

Közzététel: 2020. október 5.

A tanulmány címe:

## **A kijárási korlátozás hatása a villamosenergia-rendszer terhelési és árgörbéire Magyarországon**

Szerzők:

**HORTAY OLIVÉR**, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem PhD-hallgatója,  
a Századvég Gazdaságkutató Zrt. üzletágvezetője  
E-mail: hortay@eik.bme.hu

**SZÓKE TAMÁS**, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem PhD-hallgatója  
E-mail: szoke.t@eik.bme.hu

DOI: <https://doi.org/10.20311/stat2020.10.hu1131>

**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 (Sztj.) 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 Sztj. 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 98. évfolyam 10. számában megjelent, Hortay Olivér, Szóke Tamás által írt, 'A kijárási korlátozás hatása a villamosenergia-rendszer terhelési és árgörbéire Magyarországon' című tanulmány (link csatolása)*”

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

Hortay Olivér – Szóke Tamás

## A kijárási korlátozás hatása a villamosenergia-rendszer terhelési és árgörbéire Magyarországon\*

### Effects of home moving restrictions on electricity system load and price curves in Hungary

HORTAY OLIVÉR, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem PhD-hallgatója, a Századvég Gazdaságkutató Zrt. üzletágvezetője  
E-mail: hortay@eik.bme.hu

SZÓKE TAMÁS, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem PhD-hallgatója  
E-mail: szoke.t@eik.bme.hu

A szerzők a COVID-19-járvány terjedésének csökkentése érdekében 2020 tavaszán bevezetett országos kijárási korlátozás hatásait vizsgálják a napon belüli villamosenergia-terhelési és árgörbék szezonálisára. Az elemzéshez leíró statisztikai és dekompozíciós módszereket alkalmaznak. Kutatásuk legfontosabb eredménye, hogy az alacsonyabb aktivitás leginkább a hétköznap délelőtti csúcsokat és a kora délutáni „platókat” csökkentette, az esti csúcsokra pedig kis hatással volt. Bár a fogyasztás változékonysága mérséklődött, az áraké azonban növekedett: a délelőtti csúcsok jelentősen visszaestek, a minimumpontok áthelyeződtek hajnalról kora délutánra. Az időjárásfüggő megújuló energiaforrások nagyobb aránya, a fel- és leterhelési görbék eltérő jellemzői, valamint a szabályozható erőművek alacsonyabb aktivitása hozzájárult a szélsőséges árak kialakulásához.

TÁRGYSZÓ: kijárási korlátozás, terhelési és árgörbék, dekompozíció

This study examines the effects of the restriction on moving home, introduced in spring 2020 to reduce the spread of COVID-19, on the seasonality of intraday electricity load and price curves. Descriptive statistical and decomposition methods are used for this purpose. According to the results, the lower activity has mostly reduced weekday morning peaks and early afternoon ‘plateaus’ and had only little effect on evening peaks. Although volatility of consumption has declined, that of prices has increased: morning peaks have decreased significantly, with minimum points shifted from dawn to early afternoon. Higher rates of weather-dependent renewables, different characteristics of gradients, and lower activity of controllable power plants have contributed to extreme prices.

KEYWORD: restriction on moving home, gradients and price curves, decomposition

\* Az elemzés az Emberi Erőforrások Minisztériuma Új Nemzeti Kiválóság Program (ÚNKP-19-3-I-BME-123) pályázatának támogatásával készült.

A SARS-CoV-2 vírus okozta COVID-19-világjárvány első hulláma terjedésének lassítása érdekében a Magyar Kormány 2020. március 28-tól országos kijárási korlátozást vezetett be (*Magyar Közlöny* [2020a]). Az intézkedésről szóló rendelet egyrészt csak alapos indokkal engedélyezte a polgároknak lakóhelyük elhagyását, másrészt – az üzletek nyitvatartásának szabályozásán keresztül – közvetlen hatást gyakorolt bizonyos gazdasági tevékenységekre is. A korlátozásnak közvetett, tova-gyűrűző hatásai is voltak: például egyes vállalatok – beszállítási problémák miatt vagy a munkatársak közötti fertőzések megelőzése végett – abban az esetben is leál-lították termelésüket, ha azt a szabályozó eredetileg nem írta elő. Az országosan egységes korlátozást 2020. május 4-től egy területi alapon differenciált rendszer váltotta fel, amely – a főváros kivételével – nagyobb teret engedett az embereknek gazdasági és magánjellegű tevékenységeik elvégzésére (*Magyar Közlöny* [2020b]).

Az egy hónapot valamivel meghaladó országos korlátozás hatására megváltozó személyi és vállalati aktivitás becslésére, valamint a gazdasági és társadalmi következmények értékelésére irányuló kutatások a jövőben várhatóan kiemelt figyelmet kapnak a tudományos közösség részéről. Számos folyóirat, kutatóműhely, kormány-zati intézmény és elemzőház már most is külön platformokon foglalkozik a korona-vírus hatásaival. A szektoronként eltérő következmények közül kiemelkedően érde-kesek a járvány és az intézkedések villamosenergia-piacra gyakorolt hatásai. A táro-lási nehézségek miatt a terhelési görbe napon belüli eloszlása tükrözi a lakosság, az ipari termelők és a terciér szektor napon belüli aktivitását, így azok elemzése se-gítséget nyújthat a gazdasági szereplők viselkedésében történő változások azonosítá-sára. Ráadásul a magas frekvenciájú, rövid időn belül publikált, megbízható fogyasz-tási, termelési és áradatok kitűnő lehetőséget biztosítanak arra, hogy egy – az orszá-gos kijárási korlátozáshoz hasonló – időszak vagy esemény hatásai közvetlenül azok bekövetkezése után értékelhetők legyenek.

A napon belüli villamosenergia-fogyasztási és -árgörbék statisztikai és ökonometriai vizsgálatának jelentős hagyományai vannak mind a nemzetközi, mind a magyar szakirodalomban. A témában született kutatásokat többnyire két, egymás-sal összefüggő kérdés motiválja: egyrészt mely tényezők és milyen mértékben hatnak a fogyasztásra, valamint az árakra, másrészt hogyan növelhető ezeknek a változók-nak az előrejelzési hatékonysága. A kereslet alacsony rövid távú alkalmazkodási képességének (*Hortay–Szóke* [2019]), a kínálatoldali szereplők műszaki tulajdonsá-gainak (*Sensfuß–Ragwitz–Genoese* [2008]), valamint az időjárás hatásainak (*Sugár* [2011]) következtében mind a fogyasztási, mind az áridősorokban többszintű szezonális és többnyire trendhatás is azonosítható. Mivel önmagukban ezeknek a

hatásoknak, az idősorokban megjelenő autokorrelációnak és az áradatok esetében az erőműmixnek a figyelembevételével magas magyarázó erejű modellek építhetők, a dekompozíciós elemzések igen hasznosnak bizonyulnak az előrejelzésben. Azon túl azonban, hogy ezek a komponensek jó prediktorok, fontos információt szolgáltathatnak a fogyasztók és a termelők aktivitásáról, illetve annak változásáról is.

Ez a cikk az országos kijárási korlátozás időszakának órás frekvenciájú villamosenergia-fogyasztási és másnapi piaci adatainak végzett dekompozíciós elemzés eredményeit veti össze a megelőző három év azonos időszaki eredményeivel. A tanulmány célja megbecsülni, hogy a kormányzati intézkedés hatására hogyan változott meg a villamosenergia-piac szezonalitása. Írásunk – a bevezetésen túl – négy fő fejezetből áll. Az 1. fejezet áttekintést nyújt a fontosabb, villamosenergia-terhelési és -árgörbék tulajdonságairól, valamint dekompozíciójáról szóló korábbi tudományos munkákról. A 2. fejezet bemutatja az elemzéshez használt adatsorokat, valamint a vizsgálati módszert. A 3. fejezet részletezi a leíró statisztika és a dekompozíciós modell becslésének eredményeit. Végül, az eredményekből levonható következtetéseket, valamint a jövőbeli kutatási irányokat a 4. fejezet tartalmazza.

## 1. Szakirodalmi háttér

A tárolási nehézségek, a fogyasztási és – a megújulók terjedésével növekvő – termelési oldali bizonytalanságok, valamint az ellátásbiztonsági követelmények együttesen jelentős piacszerkezési kihívások elé állítják a villamosenergia-szektor. A rendszerirányítók és a kereskedők részéről egyaránt nagy igény mutatkozik a jövőbeli keresleti és árgörbék előrejelzésére, ami a tudományos közösség figyelmét is a probléma felé fordította. Az ezredforduló óta sorra jelennek meg azok a nemzetközi és hazai tanulmányok, amelyek újabb és újabb módszertani megközelítéssel kínálnak megoldásokat a villamosenergia-szektor sajátosságainak kezelésére. Mind a terhelési, mind az árgörbék esetében a legintenzívebben vizsgált hatások a szezonalitás és az erős időjárásfüggés.

A kereslet rövid távú előrejelzésére vonatkozó egyik legtöbbet idézett munka *Pardo, Meneu és Valor* [2002] korai tanulmánya, amely az 1998-as spanyol villamosenergia-piaci deregulációt követően vizsgálta az ország aggregált rendszerterhelési adatainak napon belüli alakulását. A szerzők fő megállapítása, hogy mindössze a hőmérséklet, a szezonalitás és az autokorreláció figyelembevételével kitűnően előre jelezhetők rövid távon a keresleti adatok. Ez azt jelenti, hogy az emberek viselkedésében tapasztalható eltérések az aggregáció során kioltják egymást, és a napi rutin társadalmi szinten, igen robusztusan jelenik meg. A napon belüli terhelési mintázatok idő-

ben állandók, így több szerző mellett érvel, hogy a terhelési görbéket nem idősorként, hanem óránként önálló adatpontokként érdemes modellezni. Például *Dordonnat, Koopman és Ooms* [2009] periodikus regressziós modellt készítettek, amelyben minden egyes órára külön-külön becsülték meg az együtthatókat. *Soares és Medeiros* [2008] még jobban elrugaszkodtak az eredeti idősoros elképzeléstől, és nemcsak elválasztották egymástól az órákat, de az egyes periódusokra más módszert is alkalmaztak. A szerzők mellett érveltek, hogy mivel a társadalom viselkedése merőben eltér az egyes napszakokban, nem lehet azokat egyformán kezelni, és míg a hajnali órákra tökéletesen elegendő az egyszerű dekompozíciós szemlélet, addig a magasabb bizonytalanságú csúcsidőszakokban nemlineáris modelleket kell használni. A vegyes modellel brazil adatokon jobb előrejelzést értek el, mint amit kizárólag az egyik típus alkalmazása eredményezett volna. És bár napjainkig számos további alternatív módszertani javaslat jelent meg az előrejelzések pontosítására, korántsem egyértelmű, hogy a modellek összetettségének növelése egységesen jobb eredményekre vezet-e a hagyományos dekompozícióra építő eljárásoknál. Néhány éve *Clements, Hurn és Li* [2016] ausztrál adatokon mutatták be, hogy egy egyszerű legkisebb négyzetek módszerével becsült, lineáris regresszió, amely figyelembe veszi a többszintű szezonalitást, a különleges napokat, a trend- és hőmérsékletváltozást, valamint a korábbi értékeket, jobb eredményeket ad a bonyolult nemlineáris és nemparaméteres modelleknél.

A terhelési görbék előrejelzésében napjainkra egy másik vitapont is kezd kibontakozni. Az okos mérés terjedésével egyre több országban lehetőség nyílik egyéni szintű mérési adatokat is figyelembe venni a modellekben, ami egy egészen új, alulról építkező, ágensalapú megközelítést tesz lehetővé. Noha a témában még nem áll rendelkezésre elegendő tanulmány ahhoz, hogy az eredmények összevethetők legyenek az aggregált megközelítéssel, úgy tűnik, hogy az egyéni adatok alkalmazásának minimum kiegészítés szintjén komoly létjogosultsága lehet a jövőben (*Bessec-Fouquau* [2018]).

Az energiapiaci dekompozíciós elemzéseknek a magyar tudományos szakirodalomban – különösen a *Statisztikai Szemle* esetében – is vannak előzményei, amelyek jellemzően az időjárási hatások mérésére fókuszálnak. *Sugár* [2011] a villamosenergia- és gázpiacon vizsgálja a hőmérséklet hatását a fogyasztásra. Előbbi esetében nemlineáris összefüggést azonosít: bizonyos hőmérséklet alatt a fűtési igények, bizonyos hőmérséklet felett pedig a hűtési igények növelik a villamosenergia-fogyasztást, a töréspontok között azonban a hatás elhanyagolható. *Mák* [2015] a földgázfogyasztás szezonális kiigazítását pontosítja az időjárás sztochasztikus hatásának figyelembevételével (a szezonális kiigazítási eljárásokról egy korai kétrészes munkájában *Sugár* [1999a], [1999b] nyújt részletes áttekintést).

A rendszerterhelési adatokon túl még több cikk foglalkozik a piaci árak előrejelzésével, ami egyrészt a probléma nagyobb komplexitásának, másrészt a jelentős piaci igényeknek köszönhető. A főbb kutatási eredményekről és a jövőbeli irányok-

ról a – szerzők által ismert – legszélesebb körű áttekintést *Weron* [2014] nyújtja, aki öt alapvető előrejelzési megközelítéscsoportot azonosít: a jellemzően hosszú távú, stratégiai prognózisokhoz alkalmazott multiágens és fundamentális modelleket, a leginkább kockázatkezelésre használt sztochasztikus folyamatokból kiinduló modelleket, valamint a rövid távú előrejelzésre leginkább alkalmas mesterséges intelligenciára építő statisztikai és ökonometriai modelleket. A *multiágens* megközelítés az árat az egyes termelők vagy vállalatok önálló viselkedésének modellezésével, valamint a szereplők közötti interakciók szimulálásával állítja elő. A villamosenergia-termelőkre gyakran alkalmazott multiágens-alapú egyensúlyi logika például a Cournot-verseny. Ezzel szemben a *fundamentális* modellek a szereplők önálló döntései és viselkedése helyett azok gazdasági és technológiai adottságaira fókuszálnak. Például az ún. „merit order” megközelítésben az ár az egyes termelési technológiák határköltségei alapján felrajzolható lépcsőzetes kínálati függvény és a teljesen rugalmatlan keresleti függvény metszéspontja. A *sztochasztikus* modellek fő sajátossága, hogy mivel a villamosenergia-árak nem írhatók le a kvantitatív pénzügyekben hagyományosan alkalmazott folyamatokkal (például Brown-mozgással), így más (például Ornstein–Uhlenbeck-) folyamatok ártüskékkel és időszaki változásokkal kiegészített típusait alkalmazzák. Végül, a rövid távú előrejelzésben a *mesterséges intelligenciára*, illetve a *hagyományos ökonometriai módszerekre* építő modellek versengenek egymással, és – bár előbbinek alkalmazása egyre nagyobb teret nyer – a legnagyobb szerepe még mindig az utóbbinak van mind a tudományos szakirodalomban, mind a piaci szereplők körében.<sup>1</sup>

A magyar nyelvű szakirodalomban a fundamentális megközelítésű munkák mellett (például *Gordos* [2005] vagy *Paizs* [2015]) a HUPX (Hungarian Power Exchange – szervezett villamosenergia-piac) nyitása óta<sup>2</sup> a statisztikai és ökonometriai munkák is egyre nagyobb számban jelennek meg. A HUPX-en elsőként elinduló másnapi piac árfolyamatainak megértését nagymértékben segítette *Marossy* [2011], aki az Európában már működő két legnagyobb tőzsde – az European Energy Exchange és a Nord Pool – másnapi áradatainak tulajdonságait vizsgálta. *Marossy* leíró megállapításai – a kiugróan magas és alacsony árak (továbbiakban ártüskék) gyakorisága, a többszintű szezonális, a magas autokorreláció jelenléte, az átlaghoz való visszahúzás, valamint az árakhoz rendelt vastagszélű Fréchet-eloszlás – azóta eltérő mértékben ugyan, de a magyar piacon is beigazolódtak. Az energiapiaci árfolyamatok egymásra ható sztochasztikus trendjének és szezonálisának tesztelésére kínál megoldást *Mák* [2014], aki továbbra is nagyobb európai tőzsdei adatokon végzi el tesztjeit. A magyar villamosenergia-rendszer esetében fontos – és egyre növekvő jelentőségű –

<sup>1</sup> Maga *Rafal Weron* is, aki a villamosenergia-árak előrejelzési modelljeinek kimagasló jelentőségű kutatója, ezzel a területtel foglalkozik a legintenzívebben.

<sup>2</sup> A magyar piac liberalizációjáról, a szervezett kereskedés bevezetéséről és a szabályozói környezetről *Gáspár, Vér és Závecz* [2011] nyújtanak áttekintést.

tulajdonság a külföldi piacokkal való erős összekapcsoltság, ezért a nagyobb európai tőzsdék jelentős hatást gyakorolnak a HUPX-en kialakuló árakra. A német és magyar piaci árak közötti konvergenciát *Kácsor* [2017] vette górcső alá.

A koronavírus-járvány villamosenergia-piaci hatásairól jelen tanulmány születekor még nem állnak rendelkezésre tudományos publikációk, azonban annak értékelését a fontosabb nemzetközi és hazai intézetek már megkezdték. Az *International Energy Agency* [2020] áprilisban konferenciát szervezett a járvány energiapiaci hatásairól, valamint külön jelentést publikált a már érzékelhető globális hatásokról. A jelentés rámutat, hogy a különböző mértékű korlátozások országoként eltérően csökkentették a keresletet (a vizsgált hónapban átlagosan 20 százalékkal), de a termelőegységek leállítása miatt szinte mindenhol növekedett a lakossági fogyasztás aránya az aggregált terhelésekben. A dokumentum Spanyolország példáján keresztül szemlélteti, hogy a fogyasztás napon belüli eloszlása minden nap a korábbi vasárnapi mintázathoz vált hasonlónvá. A termelők közül a piaci hatásoktól – a tarifátámogatások miatt – védettebb, megújuló alapú erőműveket érintették legkevésbé a korlátozások, ezzel szemben a hagyományos erőművek kibocsátásai jelentősen csökkentek. Az árakban is jelentős visszaesés mutatkozott, amit Európában – az előbbi folyamatokkal összefüggésben – a bezuhanó szén-dioxid-kvóta árai is befolyásoltak. A cikk elkészítéséig Magyarországon a *Regionális Energiagazdasági Kutatóközpont* [2020] szervezett konferenciát, amelyen több fontos piaci entitás képviselője számolhatott be az elsődleges tapasztalatairól, valamint a márciusi hatásokról részletes áttekintőt publikált a *Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal* [2020] is. Amellett, hogy a konferencia és a jelentés főbb megállapításai erősen tükrözik a nemzetközi folyamatokat, kiemelendő, hogy a hivatal rámutat a piaci árakban megjelenő trendhatásra, ami a piac folyamatos alkalmazkodását vetíti előre.

## 2. Adatok és módszertan

A fejezet az elemzéshez felhasznált adatokat és azok forrásait ismerteti, valamint bemutatja az alkalmazott dekompozíciós módszert. A dekompozíció mellett az adatokból egyszerű leíró statisztikai módszerekkel is lényeges megállapítások tehetők, ezeket azonban a következő, 3. fejezet tartalmazza.

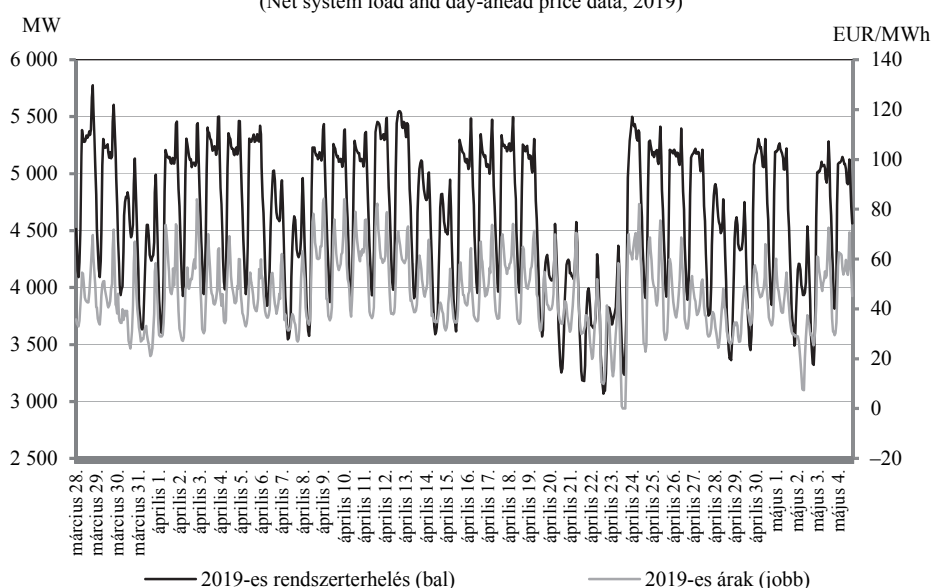
### 2.1. Adatok

Jelen cikk a 2020. március 28. hajnaltól induló és 2020. május 3. éjfélig tartó országos kijárási korlátozásban érintett időszak villamosenergiafogyasztás- és áradatait hasonlítja össze a 2017-es, 2018-as és 2019-es évek azonos időszakának adatai-

val. Az információkat három forrásból gyűjtöttük. A nettó tényleges rendszerterhelési és a tüzelőanyag szerinti bontású, nettó elszámolási mérés alapján közölt termelési adatokat<sup>3</sup> a MAVIR (Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító) adatbázisából töltöttük le (MAVIR [2020]). Az áradatak a HUPX másnapi piacának historikus adatpublikációiban találhatóak (HUPX [2020]). Végül, a hőmérsékletadatok az Open Weather adatbázisából származnak (Open Weather [2020])<sup>4</sup>. A dekompozíció alapjául egységesen az órás frekvenciájú adatok szolgáltak.

A tavaszi óráátállítás a 2019-es és 2020-as években a vizsgált időszakra esett<sup>5</sup>, így ezek az idősorok egy adatponttal rövidebbek a másik két vizsgált évnél. A nap-tárhásokat bináris változók kezelik, amelyek megkülönböztetik a hétköznapokat, a hétvégéket és a hétköznapra eső ünnepnapokat.<sup>6</sup> A 2019-es és a 2020-as időszak rendszerterhelési, valamint másnapi piaci áradatait az 1. és 2. ábrák szemléltetik. Az ábrákon jól láthatók a szakirodalmi áttekintésben hangsúlyozott piaci sajátosságok: az erős szezonális és az árak magas volatilitása.

1. ábra. Az időszak nettó rendszerterhelési és másnapi piaci áradatai, 2019  
(Net system load and day-ahead price data, 2019)



Megjegyzés. A jobb áttekinthetőség érdekében az 1. és a 2. ábra y tengelye 2 500 MW-tól indul.  
Forrás: MAVIR [2020].

<sup>3</sup> Az erőművek önfogyasztásán felüli termelés.

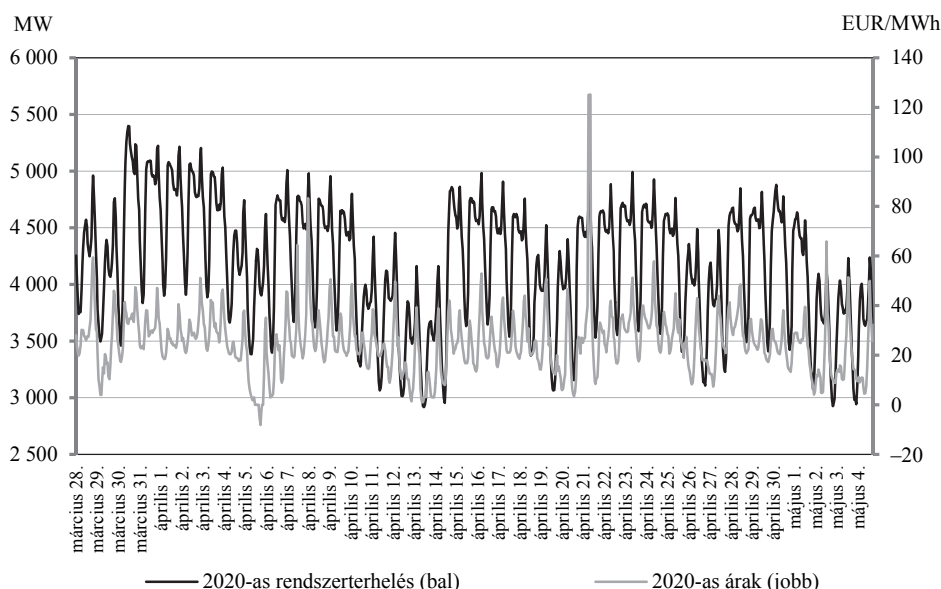
<sup>4</sup> Az országos átlaghőmérsékletet a budapesti mérési adatokkal közelítettük.

<sup>5</sup> A tavaszi óráátállítás 2019-ben március 31-re, 2020-ban pedig március 29-re esett.

<sup>6</sup> A vizsgált négy esztendőben a következő ünnepnapok estek hétköznapra: 2017.04.14., 2017.04.17., 2017.05.01., 2018.03.30., 2018.04.02., 2018.04.30., 2018.05.01., 2019.04.19., 2019.04.22., 2019.05.01., 2020.04.10., 2020.04.13., 2020.05.01.



2. ábra. Az időszak nettó rendszerterhelési és másnapi piaci áradatai  
(Net system load and day-ahead price data)



Forrás: HUPX [2020].

Az árak dekompozíciójához felhasználtuk a termelési adatokat is, amelyeket a MAVIR tüzelőanyag szerinti bontásban közöl. Mivel a bontás részletesebb az elemzéshez szükségesnél, a biomassza- és hulladékkategóriákat összevontuk. Az olaj, a folyóvízes, a víztározós, a geotermikus, az egyéb megújuló és az egyéb primer energiahordozójú erőműveket egyetlen közös aggregált kategóriába soroltuk.

## 2.2. Módszertan

A tanulmány a villamosenergia-felhasználás (nettó rendszerterhelés) és a villamosenergia-piacon referenciaárnak tekintett másnapi piaci árak napi görbéinek változását vizsgálja a koronavírus-járvány és az ennek következtében bevezetett kijárási korlátozás hatására. Az elemzés céljaihoz megfelelő módszertan megválasztásánál kiemelt prioritású célkitűzés volt a felhasznált adatok jellegének megfelelő, de lehetőleg minél egyszerűbb és könnyen értelmezhető, ugyanakkor a kutatási kérdések szempontjából robusztusnak tekinthető módszer használata.

A rendszerterhelést és a másnapi árakat is igen erős, napon belüli és naptípustól (hétköznap, hétvége, ünnepnap) függő szezonális jelleg jellemzi. Ez a szezonális az

emberek időhöz kötődő munkahelyi és magánviselkedését tükrözi, ami a járványhelyzet és az azt kezelő intézkedések hatására legalább ideiglenesen átalakult. A szezonális hatások<sup>7</sup> jól közelíthetők a megfelelő időszakokra számított – szezonális – átlagokkal; mivel emellett más hatások is jelentkezhetnek, ezért célszerűbb regressziós modellt alkalmazni. A fogyasztási szokásokra ható fontos és jól mérhető tényező a hőmérséklet, amelynél a feladat az adott órában megszokottól való eltérés hatásának becslése. Bármely termék keresletét alapvetően befolyásolja annak ára, azonban a villamosenergia-piacon alacsony a rövid távú ár rugalmasság (*Hortay–Szóke* [2019]), így a másnapi piaci árak keresletre gyakorolt hatása elhanyagolható, ezért a rendszerterhelés alakulását leíró modellben nem szerepel. Viszont mind a szezonális hatás, mind a hőmérséklet hatása exogén a villamosenergia-fogyasztást tekintve, ezért a rendszerterhelés szezonális hatásának és a hőmérséklet hatásának becsléséhez a legkisebb négyzetek módszerét választottuk. A panelstruktúrájú elemzésben az egyes évek alkották a paneleket, az éven belüli dátum és időpont pedig az időbeli megfigyeléseket. A specifikált fixhatásmodell egyenlete a következő:

$$RT_{i,t} = \text{const.} + \alpha_i + \beta \mathbf{S}_{i,t} + \beta_{2020} D_{2020} \mathbf{S}_{i,t} + \gamma T_{i,t} + \gamma_{2020} D_{2020} T_{i,t} + \varepsilon_{i,t},$$

ahol

- $R$  a rendszerterhelés,
- $\alpha_i$  az egyes évekhez köthető fixhatás (például a háztartási napelemek mennyisége az adott évben),
- $\mathbf{S}_{i,t}$  a szezonális hatásokat kódoló bináris (dummy) változók vektora (a nap órái, hétvége, ünnepnap dummyk és ezek interakciói, összesen  $3 * 24 = 72$  db változó),
- $\beta$  a szezonális hatásokat kódoló dummy változókhoz tartozó együtthatóvektor,
- $D_{2020}$  a 2020-as évet kódoló dummy változó,
- $\beta_{2020}$  a 2020-as év eltérő szezonális hatásait kódoló  $D_{2020} \mathbf{S}_{i,t}$  interakció együtthatóvektora,
- $T_{i,t}$  az adott órában szokásostól eltérő hőmérséklet,
- $\gamma$  a hőmérséklet együtthatója,
- $\gamma_{2020}$  a 2020-as év eltérő hőmérséklet függését kódoló  $D_{2020} T_{i,t}$  interakció együtthatóvektora,
- $\varepsilon_{i,t}$  a hibatag.

<sup>7</sup> A napon belüli és a naptípusokhoz köthető szezonális hatást is ideértve. Az évszakokhoz köthető szezonális hatással a különböző évek áprilisi időszakainak összehasonlítása miatt nem szükséges foglalkozni.

A specifikációból látszik, hogy a modell additív összefüggést feltételez.<sup>8</sup> A hőmérséklet napi ingadozása is erős szezonalitást követ – ami részben az emberek szokásos napi rutinjának kialakulását is meghatározza –, ezért az adott órában szokásos hőmérséklettől való eltérés becslésére segédregressziót alkalmaztunk, hogy a hőmérséklet ne vegye fel a szezonális hatást.

Az árak esetén a szezonális és a hőmérséklet hatásának modellezése analóg módon történt, azonban itt újabb változókat emeltünk a modellbe. A másnapi árak egyenlete a következő:

$$P_{i,t} = \text{const.} + \alpha_i + \beta \mathbf{S}_{i,t} + \beta_{2020} D_{2020} \mathbf{S}_{i,t} + \gamma T_{i,t} + \gamma_{2020} D_{2020} T_{i,t} + \delta \mathbf{E}_{i,t} + \varepsilon_{i,t},$$

ahol

- $P_{i,t}$  a másnapi piaci ár,
- $\mathbf{E}_{i,t}$  a különböző tüzelőanyagokhoz köthető termelések változó vektora,
- $\delta$  a különböző tüzelőanyagokhoz köthető termelésekhez tartozó együtthatóvektor.

A különböző tüzelőanyagokkal működő erőművek termelését tekintve is erős a szezonális a szokásos menetrendezés vagy – például a napelemek termelése esetén – a természetes folyamatok következtében. Ezért lineáris trend- és szezonális szűrést alkalmaztunk, segédregressziók segítségével. A nem szabályozható megújulóknál a modell a nap 24 óráját, a szabályozható erőműveknél pedig a naptárhatásból és a nap 24 órájából eredő interakciókat veszi figyelembe.

A panelmodellek specifikálásánál dönteni kellett a fixhatás- és a véletlenhatásmodellek között. A Breusch–Pagan-teszt alapján mindkét esetben elvetettük a  $H_0: \text{Var}(\alpha_i) = 0$  hipotézist, ezért végül konzisztens fixhatást becsültünk. Ennek során heteroszkedaszticitás és autokorreláció konzisztens hibákkal számoltunk. Mivel a változókat megtisztítottuk a szezonalitástól, így kisebb esélye volt a multikollinearitásnak, ez aztán a tesztek során is bebizonyosodott. A VIF (variancia inflációs faktor) értéke minden változó és mindkét becslés esetén a várakozásoknak megfelelően az ökölszabályként használatos 3-as érték alatt maradt.

<sup>8</sup> A szezonális dekompozíció során alternatívaként multiplikatív specifikációt is illesztettünk, de az additív modell illeszkedése bizonyult jobbnak.

### 3. Eredmények

A következőkben két alfejezetben közöljük az elemzés eredményeit: egyrészt összehasonlítjuk a vizsgált időszakok leíró statisztikai mutatóit, másrészt ismertetjük a dekompozíciós változóknál tapasztalt, napon belüli eloszlásra vonatkozó átrendeződéseket.

#### 3.1. Leíró statisztika

Az alfejezet a változók legfontosabb leíró statisztikáit közli éves bontásban. (Lásd a táblázatot.) Az átlagos hőmérséklet és a hőmérséklet változékonysága jelentősen befolyásolhatja a villamosenergia-fogyasztási szokásokat. A statisztikák alapján az április nemcsak éven belül, de évek között is szeszélyesnek tekinthető: jelentős különbségek voltak az átlagos hőmérsékletben, a szórásban és a szélsőhőmérsékletekben egyaránt az egyes évek között. A 2017-es évben alacsony szórás mellett alacsonyabban alakult a maximális és az átlagos hőmérséklet. Az átlagos hőmérséklet és a maximum szempontjából is a 2018-as év bizonyult a legmelegebbnek, ugyanakkor ebben az évben volt a leginkább változékonny a hőmérséklet. A 2019-es évben a szélsőhőmérsékletek a 2018-ashoz hasonlítottak, azonban alacsonyabb szóródás és átlaghőmérséklet mellett. A 2020-as év különlegessége, hogy a szélsőségek alapján hidegebb volt, miközben az átlag a 2019. évihez, a szórás pedig a 2018. évihez közelített. Tehát alacsonyabb hőmérséklet, de magas változékonyság jellemzi a 2020-as időszakot.

A rendszerterhelés átlaga az elmúlt években növekedést mutatott a megfigyelt időszakban, azonban a 2020-as év rendkívüli eseményei miatt az átlagos rendszerterhelés 445 MW-tal csökkent az előző évhez képest. A korábbi években a rendszerterhelés szórása nagyon hasonlóan 610-630 MW körül alakult, 2020-ban viszont alacsonyabb volt, 533 MW. Emellett a csúcs- és völgyidőszaki átlagok is 2020-ban bizonyultak a legalacsonyabbaknak, azonban a csúcsidőszakok esetén a 2019-es évhez képest jóval nagyobb mértékben, 378 MW-tal csökkent, míg a völgyidőszakok között csupán 148 MW különbség adódott.

Az átlagos piaci árak tekintetében jelentős különbségek adódtak az egyes évek között, azonban a koronavírus-járvány okozta általános keresletcsökkenés miatt a villamosenergia-árak is számottevő mértékben, 20 euró/MW-tal estek az előző évhez képest. A másnapi átlagárak szórása tekintetében a 2019-es év lóg ki a sorból, bár a relatív szórás 2020-ban alakult a legmagasabban, és a szélsőségek is jelentősen magasabbak, illetve alacsonyabbak voltak az előző évekhez képest.

*A hőmérséklet, a nettó rendszerterhelés és a másnapi piaci árak főbb leíró statisztikái az időszakra vonatkozóan*

(Descriptive statistics of temperature, net system load and day-ahead market prices)

Leíró statisztika	2017	2018	2019	2020
Hőmérséklet (C°)				
Átlag	11,14	15,62	12,95	12,37
Szórás	5,08	5,79	5,08	5,64
Minimum	-0,54	-1,35	-1,39	-3,99
Maximum	24,57	28,82	28,17	24,52
Rendszerterhelés (MW)				
Átlag	4 526,43	4 580,59	4 628,64	4 183,35
Szórás	627,53	617,52	611,21	533,96
Minimum	3 023,31	3 017,56	3 068,52	2 920,01
Maximum	5 740,96	5 838,07	5 775,51	5 397,68
Másnapi piaci ár (euró/MW)				
Átlag	39,75	31,88	45,51	25,09
Szórás	12,18	12,47	14,22	12,75
Minimum	0,13	0,01	0,02	-8,12
Maximum	70,59	61,41	84,20	125,08

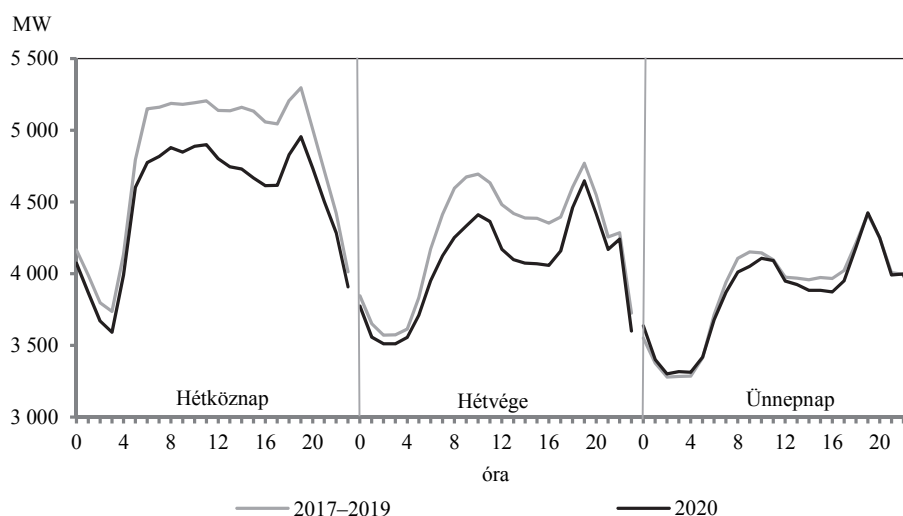
### 3.2. Dekompozíció

A rendszerterhelésre és a másnapi piaci árakra vonatkozó kontrollált szezonális dekompozíciós modellek paramétereit tartalmazó táblázatok a Függelékben kaptak helyet. Mivel vizsgálatunk elsősorban a rendszerterhelési és árgörbék szintjének és alakjának változására fókuszál, az eredményeket célszerűbb ábrákon keresztül bemutatni. A nettó rendszerterhelés hőmérséklet-hatástól megtisztított szezonális átlagait a 3. ábra, a másnapi piaci árak szezonális átlagait a 4. ábra szemlélteti. Az x tengelyeken a tipikus hétköznapi, a hétvégi és az ünnepnapok alatti lefutás látható. A becslések konfidencia-intervallumai és *t*-statisztikái a Függelékben találhatók.

A nettó rendszerterhelés napi lefutására jellemző a hajnal 4 óra körüli völgyidőszak, amelyet egy meredek délelőtti terhelésemelkedés, majd egy délutáni plató-, illetve völgyidőszak követ, végül pedig az esti csúcsidőszak következik, amely után éjszaka újra meredeken esik a rendszerterhelés. A hajnali völgyidőszakban a vállalatok és a háztartások is nyugalomban vannak, ezt követően az aktivitás növekedésével, valamint a termelés beindulásával reggel 6-7 órakor megemelkedik a terhelés, és általában 11 óra tájékán éri el a délelőtti csúcsát. Ezután a háztartások aktivitásá-

nak csökkenése (jellemzően ekkor vannak legkevesebben otthon) és a háztartási méretű (szaldó elszámolásban működő) napelemek termelése, illetve a gazdasági aktivitás fokozatos csökkenése a délutáni-kora esti völgyidőszak kialakulásához vezet. A háztartások aktivitásának növekedésével és a sötétedés folytán kialakuló világítási igényekkel megjelenik az esti órákra jellemző csúcsidőszak, ami általában kevésbé meredek, mint a reggeli felfutás, azonban magasabb bázisról indul, és jellemzően erre az időszakra tehető a napi csúcsfogyasztás is. A hétvégéken és az ünnepnapokon alacsonyabb a gazdasági termelés szintje, ugyanakkor a háztartások aktívabbak. Ilyenkor szembetűnőbb a délutáni völgyidőszak, és már a háztartási napelemek haranggörbeszerű termelési profilja is kezd láthatóvá válni. Utóbbi hatás legjobban az ünnepnapok alatti terhelési görbéken érhető tetten, ahol egyébként nincs jelentős különbség a terhelési mintázatban, de a délutáni völgy majdnem 100 MW-tal alacsonyabb a megelőző évekhez képest, a 16 órai értékeket összehasonlítva. Ennek egy lehetséges oka, hogy a háztartások összes beépített napelemek-kapacitása 2019-ről 2020-ra jelentősen növekedett.

3. ábra. A nettó rendszerterhelés hőmérsékletszűrt szezonális átlagainak alakulása hétköznapra, hétvégére és ünnepnapra vonatkozóan  
(Temperature-adjusted seasonal averages of net system load for weekdays, weekends and holidays)

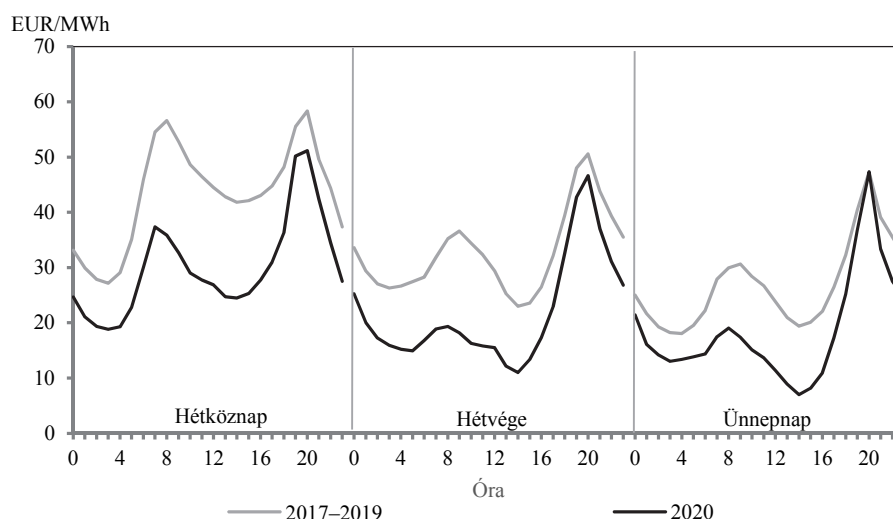


A kijárási korlátozások hatása a hétköznapi és a hétvégi terhelési görbékre jelentős, az ünnepnapra csak kismértékű. Míg a 2017 és 2019 közötti vizsgált időszakban átlagosan 1 451 MW volt a reggeli terhelésnövekedés hajnal 4 és reggel 8 óra között, addig ez 2020 azonos időszakában 140 MW-tal 1 290 MW-ra csökkent. Emellett a reggeli felfutás alacsonyabb bázisról indult 2020-ban. Mindennek a rugalmas erőmű-kapacitások – vagyis a meredek terhelési gradienst technológiailag

követni képes – rendelkezésre állásának és ezen keresztül az árak kialakulásának szempontjából van jelentősége. A hétköznap délutáni terhelés a gazdasági termelés igényének visszaesése miatt nagymértékben csökkent: míg 17 órakor átlagosan 428 MW-tal volt alacsonyabb 2020 megfigyelt időszakában, addig a 19 órai csúcsidőszakban „csak” 341 MW-tal. A hétfégi görbéket megvizsgálva is hasonló változásokat tapasztalhatunk: a jellemzően alacsonyabb gradiensű reggeli felfutás alacsonyabb bázisról indult, és kisebb mértékű volt a 2020-as vizsgált időszakban. A hajnali 3 óra és délelőtt 11 óra közötti terhelésnövekedés a 2017–2019 közötti megfigyelt időszakban 1 070 MW-ot tett ki, 2020-ban már csak 853 MW-ot, ami 217 MW-tal kevesebb. Ehhez képest a 19 órai csúcsok közötti különbség „mindössze” 125 MW volt. Az ünnepnapok alatt a gazdasági aktivitás jellemzően alacsony, és a háztartások sem viselkedtek másként, mint az előző években. Leginkább a reggel 9 órai terhelés és a délutáni völgyidőszak különbsége jelentős. Ez utóbbit legalább részben a gyorsan terjedő háztartási napelemek magyarázhatják.

A terhelési mintázatok elemzése leginkább a felfutásokra és a gradiensekre koncentrált, mivel – ahogyan már korábban szó volt róla – ezekben az időszakokban kritikus a rendelkezésre álló rugalmas erőműkapacitás, amely képes kiszolgálni az igényeket meredek terhelési gradiensek esetén. Az árakra gyakorolt hatás ilyenkor kettős; egyrészt a rugalmas erőművek üzemeltetési költsége magasabb, másrészt a piaci erejük is növekszik azokban az időszakokban, amikor csak ők képesek kielégíteni a keresletet.

4. ábra. A másnapi piaci villamosenergia-árak hőmérséklet-hatástól és a tüzelőanyagokénti termelés hatásától szűrt szezonális átlagainak alakulása hétköznapra, hétvégére és ünnepnapra vonatkozóan  
(Temperature and fuel type adjusted seasonal averages of day-ahead market prices for weekdays, weekends and holidays)



A nettó rendszerterhelés meredek szakaszának rövidülése és a mérsékeltebb alapigény az árak csökkenéséhez vezetett. Míg a hajnal 3 órai árak különbsége 8 euró volt MWh-ként, addig a 2020-as reggel 7 órai és a 2017–2019 közötti 8 órai csúcs esetén 19 euróval tért el a MWh-kénti ár. A reggeli árcsúcsok jelentősen csökkentek mindhárom naptípus során, míg a csúcsfogyasztás alatti árak jellemzően kisebb mértékben tértek el a vizsgált időszakban. Este 20 órakor hétköznaponként átlagosan 7 euró/MWh volt a különbség, a hétvégi csúcsok esetén pedig kevesebb, mint 4 euró/MWh. Az ünnepek során mind a csúcsterhelések, mind az ekkor jellemző árak megegyeztek. Ez utóbbi megfigyelés mintegy összehasonlítási alapként szolgál, és megerősíti az eddigiekben kifejtetteket, miszerint az árak átlagos szintjének változását egyrészt az azonos időszakokban megfigyelt terhelési szintek, másrészt azok gradiense határozza meg. Másképpen megfogalmazva, egységnyi terheléscsökkenés más-más mértékben hat az árakra a nap és a hét különböző időszakaiban.

#### 4. Következtetések

Jelen cikk a koronavírus-járvány terjedésének fékezése céljából 2020 tavaszán bevezetett országos kijárási korlátozás hatásait vizsgálta a napon belüli villamosenergia-terhelési és -árgörbék szezonálisára. Az elemzés alapjául a leíró statisztikai és dekompozíciós eredmények szolgáltak.

A leíró statisztikai eredmények rámutattak, hogy a kijárási korlátozás jelentősen csökkentette az országos villamosenergia-rendszerterhelés átlagát és szórását. Előbbi jól tükrözi a várakozásokat (az alacsonyabb vállalati és lakossági aktivitás csökkenti az igényeket), azonban utóbbi kevésbé magától értetődő. A szakirodalom a lakossági fogyasztást változékonyabbnak és nehezebben előre jelezhetőnek tekinti a vállalatinál, és mivel a nemzetközi tapasztalatok szerint a koronavírus hatására a lakossági fogyasztás aránya nőtt, változatlan viselkedés mellett a szórásnak is nőnie kellett volna. A jelenség egyik lehetséges magyarázata, hogy a korlátozás a lakosság fogyasztási szokásait is befolyásolta, csökkentve annak változékonyságát. Emellett könnyen elképzelhető, hogy a vállalati szegmensben a változékony fogyasztású szereplők nagyobb arányban szüntették be tevékenységüket a robusztusabb „zsinórfogyasztóknál”. A másnapi piaci árak esetében a korábbi évek azonos időszakához képest szintén alacsonyabb átlag volt megfigyelhető, azonban a szórás meghaladta a 2017-es és 2018-as értéket. Emellett a korlátozás alatt megjelentek a negatív árak és a korábbi évek megfigyeléseit meghaladó ártüskék. Az árak változékonyságának növekedését tehát elsősorban a kínálat oldali fundamentumok: a nemzetközi árváltozások és a hazai erőműpark adottságai okozták.



A dekompozíció fókuszában a szezonális átalakulása állt. A rendszerterhelést tekintve az ünnepnapok esetében tapasztalhattuk a legkisebb változást. A hétköznapi és hétvégékre alacsonyabb délelőtti csúcsfogyasztást, a délutáni „plató” erősebb beszakadását és arányaiban magasabb esti csúcsokat figyelhetünk meg. Az ünnepnapok eredmények alapján a szezonális átalakulása nagymértékben azzal magyarázható, hogy a gazdasági aktivitás csökkent. A délelőtti időszak alacsonyabb csúcsát eredményezték a be nem indított gépsorok és a munkát otthon később kezdő lakosság. A kora délutáni beszakadásra a növekvő beépített napelem-kapacitások lehettek nagy hatással. A továbbra is magas esti csúcsok pedig egyrészt azt jelenthetik, hogy ezeket korábban is jellemzően a lakosság okozta, másrészt, hogy a mögöttes tevékenységre a kijárási korlátozásnak kisebb hatása volt. Az árakban markánsabban megjelenő kétszűcsű jelleg aszimmetrikussá változott: a kisebb kereslet csökkentette (hétvégén és ünnepnapokon eltüntette) a délelőtti csúcsokat. A hétvégi és ünnepnapok görbék minimumpontjai pedig – egyrészt a keresleti átrendeződés, másrészt a növekvő arányú napelem termelése miatt – hajnalról délutánra kerültek át. Az árak alacsonyabb szintje a „merit order” hatásnak köszönhető, hiszen a mérsékelt kereslet miatt a kisebb határköltségű termelők aránya megnőtt.

Az eredmények alapján három ígéretes jövőbeli kutatási terület azonosítható. Egyrészt érdemes lenne összehasonlítani a szezonális átrendeződéseket, valamint a beavatkozások hatásait az egyes európai országokban. Másrészt – bár az ehhez szükséges adatok nem nyilvánosak – izgalmas volna szerkezetében vizsgálni a fogyasztási átrendeződéseket akár iparági, akár kis-, közép- és nagyfeszültségen vételező fogyasztói bontásban. Végül, érdemes lenne részletesebben vizsgálni, hogy mely fundamentális tényezők voltak felelősek a korlátozás alatt tapasztalható negatív áráért és a korábbi éveket meghaladó ártüskékért.

**Függelék**

F1. táblázat

*A nettó rendszerterhelés additív szezonális dekompozíciós modelljének becslési paraméterei*  
(Estimated parameters of the additive seasonal decomposition model of net system load)

Megnevezés	Hétköznap		Hétféje		Ünnepnap		Hétköznap * $D_{2020}$		Hétféje * $D_{2020}$		Ünnepnap * $D_{2020}$	
	Együttható	r-statisztika	Együttható	r-statisztika	Együttható	r-statisztika	Együttható	r-statisztika	Együttható	r-statisztika	Együttható	r-statisztika
Óra:												
1	428,7	14,0	276,9	6,4	-10,4	-0,2	-92,3	-0,9	-72,4	-0,6	86,5	0,7
2	253,2	8,3	109,7	2,5	-185,6	-3,7	-120,6	-1,2	-92,8	-0,8	24,8	0,2
3	60,7	2,0	-84,9	-2,0	-360,3	-7,1	-128,3	-1,2	-59,7	-0,5	22,4	0,2
4			-164,8	-3,8	-458,1	-9,1	-145,8	-1,4	-62,9	-0,5	33,5	0,3
5	98,1	3,2	-163,1	-3,8	-453,0	-9,0	-143,1	-1,4	-57,4	-0,5	27,5	0,2
6	397,2	13,0	-122,8	-2,9	-451,5	-9,0	-193,7	-1,9	-121,1	-1,1	4,0	0,0
7	1 059,8	34,7	95,4	2,2	-323,1	-6,4	-374,9	-3,6	-219,9	-1,9	-35,8	-0,3
8	1 413,7	46,2	435,2	10,1	-21,8	-0,4	-342,8	-3,3	-289,6	-2,5	-70,8	-0,5
9	1 424,1	46,6	677,7	15,8	204,1	4,1	-307,0	-3,0	-342,4	-3,0	-97,3	-0,7
10	1 451,6	47,5	859,3	20,0	371,3	7,4	-333,0	-3,2	-341,9	-3,0	-102,4	-0,8
11	1 444,8	47,3	938,5	21,8	416,6	8,3	-304,0	-2,9	-284,5	-2,5	-36,6	-0,3
12	1 457,1	47,7	959,4	22,3	408,3	8,1	-305,1	-3,0	-270,5	-2,3	-5,4	0,0
13	1 469,7	48,1	897,7	20,9	359,8	7,1	-338,1	-3,3	-311,3	-2,7	-26,8	-0,2
14	1 403,8	45,9	747,2	17,4	239,1	4,7	-390,2	-3,8	-321,0	-2,8	-46,0	-0,4
15	1 400,5	45,8	683,2	15,9	232,9	4,6	-431,6	-4,2	-314,9	-2,7	-74,3	-0,6
16	1 425,7	46,6	651,3	15,1	222,0	4,4	-466,2	-4,5	-318,0	-2,8	-88,7	-0,7
17	1 397,3	45,7	650,9	15,1	236,9	4,7	-445,3	-4,3	-295,9	-2,6	-93,7	-0,7
18	1 322,2	43,2	617,1	14,4	229,3	4,6	-428,1	-4,1	-236,8	-2,0	-71,0	-0,5
19	1 308,1	42,8	659,6	15,3	286,1	5,7	-377,0	-3,6	-143,1	-1,2	-28,3	-0,2
20	1 470,9	48,1	865,9	20,1	475,2	9,4	-340,7	-3,3	-124,6	-1,1	8,8	0,1
21	1 560,8	51,1	1035,1	24,1	679,3	13,5	-270,8	-2,6	-131,9	-1,1		
22	1 268,7	41,5	813,4	18,9	514,4	10,2	-214,5	-2,1	-88,4	-0,8	-17,2	-0,1
23	979,9	32,1	521,5	12,1	271,0	5,4	-138,3	-1,3	-43,9	-0,4	1,5	0,0
24	686,9	22,4	549,3	13,0	259,2	5,1	-104,3	-1,0	-125,1	-1,1	44,7	0,3
Hómerséklet												
	-25,6	-28,15										
Hómerséklet * $D_{2020}$												
	-32,3	-20,3										
Konstans												
	3 736,3	117,5										
Csoporton belüli $R^2$												
	0,91											
Csoportok közötti $R^2$												
	0,68											
$R^2$ teljes												
	0,89											
$\text{corr}(x_i, x_b)^*$												
	0,07											

\* Itt és az F2. táblázatnál, a nem megfigyelt heterogenitási és a prediktorok közötti korreláció.

F2. táblázat

*A másnapi villamosenergia-árak additív szezonális dekompozíciós modelljének becsült paraméterei*  
(Estimated parameters of the additive seasonal decomposition model of day-ahead electricity prices)

Megnevezés	Hétköznap		Hétféje		Ünnepnap		Hétköznap * $D_{30,20}$		Hétféje * $D_{30,20}$		Ünnepnap * $D_{30,20}$	
	Együtharó	$t$ -statisztika	Együtharó	$t$ -statisztika	Együtharó	$t$ -statisztika	Együtharó	$t$ -statisztika	Együtharó	$t$ -statisztika	Együtharó	$t$ -statisztika
Óra:												
1	6,00	5,09	6,48	3,90	-2,13	-1,10	-8,45	-2,12	-8,34	-1,87	-3,57	-0,70
2	2,80	2,37	2,24	1,33	-5,47	-2,81	-8,85	-2,22	-9,33	-2,06	-5,58	-1,10
3	0,72	0,61	-0,09	-0,05	-7,88	-4,05	-8,54	-2,14	-9,82	-2,20	-5,10	-1,00
4			-0,86	-0,52	-8,88	-4,57	-8,30	-2,08	-10,38	-2,32	-5,25	-1,03
5	1,94	1,65	-0,51	-0,31	-9,06	-4,66	-9,82	-2,46	-11,40	-2,55	-4,73	-0,93
6	7,96	6,75	0,34	0,20	-7,64	-3,93	-12,30	-3,08	-12,53	-2,81	-5,69	-1,12
7	18,82	15,96	1,14	0,69	-4,91	-2,52	-15,91	-3,99	-11,50	-2,58	-7,88	-1,55
8	27,38	23,22	4,70	2,83	0,79	0,40	-17,14	-4,30	-12,94	-2,90	-10,44	-2,05
9	29,47	25,00	8,06	4,86	2,80	1,44	-20,77	-5,21	-15,85	-3,55	-10,89	-2,14
10	25,62	21,73	9,49	5,72	3,49	1,79	-20,09	-5,03	-18,43	-4,13	-13,23	-2,60
11	21,51	18,24	7,25	4,37	1,26	0,65	-19,61	-4,92	-18,11	-4,06	-13,27	-2,60
12	19,31	16,38	5,16	3,11	-0,47	-0,24	-18,69	-4,41	-13,93	-3,70	-13,04	-2,56
13	17,34	14,71	2,30	1,38	-3,27	-1,68	-17,60	-4,41	-13,93	-3,12	-12,45	-2,44
14	15,67	13,29	-1,87	-1,13	-6,16	-3,17	-18,07	-4,53	-13,11	-2,93	-12,09	-2,37
15	14,70	12,46	-4,12	-2,49	-7,73	-3,98	-17,36	-4,35	-12,00	-2,69	-12,40	-2,43
16	14,96	12,69	-3,59	-2,16	-7,03	-3,61	-16,78	-4,21	-10,19	-2,28	-11,98	-2,35
17	15,91	13,50	-0,68	-0,41	-5,06	-2,60	-15,30	-3,83	-9,17	-2,05	-11,14	-2,19
18	17,62	14,95	5,00	3,01	-0,67	-0,34	-13,79	-3,46	-9,20	-2,06	-9,24	-1,82
19	21,07	17,88	12,25	7,38	5,15	2,65	-11,90	-2,98	-6,81	-1,53	-7,11	-1,40
20	28,35	5,24	20,88	12,58	13,24	6,81	-5,30	-1,33	-5,30	-1,19	-3,66	-0,72
21	31,19	26,46	23,44	12,14	20,17	10,37	-7,18	-1,80	-3,98	-0,89		
22	22,47	6,19	16,72	10,07	11,95	6,15	-7,20	-1,80	-6,82	-1,53	-5,73	-1,13
23	17,24	14,63	12,17	7,34	8,35	4,29	-9,94	-2,49	-8,19	-1,83	-7,97	-1,57
24	10,19	8,62	8,36	5,11	4,96	2,55	-9,83	-2,47	-8,70	-1,93	-7,57	-1,49
Hőmértéklet	0,21	5,23										
Hőmértéklet * $D_{30,20}$	0,07	0,88										
Nukleáris	0,02	15,37										
Szén	0,01	7,65										
Földgáz	0,02	19,47										
Szél	0,00	-1,58										
Hulladékok és biomassza	-0,02	-4,51										
Nap	0,00	0,62										
Egyéb	0,04	1,97										
Import-export	0,01	16,85										
Konstans	27,13	11,22										
$R^2$ csoporton belül	0,72											
$R^2$ csoportok között	0,60											
$R^2$ teljes	0,69											
$corr(u_i, Xb)$ *	0,05											

## Irodalom

- BESSEC, M. – FOUQUAU, J. [2018]: Short-run electricity load forecasting with combinations of stationary wavelet transforms. *European Journal of Operational Research*. Vol. 264. Issue 1. pp. 149–164. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2017.05.037>
- CLEMENTS, A. E. – HURN, A. S. – LI, Z. [2016]: Forecasting day-ahead electricity load using a multiple equation time series approach. *European Journal of Operational Research*. Vol. 251. Issue 2. pp. 522–530. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2015.12.030>
- DORDONNAT, V. – KOOPMAN, S. J. – OOMS, M. [2009]: *Dynamic Factors in State-space Models for Hourly Electricity Load Signal Decomposition and Forecasting*. 2009 IEEE Power & Energy Society General Meeting. Institute of Electrical and Electronics Engineers. <http://dx.doi.org/10.1109/PES.2009.5275885>
- GÁSPÁR B. – VÉR K. – ZÁVE CZ Á. [2011]: Villamosenergia-árak a liberalizált rendszer keretei között. *Hitelinté zeti Szemle*. 10. évf. 1. sz. 70–88. old.
- GORDOS P. [2005]: Gondolatok a magyar áramtermelő piac piachatalmi problémáinak elemezhetőségéről. *Közgazdasági Szemle*. LII. évf. Február. 184–194. old.
- HORTAY O. – SZŐKE T. [2019]: Keresleti ár rugalmasság becslése a magyar villamosenergia-piacon. *Közgazdasági Szemle*. LXVI. évf. Augusztus-szeptember. 788–900. old. <http://dx.doi.org/10.18414/KSZ.2019.7-8.788>
- KÁCSOR, E. [2017]: Possible reasons for the difference between HUPX and EEX DAM prices: Why is Hungarian electricity more expensive than German? *KÖZ-GAZDASÁG*. 12. évf. 3. sz. 37–54. old. [https://rekk.hu/downloads/academic\\_publications/Koz-Gazdasag\\_2017\\_3\\_Eniko\\_Kacsor.pdf](https://rekk.hu/downloads/academic_publications/Koz-Gazdasag_2017_3_Eniko_Kacsor.pdf)
- MAGYAR KÖZLÖNY [2020a]: 71/2020. (III. 27.) Korm. rendelet – A kijárási korlátozásról. Március 27. 56. sz. 1626–1628. old. <https://magyarkozlony.hu/dokumentumok/19f1d27b1584ffb22ff468a3635013b9f1813b5e/megtekintes>
- MAGYAR KÖZLÖNY [2020b]: 167–175/2020. (IV. 30.) Korm. rendeletek. Április 30. 96. sz. 2362–2370. old. <http://www.kozlonyok.hu/nkonline/index.php?menuindex=200&pageindex=kozltart&ev=2020&szam=96>
- MÁK F. [2014]: Egységgyöktesztek alkalmazása szezonalitást is tartalmazó idősorok esetében energiatö zsdé-adatok példáján. *Statisztikai Szemle*. 92. évf. 7. sz. 648–679. old.
- MÁK F. [2015]: Az időjárás véletlen hatásának szerepe a szezonális kiigazítás során, a hazai földgázfogyasztás példáján. *Statisztikai Szemle*. 93. évf. 5. sz. 418–441. old.
- MAROSSY Z. [2011]: A villamos energia áralakulásának egy új modellje. *Közgazdasági Szemle*. LVIII. évf. Március. 253–274. old.
- PAIZS L. [2014]: Piaci erő az áramtermelő piacon. Eredmények az egyensúlyi modellezés területéről. In: *Valentiny P. – Kiss F. L. – Nagy Cs. I. (szerk.): Verseny és szabályozás*. Magyar Tudományos Akadémia Közgazdaság- és Regionális Tudományi Központ Közgazdaságtudományi Intézet. Budapest. 150–171. old. <http://econ.core.hu/file/download/vesz2014/aramtermelo.pdf>
- PARDO, A. – MENEU, V. – VALOR, E. [2002]: Temperature and seasonality influences on Spanish electricity load. *Energy Economics*. Vol. 24. No. 1. pp. 55–70. [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-9883\(01\)00082-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-9883(01)00082-2)

- SENSFUB, F. – RAGWITZ, M. – GENOESE, M. [2008]: The merit-order effect: A detailed analysis of the price effect of renewable electricity generation on spot market prices in Germany. *Energy Policy*. Vol. 36. No. 8. pp. 3086–3094. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2008.03.035>
- SOARES, L. J. – MEDEIROS, M. C. [2008]: Modeling and forecasting short-term electricity load: A comparison of methods with an application to Brazilian data. *International Journal of Forecasting*. Vol. 24. No. 4. pp. 630–644. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijforecast.2008.08.003>
- SUGÁR A. [2011]: A hőmérséklet hatásáról a villamosenergia- és gázfogyasztás magyarországi példáján. *Statisztikai Szemle*. 89. évf. 4. sz. 380–398. old.
- SUGÁR A. [1999a]: Szezonális kiigazítási eljárások (I.). *Statisztikai Szemle*. 77. évf. 9. sz. 817–832. old.
- SUGÁR A. [1999b]: Szezonális kiigazítási eljárások (II.). *Statisztikai Szemle*. 77. évf. 10. sz. 706–721. old.
- WERON, R. [2014]: Electricity price forecasting: A review of the state-of-the-art with a look into the future. *International Journal of Forecasting*. Vol. 30. No. 4. pp. 1030–1081. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijforecast.2014.08.008>

## Internetes források

- HUPX (HUNGARIAN POWER EXCHANGE) [2020]: *Piaci adatok, másnapi piac, historikus adatok*. <https://hupx.hu/hu/piaci-adatok/dam/historikus-adatok>
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY [2020]: *Global Energy Review 2020*. Paris. <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020>
- MAGYAR ENERGETIKAI ÉS KÖZMŰ-SZABÁLYOZÁSI HIVATAL [2020]: *Villamosenergia-piac 2020. 03 havi monitor*. [http://mekh.hu/download/0/3a/c0000/havi\\_piacmonitoring\\_riport\\_villamos\\_energia\\_2020\\_marcius.pdf](http://mekh.hu/download/0/3a/c0000/havi_piacmonitoring_riport_villamos_energia_2020_marcius.pdf)
- MAVIR (MAGYAR VILLAMOSENERGIA-IPARI ÁTVITELI RENDSZERIRÁNYÍTÓ) [2020]: *Adatpublikáció, aktuális VER adatok*. <https://www.mavir.hu/web/mavir/aktualis-ver-adatok>
- REGIONÁLIS ENERGIAGAZDASÁGI KUTATÓKÖZPONT [2020]: *How COVID-19 Affects European and Hungarian Electricity Markets*. Összefoglaló a 2020. április 22-i online workshopról. [https://rekk.hu/downloads/events/A%20koronav%C3%ADrus%20hat%C3%A1sai\\_%C3%B6sszefoglal%C3%B3.pdf](https://rekk.hu/downloads/events/A%20koronav%C3%ADrus%20hat%C3%A1sai_%C3%B6sszefoglal%C3%B3.pdf)