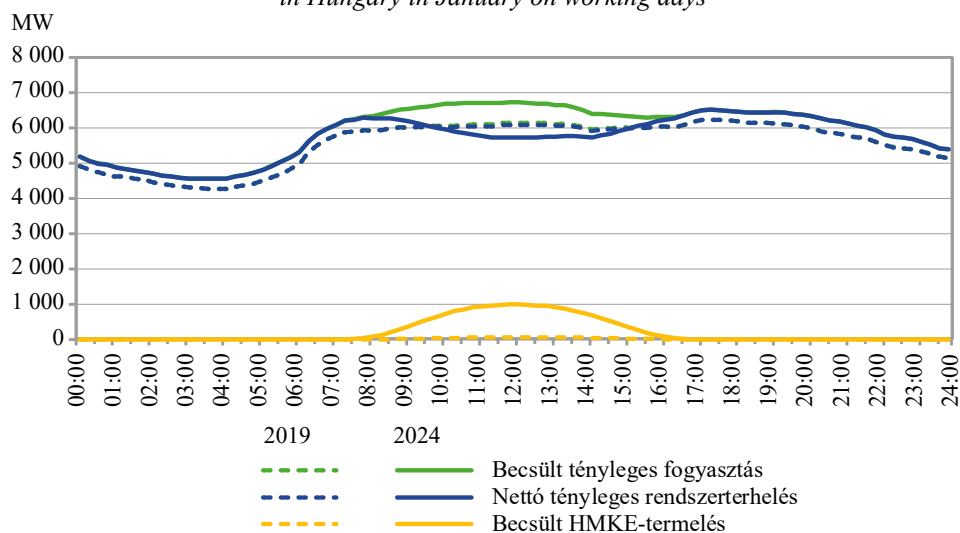


Forrás: saját szerkesztés.

F3. ábra

**Magyarország januári becsült átlagos villamosenergia-fogyasztása, valamint
a becsült HMKE-termelés munkanapokon**

*Estimated average electricity consumption and estimated electricity generation
in Hungary in January on working days*

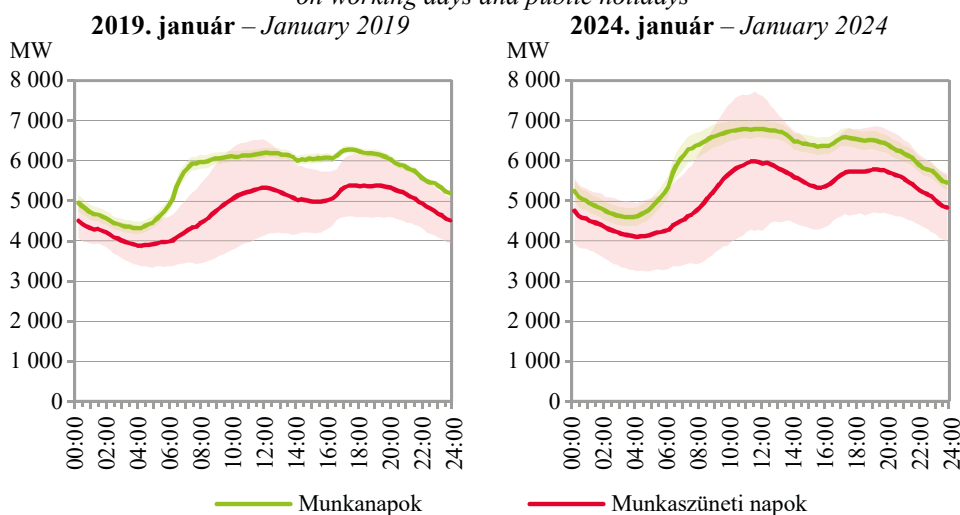


Forrás: saját szerkesztés.

F4. ábra

**Magyarország becsült ténylegesen elfogyasztott villamosenergia-mennyisége
munka- és munkaszüneti napokon**

*Estimated actual electricity consumption in Hungary
on working days and public holidays*

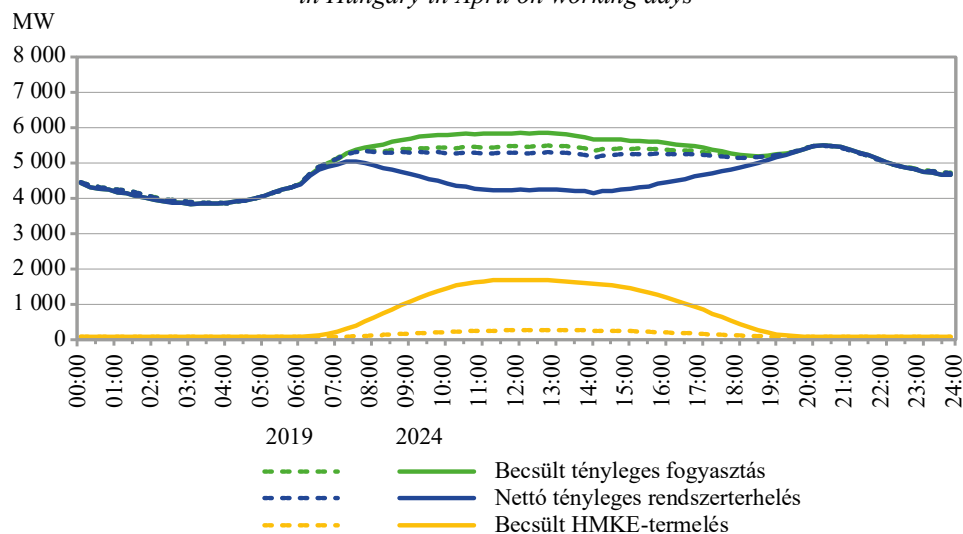


Forrás: saját szerkesztés.

F5. ábra

**Magyarország áprilisi becsült átlagos villamosenergia-fogyasztása, valamint
a becsült HMKE-termelés munkanapokon**

*Estimated average electricity consumption and estimated electricity generation
in Hungary in April on working days*

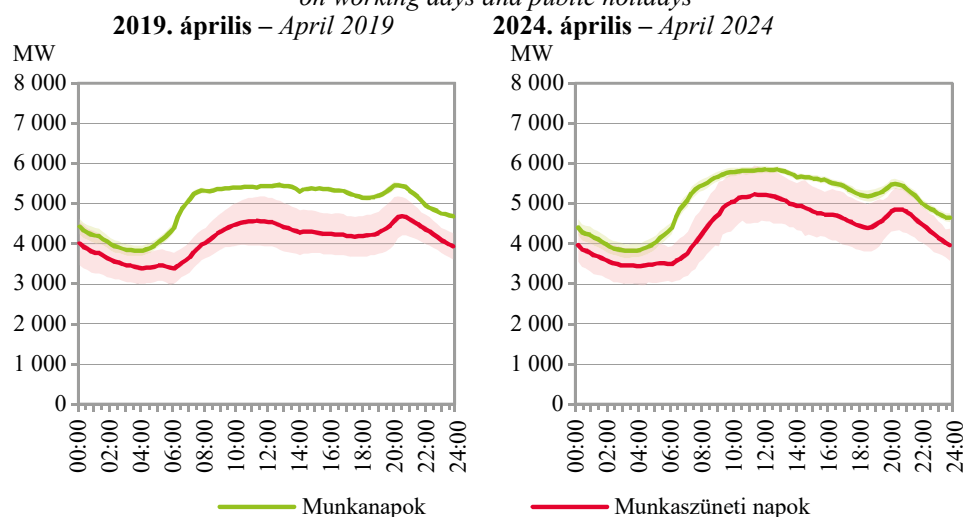


Forrás: saját szerkesztés.

F6. ábra

**Magyarország becsült ténylegesen elfogyasztott villamosenergia-mennyisége
munka- és munkaszüneti napokon**

*Estimated actual electricity consumption in Hungary
on working days and public holidays*

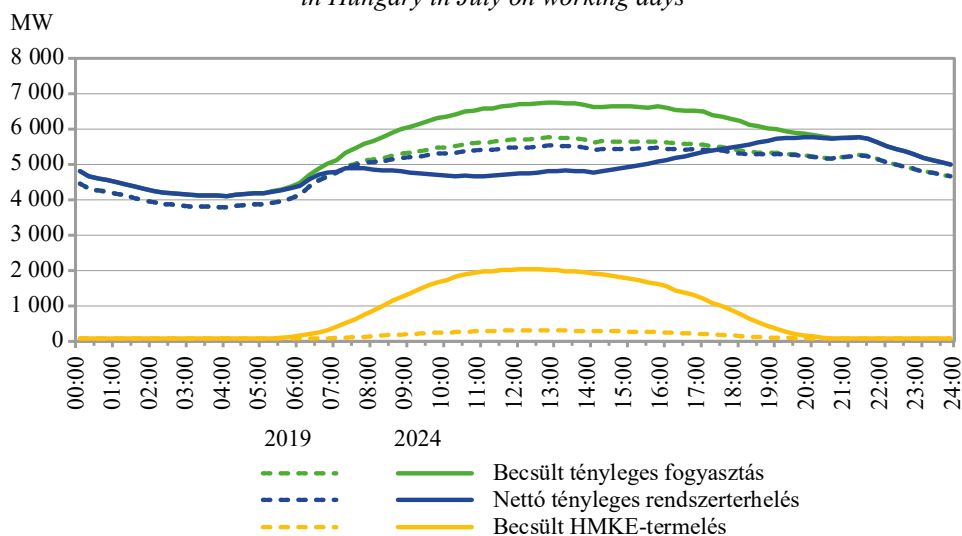


Forrás: saját szerkesztés.

F7. ábra

**Magyarország júliusi becsült átlagos villamosenergia-fogyasztása, valamint
a becsült HMKE-termelés munkanapokon**

*Estimated average electricity consumption and estimated electricity generation
in Hungary in July on working days*



Forrás: saját szerkesztés.

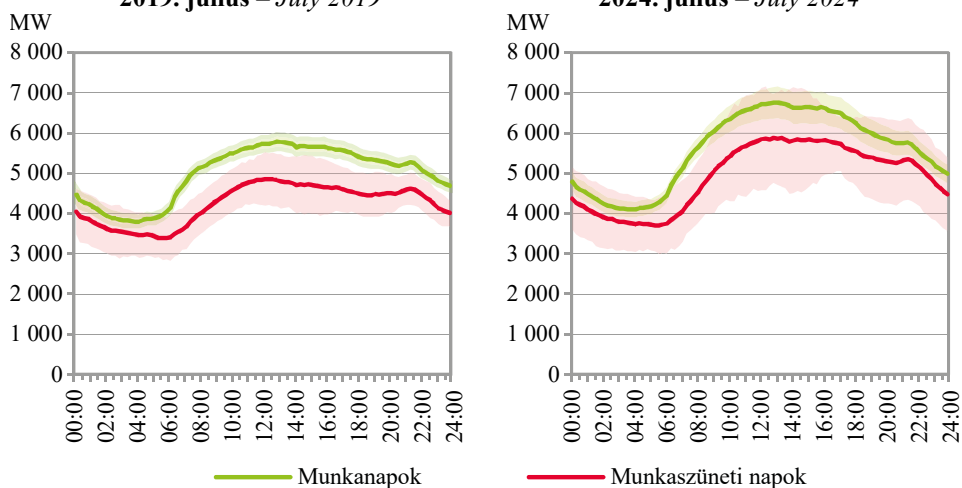
F8. ábra

**Magyarország becsült ténylegesen elfogyasztott villamosenergia-mennyisége
munka- és munkaszüneti napokon**

*Estimated actual electricity consumption in Hungary
on working days and public holidays*

2019. július – July 2019

2024. július – July 2024



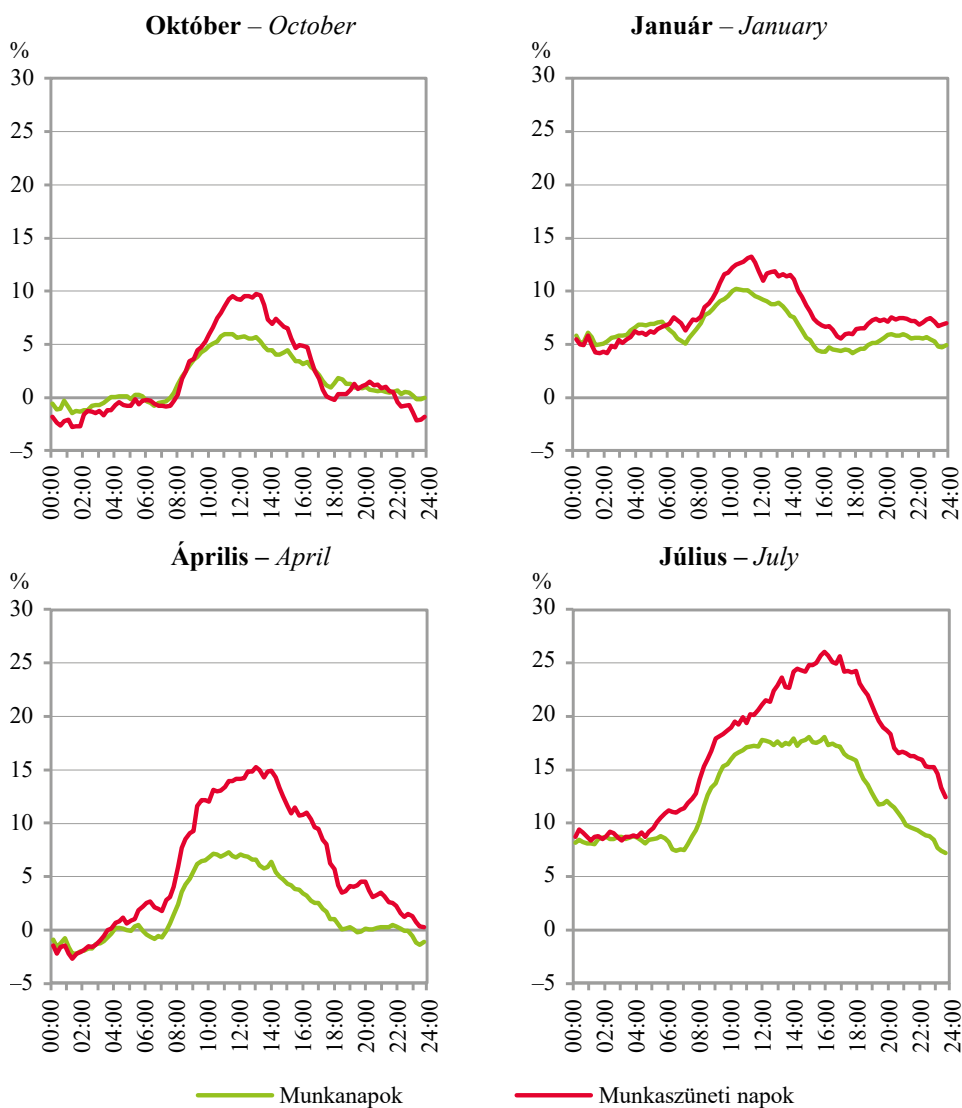
Forrás: saját szerkesztés.

Melléklet

M1. ábra

**A hazai villamosenergia-fogyasztás %-os változásai negyedórás bontásban
a négy évszak kiemelt hónapjaira vonatkozóan**

*Change in domestic electricity consumption
for the four investigated months of the year (%)*

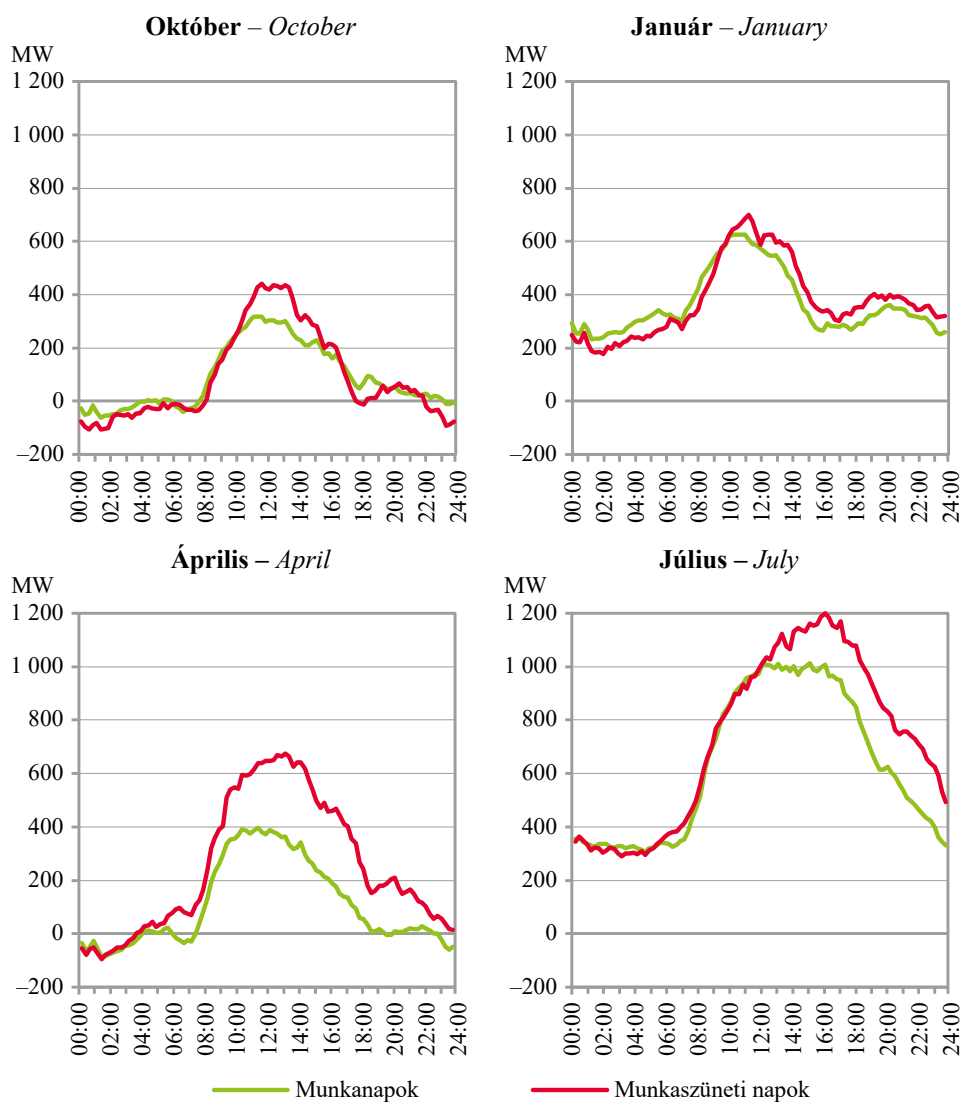


Forrás: saját szerkesztés.

M2. ábra

**A hazai villamosenergia-fogyasztás változásai negyedórás bontásban
a négy évszak kiemelt hónapjaira vonatkozóan**

Change in domestic electricity consumption for the four investigated months of the year



Forrás: saját szerkesztés.

Irodalom

- Bastos, B. Q. – Souza, R. C. – Cyrino Oliveira, F. L. (2015): Bottom-up Long-term Forecasting of Brazilian Commercial Class Electricity Consumption: First Results. *Procedia Computer Science*, 55, 388–394. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.088>
- Bianco, V. – Manca, O. – Nardini, S. (2009): Electricity consumption forecasting in Italy using linear regression models. *Energy*, 34(9), 1413–1421. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.06.034>
- Brucker B. – Jóna L. – Szemerédi E. (2024): Magyarország energiapiacának átfogó elemzése az Európai Unió változó prioritásainak tükrében. *Tér és Társadalom*, 38(1), 155–182. <https://doi.org/10.17649/TET.38.1.3516>
- Csermely Á. – Kaderják P. – Lengyel B. – Mészégető A. – Szolnoki P. (2024): Ellátásbiztonság az energiaátmenet időszakában. *Scientia et Securitas*, 4(3), 132–141. <https://doi.org/10.1556/112.2023.00217>
- Csipkés, M. – Pusztai, L. – Nagy, L. (2018): The Importance of Energy Management in Hungary. *International Journal of Engineering and Management Sciences (IJEMS)*, 3(1), 72–79. <https://doi.org/10.21791/IJEMS.2018.1.9>
- Csomós Gy. – Kulcsár B. (2014): A belföldi jövedelem és az energiafogyasztás összefüggéseinek vizsgálata a nagyvárosokban. *Debreceni Műszaki Közlemények*, 2014(1), 95–104. https://eng.unideb.hu/sites/default/files/inline-files/csomos_kulcsar.pdf
- Deák A. (2020): Az Európai Unió energiainport-függőségének vizsgálata az ezredfordulót követően. *Területi Statisztika*, 60(4), 425–460. <https://doi.org/10.15196/TS600402>
- Eurostat (2023): Electricity production capacities by main fuel groups and operator. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_inf_epc_custom_14948718/default/table?lang=en (letöltve: 2025. január)
- Harmsen, M. – Fragkiadakis, D. – Fragkos, P., – Vu, A. – Fazekas, D. – de Boer, H-S. – Dafnomilis, I. – den Elzen, M. – Hartvig, Á. – Bui, H. – Hooijschuur, E. – van Vuuren, D. (2024): How the Russian–Ukrainian war reshapes the climate policy context. *Environmental Research Letters*, 19(12), 124088. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad9490>
- Hartvig, Á. D. – Pap, Á. – Pálos, P. (2023): EU Climate Change News Index: Forecasting EU ETS prices with online news. *Finance Research Letters*, 54(103720), 103720. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2023.103720>
- Hartvig, Á. D. – Szabó, L. (2024): The assessment of residential demand-side management in Hungary. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal*, 27(3), 5–30. <https://doi.org/10.33223/epj/189359>
- Horváth G. – Szegedi S. – Zakar M. – Póka C. – Tóth T. (2023): A hazai lakossági villamosenergia szektor paradigmaváltása és a napelemes HMKE-k. *Földrajzi Közlemények*, 147(2), 202–217. <https://doi.org/10.32643/fk.147.2.10>
- International Energy Agency [IEA] (2023): *World Energy Outlook 2023*. Paris: IEA. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023> (hozzáférés: 2025. június)
- Jászay T. – Nieberl N. (2015): Trendek a magyarországi háztartások villamosenergia-fogyasztásában II. *Villanyszerelők Lapja*, 2015/12. <https://www.villanylap.hu/lapszamok/2015/december/3940-trendek-a-magyarorszag-i-haztartasok-villamosenergia-fogyasztasaban-ii>
- Kankal, M. – Akpınar, A. – Kömürçü, M. İ. – Özşahin, T. Ş. (2011): Modeling and forecasting of Turkey's energy consumption using socio-economic and demographic variables. *Applied Energy*, 88(5), 1927–1939. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.12.005>

- Kiss L. B. – Poór J. – Pintér Á. – Hollósy Zs. (2021): Megújuló energiák az EU közlekedésében, *Studia Mundi – Economica*, 8 (2), 47–59.
<https://doi.org/10.18531/Studia.Mundi.2021.08.02.47-59>
- Le, T. – Vo, M. T. – Vo, B. – Hwang, E. – Rho, S. – Baik, S. W. (2019): Improving Electric Energy Consumption Prediction Using CNN and Bi-LSTM. *Applied Sciences*, 9(20), 4237.
<https://doi.org/10.3390/app9204237>
- MAVIR (2024): Fotovoltaikus termelők (HMKE-SCTE-IPARI) beépített teljesítőképességének és egyéb főbb jellemzőinek alakulása 2009–2024.12.01-ig.
https://mavir.hu/documents/10258/291334733/PV+STATISZTIKA_20241201-ig_v1_HU.pdf
(hozzáférés: 2025. január)
- Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító ZRt. [MAVIR] (n. d.): *Energia-mix, erőművi termelés primer források szerinti megoszlása és import-export szaldó – nettó elszámolási mérés alapján*.
<https://mavir.hu/web/mavir/energia-mix-eromuvi-termeles-primer-forrasok-szerinti-megosz-lasa-es-import-export-szaldo-netto-elszamolasi-meres-alapjan>
(lekérdezés dátuma: 2025. január).
- Mohamed, Z. – Bodger, P. (2005): Forecasting electricity consumption in new zealand using economic and demographic variables. *Energy*, 30(10), 1833–1843.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2004.08.012>
- Molnár F. (2022): A hazai villamosenergia-ellátás biztonsága a fenntarthatóság tükrében, a karbonmentes források térnyerésének kérdései. Doktori értekezés, Óbudai Egyetem.
https://oda.uni-obuda.hu/bitstream/handle/20.500.14044/10342/Molnar_Ferenc_tezisfuzet.pdf
- Nejat, P. – Jomehzadeh, F., Taheri, M. M. – Gohari, M. – Abd Majid, M. Z. (2015): A global review of energy consumption, CO₂ emissions and policy in the residential sector (with an overview of the top ten CO₂ emitting countries). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 843–862.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.066>
- REFlex Project (n. d.): Forecast and eLOAD – Modelling of electricity demand.
<https://reflex-project.eu/model-coupling/forecast-and-eload/index.html>
(hozzáférés: 2025. június)
- Sugár A. (2011): A hőmérséklet hatásáról a villamosenergia- és gázfogyasztás magyarországi példáján. *Statisztikai Szemle*, 89(4), 379–398.
https://www.ksh.hu/statszemle_archive/all/2011/2011_04/2011_04_379.pdf
- Tóth G. – Jáger V. – Kovalszky Zs. – Bóday P. – Ádám D. – Kincses Á. (2023): A magyarországi háztartások energiafogyasztásának jellemzői az orosz–ukrán háború árnyékában. *Statisztikai Szemle*, 101(2), 118–144. <https://doi.org/10.20311/stat2023.02.hu0118>