

CSERMELY ÁGNES

# A naperőművek nagykereskedelmi piaci árakra és a hagyományos technológiákra gyakorolt hatása Magyarországon

A tanulmány azt a kérdést vizsgálja, hogy a megújuló erőművek terjedése milyen hatást gyakorol a hazai nagykereskedelmi villamosenergia-árakra és ezen keresztül a hagyományos technológiák jövedelmezőségére. A régió más megújuló energiaforrásaival ellentétben a hazai naperőművi termelés esetében nem sikerült szignifikáns árhatást kimutatni. Az árak napon belüli mintázatát azonban megváltoztatja az erősödő naperőművi penetráció, de a déli órák árainak mérséklődését ellensúlyozza az esti órákban tapasztalható nagyobb áremelkedés. Akkor várható, hogy a naperőművi termelés nagykereskedelmi árakat mérséklő hatása a hazai piacon is érvényesüljön, ha sikerül az esti csúcsidőszakban kialakuló piaci szűkösséget mérsékelni. Ezt a keresleti rugalmasságot ösztönző szabályozások és a kínálat flexibilitását javító beruházási támogatások segíthetik.

Journal of Economic Literature (JEL) kód: Q42.

## Bevezetés

A klímavédelmi célok teljesítése érdekében sok más európai országhoz hasonlóan Magyarország is támogatásokkal ösztönzi a megújuló technológiák terjedését. A támogatások és a naperőművi beruházások költségcsökkenésének együttes hatására az elmúlt három évben jelentősen bővült a kereskedelmi méretű naperőművek piaci részesedése, a 2018. eleji 336 megawatthoz képest 2021 nyarának végén már 1708 megawatt kereskedelmi naperőmű-kapacitás állt rendelkezésre,<sup>1</sup> amely elérte az összes beépített erőművi kapacitás 16 százalékát. Ezenfelül további 945 megawatt háztartási méretű kiserőműként<sup>2</sup> telepített naperőművi kapacitás üzemelt. Az elkövetkező évek-

<sup>1</sup> Mavir-adatpublikáció (<https://www.mavir.hu/web/mavir/kat-adatpublikacio>).

<sup>2</sup> MEKH-adatpublikáció ([http://www.mekh.hu/download/d/d7/01000/2021\\_Q1\\_Q2\\_HMKE.xlsx](http://www.mekh.hu/download/d/d7/01000/2021_Q1_Q2_HMKE.xlsx)), 2021. második negyedévi adat, a háztartási méretű kiserőművek kapacitása nem számít bele a bruttó beépített teljesítménybe.

ben a naperőművi kapacitás további gyors bővülése várható, a magyar energia- és klímastratégia<sup>3</sup> 6 gigawatt beépített naperőművi kapacitással számol 2030-ra.

A megújuló és ezen belül a naperőművi technológia jelentős mértékben különbözik a hagyományos fosszilis és nukleáris technológiáktól. A naperőművek termelésének határkölsége közel nulla, tehát a villamosenergia-piac rövid távú kínálati sorrendjében (azaz a *merit order* görbén)<sup>4</sup> megelőzik a hagyományos technológiákat. Így bőséges termelés esetén az olcsó kínálat piaci megjelenése csökkentheti a piaci árakat, és ezzel kiszoríthatja a drágább technológiák termelését a piacról. A naperőművi termelés másik sajátossága, hogy az egy adott pillanatban elérhető maximális kibocsátást nemcsak a beépített kapacitás korlátozza, hanem függ az évszakoktól és napszakoktól, valamint az időjárás változásaitól is. Ezért a biztonságos ellátás csak úgy garantálható, ha a rendszerben van elegendő tartalékkapacitás (*back-up capacity*) azokra az időszakokra, amikor a megújuló energia termelése csak kisebb mennyiségben áll rendelkezésre. Az elérhető tartalékkapacitások nagysága függ attól, hogy a múltbeli beruházási döntések alapján mennyi beépített teljesítmény áll rendelkezésre, de ahogy a régi erőművek fokozatosan kiöregsznek, egyre meghatározóbbá válik az, hogy a támogatott megújuló energiát szolgáltató erőművek mellett a hagyományos technológiákba is megéri-e befektetni. A meglévő eszközök üzemeltetéséről, illetve az új beruházásokról a befektetők a jövedelmezőségi kilátások alapján döntenek, amit meghatároznak a piaci árakra vonatkozó várakozások. Ha a rendszerben sok a nulla határkölségű megújulóenergia-kapacitás, mérséklődhetnek a jövőbeli árakra vonatkozó várakozások, a kedvezőtlenebb jövedelmezőségi kilátások pedig negatívan hatnak az alternatív technológiákba történő beruházásokra, veszélyeztetve az ellátás biztonságát.

A megújuló- és a tartalékkapacitások közötti komplex összefüggések fényében nem meglepő, hogy a megújuló energiának a nagykereskedelmi piaci árakra, illetve a hagyományos technológiák értékesítési lehetőségeire gyakorolt hatása az energia-piaci kutatások középpontjába került. Az elemzéseknek két fő iránya van. Az elsőbe azok a publikációk tartoznak, amelyek elsősorban azért próbálják kvantifikálni a megújuló energia piaci árakra gyakorolt hatását, hogy azt összevegyék a megújuló energia támogatásaiból fakadó fizetési többletkötelezettségekkel,<sup>5</sup> és így számszerűsíteni tudják a megújuló energia teljes energiaszámlára gyakorolt hatását.

Az elemzések másik típusa elsősorban azért kíváncsi a megújulókat által indukált piaci árcsökkenés nagyságára, hogy a megújuló technológiák hagyományos technológiákra gyakorolt hatásával kapcsolatban vonjon le következtetéseket. E kutatások megpróbálják azonosítani, hogy mely technológiák kihasználtsága romlik, a jövedelmezőség romlása miatt várható-e üzembezárások, illetve biztosítja-e a piac, hogy a hagyományos technológiákba történő beruházások is megtérüljenek. Ezek

<sup>3</sup> [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/hu\\_final\\_necp\\_main\\_hu.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/hu_final_necp_main_hu.pdf).

<sup>4</sup> A *merit order* görbe olyan módon állítható elő, hogy a különböző termelési egységek határkölségeihez (rövid távú változó költségeihez) hozzárendeljük az egységek termelési kapacitásait, és azokat a költségek emelkedő sorrendjében sorba rendezzük.

<sup>5</sup> Magyarországon a támogatások fedezetét a nem kommunális fogyasztók által fizetett úgynevezett pénzeszköz biztosítja.

a tanulmányok felhívják a figyelmet arra, hogy ha nem kerül sor kapacitásbővítő beavatkozásra, akkor a tartalékkapacitások csökkenése és emiatt az alacsony megújulótermelésű időszakokban várható ártüskék hosszabb távon eliminálhatják a megújuló nagykereskedelmi árakra gyakorolt kedvező hatását. E kutatások végső (bár gyakran expliciten meg nem válaszolt) kérdése az, hogy szükség van-e szabályozói beavatkozásra annak érdekében, hogy a tartalékkapacitások mindig elegendő mértékben álljanak rendelkezésre az ellátásbiztonság garantálásához.

Jelen írás a magyar naperőművek rövid távú kínálati görbére gyakorolt hatását elemzi (*merit order* hatás). Empirikus elemzés alapján értékeli, hogy a hazai naperőművi termelésnek van-e kimutatható hatása a hazai nagykereskedelmi árakra, illetve hogyan befolyásolja a hazai fosszilis erőművek termelését. Bár Európa számos országában született már hasonló elemzés, Magyarországon eddig csak olyanok születtek, amelyek modellszimulációk segítségével elemezték a megújuló energia penetrációjának piaci hatásait (Mezősi [2014], Mezősi és szerzőtársai [2020]). Empirikus elemzés legjobb tudomásunk szerint még nem született, hiszen a korábbi években még nem volt kellően elterjedt a naperőművi technológia ahhoz, hogy olyan nagy kínálati ingadozásokat tudjon okozni, aminek már vélelmezhető, hogy van árhatása. A magyar vizsgálat eredményei azért is érdekesek, mert más európai országokkal összevetve a magyar piacot az átlagosnál sokkal magasabb fokú piaci integráció jellemzi, európai összevetésben szinte az egyik legmagasabb a határkeresztező kapacitások nagysága a hazai maximális rendszerterheléshez viszonyítva. Így a hazai megújulóenergia-termelés okozta kínálati sokkok a régió kínálatát befolyásolják, miközben a régió többi országának megújulótermelése is befolyásolja a hazai árakat. További specialitása a magyar esetnek, hogy magas a nukleáris technológia súlya a termelési mixben, amely kevésbé képes alkalmazkodni a megújuló energia termelésének ingadozásaihoz. Így mind az árakra gyakorolt hatás, mind pedig a többi technológia reakciója eltérhet attól, ami rugalmasabb technológiai összetétellel rendelkező országokban tapasztalható. A hasonló kérdést vizsgáló régiós tanulmányokhoz képest a cikk további újdonsága, hogy nemcsak a zsinórárakra gyakorolt hatásokat próbálja számszerűsíteni, hanem kiemelt figyelmet szentel a napon belüli ár- és termelési dinamika vizsgálatának.

A tanulmány szerkezete a következő. Először a megújuló energia rendelkezésre állásának – a rövid távú kínálat sorrendjének (*merit order*) – hatását vizsgáló legfontosabb elemzéseket összegezzük. Ezt követően bemutatjuk a magyar villamosenergia-rendszer fő jellemzőit. Majd ismertetjük az adatokat és az alkalmazott módszereket, ezt követően bemutatjuk a becslési eredményeket. Végül a cikk a kapott eredmények alapján az energiapolitika és a szektor szabályozására vonatkozó következtetésekkel zárul.

## Irodalmi összefoglaló

Az elmúlt évtizedben számos elemzés vizsgálta a megújuló energia rendelkezésre állásának (*merit order*) hatását. Az európai országok közül először a megújuló energiát illető legambiciózusabb célokat megfogalmazó német piac (Sensfuss és szerzőtársai [2008], Weigt [2009]) és spanyol piac (López-Peña és szerzőtársai [2012], Gelabert és szerzőtársai [2011])

került az elemzők figyelmének a középpontjába. A megújuló energia támogatási programjainak szélesebb körben történő bevezetése és felfutása után több régiós országban is született a *merit order* hatást vizsgáló tanulmány (Ausztria: *Würzburg és szerzőtársai* [2013], Csehország: *Lunackova és szerzőtársai* [2017], Szlovákia: *Janda* [2018]).

Mivel a szélerőművi technológia már az 1990-es évek közepétől kezdett elterjedni Európában, a korai cikkek a szélerőművek árakra gyakorolt hatását vizsgálták. Mivel a szélerőművek termelése ugyan volatilis, de nincs határozott napon belüli mintázata, ezen elemzések elsősorban a napi zsinórára gyakorolt hatást becsülték meg (például *Sensfuss és szerzőtársai* [2008], *López-Peña és szerzőtársai* [2012]). A naperőművek terjedése jó tíz évvel a szélerőművek után, 2005-től kezdődően pörgött fel Európában, így ettől kezdve egyre több olyan tanulmány jelent meg, amely a naperőművek árakra gyakorolt hatását próbálta megbecsülni (például *Lunackova és szerzőtársai* [2017], *Janda* [2018]). Egyes elemzések összevetették a két technológia hatására kapott becsléseket (*Würzburg és szerzőtársai* [2013], *Clo és szerzőtársai* [2015], *Cludius és szerzőtársai* [2014]). Mivel a naperőművek kínálata napon belül ingadozik, *Bushnell–Novan* [2018] nemcsak a másnapi zsinórára, hanem az árak napon belüli mintázatára gyakorolt hatásokat is számszerűsíti.

Módszertani szempontból a tanulmányok két csoportba sorolhatók. Az elsőbe tartoznak azok, amelyek elsősorban egy energiapiaci modellel végzett szimulációk segítségével elemzik az ár- és termelési hatásokat. A modellezés során egyes cikkek a múltbeli árhatást számszerűsítik: létrehoznak egy kontrafaktuális forgatókönyvet, ami megmutatja, hogy milyen árak alakultak volna ki akkor, ha nem épült volna be a megújuló energia, majd az alap- és e hipotetikus árpálya különbségeként határozzák meg a megújuló technológia árhatását (például *Sensfuss és szerzőtársai* [2008], *Weigt* [2009]). Más tanulmányok jövőbeli forgatókönyveket vizsgálnak, azt vetik össze, hogy milyen árak alakulnának ki akkor, ha a megújuló energia penetrációja tovább növekedne, illetve akkor, ha azt a jelenlegi szinten befagyasztják (például *Lopez-Peña és szerzőtársai* [2012], *Mezősi és szerzőtársai* [2020]). Ezek a tanulmányok szinte kivétel nélkül jelentős árcsökkenő hatást mutatnak ki, ami következik abból, hogy ha csak az azonnali árakat vizsgáljuk, akkor több nulla határkölségű termelés rendelkezésre állása esetén ugyanakkora vagy kisebb lesz a modell által meghatározott egyensúlyi ár, különbségek csak a hatások nagyságrendjében vannak. Az a potenciális hosszú távú hatás, hogy az alacsonyabb árak hatására szűkülhet az egyéb technológiák kínálata, ami áremelő hatású lehet, jellemzően nem szerepel a modellszimulációkban.

A másik megközelítés empirikus adatokon becsüli meg a hatásokat. A kutatók gyakran használtak OLS-becslést, hiszen feltételezhető, hogy a megújuló energia időjárásfüggő termelése exogén az árak alakulása szempontjából (például *Gelabert és szerzőtársai* [2011], *Würzburg és szerzőtársai* [2013], *Lunackova és szerzőtársai* [2017]). *Alam* [2021] elemzésének középpontjában a megújuló hatására megemelkedő árvolatilitás áll, így egy általánosított autoregresszív modellt (GARCH) becsül svéd adatokon. *Afonso és szerzőtársai* [2019] a különböző technológiák termelése és az árak egymásra hatását elemzi, ezért portugál és spanyol adatokra VAR-modellt becsül, és impulzus-válasz-függvények segítségével szemlélteti a hatásokat. Ugyanakkor a dekompozíció során a szerzők is exogénnek feltételezik a megújulókat, így

a komplexebb elemzés elsősorban a piaci árakra reagáló hagyományos technológiák tekintetében tudja gazdagítani a piaci működés megértését.

Az empirikus elemzések eredménye kevésbé egyöntetű, mint a modellszimulációs vizsgálatoké. A megújuló nagykereskedelmi árakra gyakorolt hatását a tanulmányok többsége szignifikánsnak és negatívnak méri. A naperőművek esetében ilyen eredményt kap Németországra *Tveten és szerzőtársai* [2013] és *Würzburg és szerzőtársai* [2013], Szlovákiára *Janda* [2018]. Vannak azonban olyan országok, ahol nem lehetett kimutatni a megújuló nagykereskedelmi árakra gyakorolt hatását (például Csehországra *Lunackova és szerzőtársai* [2017], illetve Izraelre *Milstein–Tishler* [2011]).

Azok az európai országokra vonatkozó tanulmányok, amelyek a megújuló fogyasztói árakra gyakorolt hatását a megújuló támogatásának költségeivel vetették össze, vegyes eredményekre jutottak. *Gelabert és szerzőtársai* [2011] a spanyol, *Würzburg és szerzőtársai* [2013] a német és *Clo és szerzőtársai* [2015] az olasz szél-erőművek esetében megállapították, hogy az ármérséklő hatásból fakadó költség-megtakarítás nagyobb, mint a fogyasztóknak a megújuló támogatásából származó terhe, tehát a megújuló technológia alkalmazása összességében árcsökkentő hatású. Ezzel szemben *Lunackova és szerzőtársai* [2017] Csehországra és *Janda* [2018] Szlovákiára, valamint *Clo és szerzőtársai* [2015] az olasz naperőművekre azt kapták, hogy az árakra gyakorolt hatás csak részlegesen tudja ellensúlyozni a támogatások miatti többletterheket. *Mezősi* [2014] szerint a magyar rendszerben a megújuló támogatása révén a nagykereskedelmi árak csökkentek, de a kiskereskedelmi árak növekedtek. Továbbá rámutatott arra is, hogy míg a terheket csak a magyar fogyasztók fizetik meg, addig a haszon jelentős, közel 75–85 százaléka nem Magyarországon keletkezik, hanem más országokban, viszont Magyarország is profitál a régiós országokban megvalósuló megújuló energia ármérséklő hatásából. A folyamatosan és egyre erősebben integrálódó európai villamosenergia-piacon ez egy adottság: az egyik országban alkalmazott piaci ösztönzők, támogatások minden más együttműködő piac fogyasztóira hatással vannak, a hátrányok és az előnyök sehol sem csak az adott országban jelentkeznek.

*Bushnell–Novan* [2018] kaliforniai adatok alapján a többi technológiára gyakorolt hatása szempontjából értékelte a megújuló energiának az árakra gyakorolt hatását. A szerzők szerint jelentős különbség van a szél-erőművek és a naperőművek hatása között. A szél-erőművek termelése egyenletesen csökkenti a nap folyamán az árakat, így az összes technológia jövedelmezőségét rontja, függetlenül a termelés mintázatától. Ezzel szemben a naperőművi termelés eltérően érinti a napon belüli árakat. Míg az eredetileg is alacsonyabb árú órákban tovább mérséklődnek az árak, a magas árú órák aránya egy idő után nem mérséklődik tovább. Ez azt eredményezi, hogy a nap-erőművek terjedése elsősorban az alacsony határköltségű technológiák – Kaliforniában a nukleáris és maguk a megújuló technológiák – jövedelmezőségét rontja, viszont nem okoz jövedelmezőségromlást a magas határköltségű technológiák [például nyílt ciklusú gázturbinák (OCGT), gázmotor] esetében, amelyek egyébként is csak a magas árú órákban termeltek volna. *Bushnell–Novan* [2018] tehát arra a következtetésre jut, hogy a megújulókkal komplementer technológiák beruházási ösztönzőit nem rontják a megújuló energiát felhasználó erőművek.

A megújuló és a hagyományos technológiák egymásra gyakorolt hatását régiós kontextusban vizsgálja *Mezősi és szerzőtársai* [2020] tanulmánya. A visegrádi országok nukleáris és megújuló energiát érintő fejlesztéseinek piaci hatásait vizsgálva arra a következtetésre jutottak a szerzők, hogy abban az esetben, ha egy időben bővítik a magas nukleáris- és a magas megújulóenergia-kapacitást, számottevően csökkennek a nagykereskedelmi árak. Ugyanakkor jelentős mértékben van szükség a nukleáris termelés korlátozására, az alapesethez viszonyítva a nukleáris erőművek kihasználtsága 3 százalékkal csökken, és az árak csökkenését is figyelembe véve jelentősen romlik a jövedelmezőség. Az alacsonyabb árak következtében a megújulók piaci bevételei is jelentősen mérséklődnek. Így szükség lehet arra, hogy a tervezett erőművi beruházások megvalósulását olyan szabályozási eszközökkel [például a különbözetre vonatkozó szerződés (*contract for difference*) típusú támogatással, ami eliminálja az árkockázatot] ösztönözzék, amelyek mérséklék az áralakulásban rejlő kockázatokat.

## A magyar villamosenergia-rendszerről és a megújuló energia támogatásáról dióhéjban

Az elmúlt években a magyar bruttó villamosenergia-felhasználás évi 43 terawattóra szint körül ingadozott. 2015-től évi 1 százalék körüli ütemben bővült a kereslet, majd a koronavírus-járvány miatti korlátozások hatására 2020-ban visszaesett a fogyasztás, de 2021-ben visszaállt a korábbi évek lassú növekedési pályájára.

A belső kereslet hozzávetőleg 70 százalékát hazai termelésből elégítik ki, 30 százalék körül ingadozik az importált villamos energia aránya. Magyarország határkeresztező importkapacitásokkal jól ellátott országnak tekinthető, 7119 megawatt bruttó rendszerterhelési csúcs mellett a rendelkezésre álló határkeresztező importkapacitások maximális volumene 6200 megawatt. Jelentős a tranzitforgalom, a Magyarországra érkező bruttó importnak átlagosan a felét exportálják (MEKH [2021]). Az import jellemzően Szlovákia, Ausztria és Ukrajna felől érkezik, míg a Romániával, Szerbiával és Horvátországgal való kereskedelemben az áramlás iránya gyakran változik, de Magyarország átlagosan nettó exportőr. Ez a mintázat jellemzően magas román szélerőművi, illetve magas balkáni vízerőművi termelés esetén változik, amikor déli irányból importál Magyarország, és nincs szükség szlovák és osztrák forrásokra.

Szlovák irányból 2021 áprilisáig jellemzően 1300 megawatt, majd a két új határkeresztező vezeték átadása után 2100 megawatt importkapacitás állt rendelkezésre. Osztrák irányból maximum 800 megawatt az elérhető kapacitások nagysága, de a rendszerirányítók karbantartás miatt vagy belső szűkületkezelési megfontolásokból gyakran korlátozzák a kereskedelem számára elérhető kapacitások nagyságát. Amikor a határkeresztezőkön szűkösség alakul ki, az import nagyságát nem a kereslet, hanem a kapacitáskorlát határozza meg. Ilyenkor a magyar másnapi piaci árak magasabbak, mint ami a szlovák és osztrák piacon jellemző. A többi határkeresztezőn csak ritkán fordul elő szűkösség, így Magyarország Romániával, Szerbiával, Horvátországgal és Szlovéniával egy árrégiót alkot (MEKH [2021]).

A megújuló energiaforrásoktól eltekintve a magyarországi erőműpark bruttó beépített kapacitása csak marginálisan változott az elmúlt években. 2021. augusztus végén 10 141 megawatt volt a teljes beépített teljesítmény, amiből 1641 megawattot adtak a naperőművek, emellett 2012 megawatt nukleáris, 4113 megawatt gáztüzelésű, 1116 megawatt szén és lignit, 420 megawatt olajos és 670 megawatt egyéb megújulóenergia-kapacitás volt a rendszerben. A különböző technológiákat eltérő kihasználtság jellemzi, így a termelésben képviselt súlyuk eltér a kapacitás-összetételétől. A zsinórban üzemelő nukleáris erőmű közel felét biztosítja a hazai villamosenergia-termelésnek. Ezt követi a földgáztüzelésű termelés, amelynek súlya a 2018-as 22 százalék után 2019–2021-ben 25 százalék körül ingadozott. A lignittüzelésű erőmű termeléshez való hozzájárulása a 2018-as 16,5 százalékról 2021-re 9 százalékra csökkent, miközben a naperőműveké ugyanebben az időszakban 0 százalékról 7,8 százalékra emelkedett.

A megújuló energia hasznosításának gyors terjedését a támogatási rendszer segítette elő. A legtöbb hálózatot tápláló, kereskedelmi méretű naperőmű a – 2008-ban elindult – kötelező átvételi tarifa (KÁT) támogatási rendszer keretében működik. A KÁT-rendszer lényege, hogy a megújuló energiaforrásokból származó energiát egy jogszabályban meghatározott rögzített áron, kötelező jelleggel átveszi a rendszerirányító, mérlegkörfelelősként menetrendezi és értékesíti az azonnali villamosenergia-piacon. A rendszer működtetéséhez szükséges támogatást, amely a termelőknek kifizetett rögzített ár, illetve a kiegyenlítő energiaköltség és a spot piacon a megújulóenergia-termelésért kapott árbevétel különbözete, a Mavir a nem kommunális fogyasztók által megfizetett áramdíjakból fedezi. A beszedett összeg az úgynevezett pénzeszköz, amely a vizsgált időszakban átlagosan 1,6–3,6 forint/kilowattóra terhet jelentett az ipari felhasználóknak. A KÁT-támogatásban részesülő erőművek beépített teljesítményének növekedése emelte, míg a piaci árak emelkedése mérsékelte a nem kommunális fogyasztókat terhelő kifizetések nagyságát.

A KÁT-rendszer 2016 végén lezárult, de a 2016 során kiadott engedélyek alapján épülő erőművek még 2021-ben is növelték a KÁT-mérlegkörhöz tartozó erőművek nagyságát. A KÁT mérlegkörön belül egyre nagyobb a naperőművek súlya. A Mavir által közölt statisztikai adatok<sup>6</sup> szerint míg 2010-ben még az úgynevezett kapcsolt termelők (villamosenergia- és hőtermelő egységek), a biomassza- és a szélkapacitások részesültek támogatásban, 2021-ben a támogatott kapacitásoknak már 75 százalékát adták a naperőművek. A KÁT összetételének megváltozásához nemcsak a naperőművi kapacitások gyors növekedése járult hozzá, hanem az is, hogy a kapcsolt erőművek támogatása 2011-ben megszűnt, új szélerőművek 2012 óta nem léptek a rendszerbe, a biomassza-alapú megújuló energia termelésének jelentős része pedig már támogatási konstrukcióban zajlott.

A KÁT-os erőművek előző napi menetrendek alapján várható termelését a Mavir a HUPX másnapi piacán árelfogadó módon<sup>7</sup> értékesíti. A vizsgált időszakban (2018. január–2021. augusztus) a KÁT-os mérlegkör által lebonyolított tranz-

<sup>6</sup> Mavir-adatpublikáció (<https://www.mavir.hu/web/mavir/kat-adatpublikacio>).

<sup>7</sup> Csak akkor nem értékesíti, ha rendkívül alacsony –500 euró/megawattóra alatti ár alakul ki.

akciók átlagosan 13 százalékat adták a HUPX másnapi piac összes kereskedett mennyiségének, és a KÁT-os tranzakciók több napon is meghaladták a teljes forgalom negyedét.

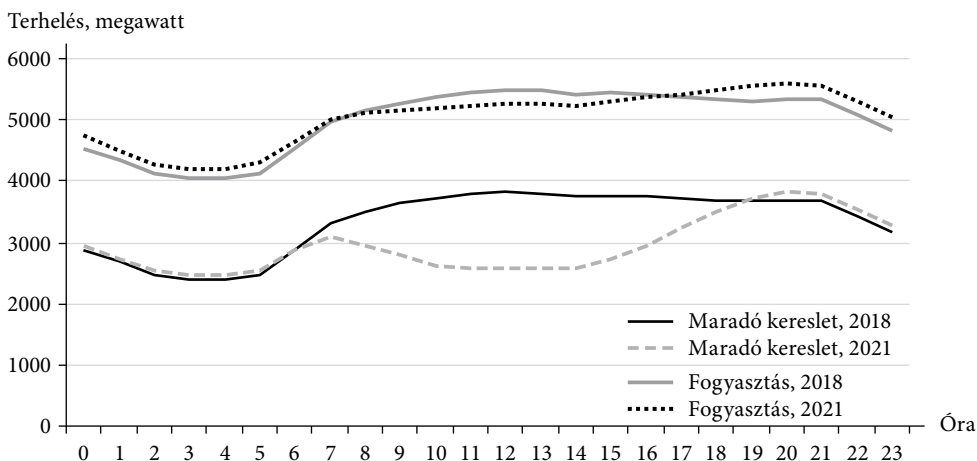
## Stilizált tények

Mivel a naperőművi termelés a nyári időszakban a legmagasabb, érdemes a nyári időszak (a besugárzási adatok alapján május–augusztus hónapok) adataival szemléltetni a legfőbb piaci változásokat. A keresletre gyakorolt hatás vizsgálata során két mutatót érdemes vizsgálni, a „hagyományos” fogyasztás alakulását és az úgynevezett maradó keresletet. A maradó kereslet a teljes fogyasztás és az alacsony határkölségű termelés különbsége. Az alacsony határkölségű termelés – amely a nukleáris, a nap- és szélerőművek termelésének összege – (majdnem) mindig értékesíthető a piacon, az áralakulás és a fosszilis termelés iránti igény szempontjából az ezen felüli kereslet nagysága a meghatározó.

Az 1. ábra a nyári hónapok keresletének alakulását mutatja a magas besugárzású hónapokra. A fogyasztás napon belüli mintázata hasonlóan alakult a vizsgált években, az úgynevezett mélyvölgy-időszakban, 0 óra és 4 óra között visszaesik a kereslet, majd 6 és 8 óra között emelkedik, a csúcsidőszakban, 8 és 20 óra között egyenletesen magas, csak este 19 és 20 óra körül emelkedik meg némileg, átlagosan mindössze 100 megawattal. Az esti csúcs után hajnalig ismét csökken a rendszerterhelés.

### 1. ábra

A fogyasztás és a maradó kereslet alakulása a nyári hónapokban, 2018, 2021



Forrás: MEKH (saját számítás Mavir-adatok alapján).

Ezzel szemben a maradó kereslet napon belüli mintázata jelentősen megváltozott az elmúlt években. Míg 2018-ban még szinte konstans volt a csúcsidőszakban, 2021-ben 8 és 14 óra között átlagosan 500 megawatt keresletcsökkenés volt megfigyelhető.



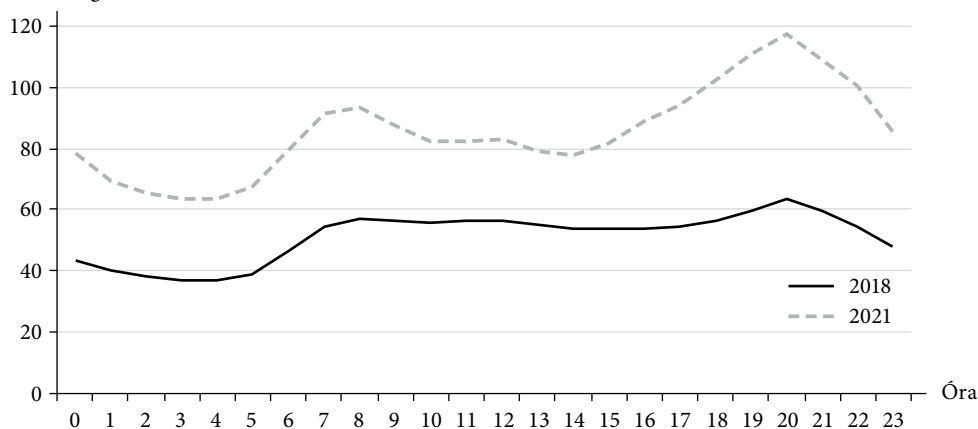
A délutáni órákban viszont jelentős növekedés látható, 2021 nyarán 14 és 19 óra között átlagosan 800 megawattal emelkedett a maradó kereslet nagysága. Az irodalomban ezt a napon belüli mintázatot nevezik „kacsagörbének”.<sup>8</sup>

A maradó kereslet mintázatának változása visszatükröződik a másnapi árak alakulásában is (2. ábra). Míg 2018-ban a csúcsidőszakot stabil árak jellemezték, és csak egy kisebb emelkedés jellemezte az esti órákat, 2021-ben a déli órákban az árak csökkenését, majd az esti órákban, amikor csúcsra emelkedik a maradó kereslet, az árak jelentős emelkedését figyelhetjük meg.

## 2. ábra

Az óránkénti árak alakulása a HUPX másnapi piacon a nyári hónapokban, 2018, 2021

Euró/megawattóra



Forrás: HUPX.

A 3. ábra azt szemlélteti, hogy hogyan reagált a napon belüli kereslet- és áringeredezésre a villamosenergia-kínálat három érzékeny komponense, a lignit- és a földgáztüzelésű termelés, illetve a nettó import. Jól látható, hogy a maradó keresletben tükröződő ingadozásokat nagyrészt az import változásai követték le. Kisebb mértékben a földgáztüzelésű termelés is követi a maradó kereslet ingadozását. A mélyvölgyi időszakban 200–250 megawattos terheléscsökkenést, míg az esti csúcskereslet idején 70–80 megawatt emelkedést figyelhetünk meg. A vizsgált időszakban a Mavir kimutatása szerint átlagosan kétszer annyi gázerőművi kapacitás állt rendelkezésre, mint a termelés napi csúcsértéke, és a rendszerirányító legfeljebb 250–300 megawatt kapacitást kötött le felszabályozásra, így elmondható, hogy nem a kapacitások korlátozták a gáztüzelésű erőművek erőteljesebb reakcióját az árak emelkedésére. A lignittüzelésű termelés egyáltalán nem reagált a naperőművi kínálat ingadozására.

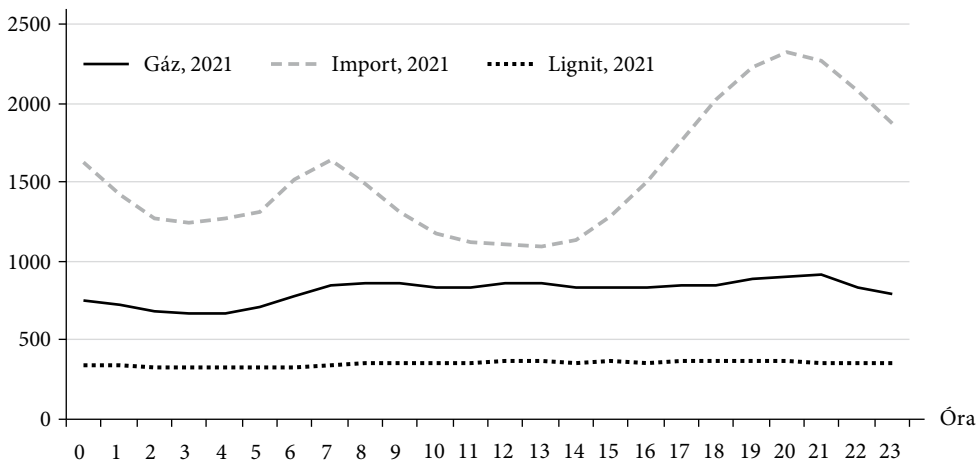
Határmetszékenként vizsgálva, a 4. ábrán látható, hogy a kínálat délelőtti csökkenését, majd esti felfutását a balkáni országokkal folytatott külkereskedelmi forgalom

<sup>8</sup> A kacsagörbe kifejezés a kaliforniai rendszerirányító (CAISO) vezetőjétől származik, 2012-ből.

## 3. ábra

A nettó import, a földgáz- és a lignittüzelésű erőművek termelése a nyári hónapokban, 2021

Terhelés, megawatt



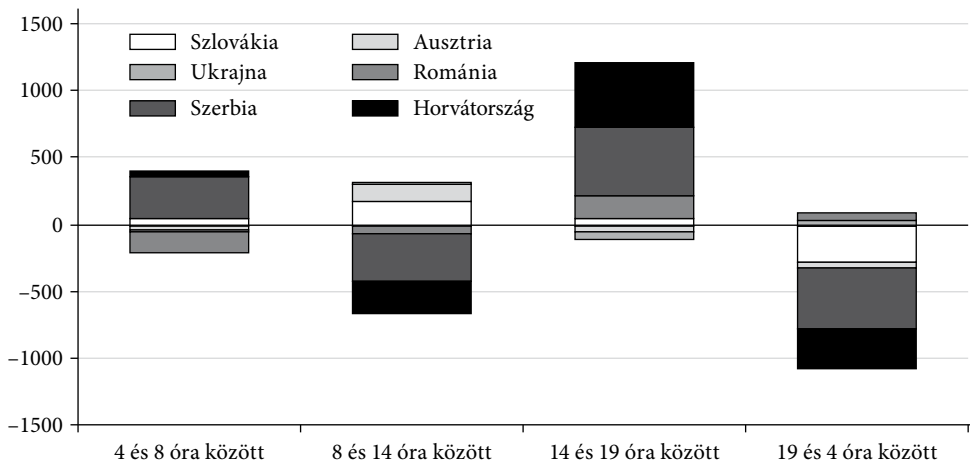
Forrás: MEKH (saját számítás Mavir-adatok alapján).

biztosítja. Ehhez legnagyobb mértékben Szerbia, Horvátország és kisebb mértékben Románia járul hozzá. Az osztrák és szlovák határkeresztezők jellemzően már napközben is teljes kihasználtsággal üzemelnek, így abból az irányból nincs lehetőség többletimportra az esti csúcskereslet idején. Déli irányból általában van szabad határkeresztező kapacitás, és a balkáni vízerőművek az esti csúcsigények kiszolgálására vannak optimalizálva.

## 4. ábra

A nettó import napon belüli alakulása határmetszékenként a nyári hónapokban, 2021

Terhelésváltozás, megawatt



Forrás: MEKH (saját számítás Mavir-adatok alapján).

## Adatok, alkalmazott módszertan

Mivel 2018 volt az első év, amikor a naperőművi termelés már rendszerszinten is érzékelhető volt, a vizsgálatot a 2018. január 1. és 2021. augusztus 31. közötti óránkénti, illetve napi adatokon végeztük el. A régiós másnapi árakra, az egyes technológiák termelésére, a külkereskedelmi és határkeresztező kapacitásokra vonatkozó adatok forrása a Mavir honlapja és az Entso-E Transparency Platform.<sup>9</sup>

Az empirikus elemzés lineáris regressziós becslést használ, azt feltételezve, hogy a másnapi villamosenergia-piacon ajánlatot adók tökéletes előrelátással rendelkeznek a magyarázó változók másnapi alakulásáról. A függő változók az első blokkban a másnapi zsinórár, illetve a 8, 14 és 19 órás árak. A második blokkban a gáztüzelésű erőművek átlagos napi termelése, valamint a 8, 14 és 19 órás termelési szintek. A lignittüzelésű erőművi termelés és a naperőművi termelés összefüggését magyarázó eredményeket nem mutatjuk be. Bár a becslések mutattak összefüggést a két változó között, hiszen a naperőművi magasabb termelés évről évre csökkenő lignittüzelésű termeléssel járt együtt, az okozati összefüggés kétséges. A Mátrai Erőműben inkább az avulás, nem pedig a naperőművek generálta árváltozások okozták a termelés csökkenését, hiszen a termelés a nagyon magas jövedelmezőséget biztosító időszakokban sem emelkedett.<sup>10</sup> Bár elvileg minden erőművi blokk még ma is rendelkezésre áll, a két legrégebbi 2019 óta szinte folyamatosan áll. 2020-tól a három újabb lignites blokkból is csak kettő üzemel folyamatosan, a harmadik csak a másik két blokk karbantartása idején működik.

A magyar nagykereskedelmi piaci árakat a naperőművi termelés mellett számos más tényező alakítja. Ezek közül a legfontosabb a termelési költségek alakulása, ami meghatározza az áralakulás trendjére vonatkozó várakozásokat. Ez tetten érhető abban, hogy a hazai villamosenergia-piacon az éves zsinórtermékre vonatkozó várakozások a gáztüzelésű erőművek határköltségével mutatnak szoros együttmozgást (5. ábra).

Rövidebb távon a napi árakat számos keresleti és kínálati tényező téríti el a tényezőárak által determinált trendtől. Mivel a hazai villamosenergia-piac integrált, a hazai mellett a régiós országok keresleti és kínálati ingadozásai is befolyásolják a hazai árakat.

OLS-becslés alkalmazása esetén alapvető fontosságú, hogy a magyarázó változók exogének legyenek, mivel az endogenitás torzítja a kapott paraméterek nagyságát. Ez azért jelent kihívást, mert a piaci árak alakulását több, olyan keresleti és kínálati tényező is befolyásolhatja, amelyek maguk is függnek az árak alakulásától. A módszer választása mellett az szól, hogy a vizsgálat szempontjából legfontosabb naperőművi termelés a támogatási rendszer jellegzetességei miatt függetlennek tekinthető az árak alakulásától. Ugyanakkor több magyarázó tényezőt is instrumentális változókkal kellett helyettesíteni annak érdekében, hogy ne legyenek torzítottak a becslési eredmények.

A hazai piacon megjelenő keresletnek két fő komponense van: a hazai fogyasztás ellátásához szükséges energia és a balkáni országok importkereslete. A hazai fogyasztókat jellemzően hosszabb távon rögzített árú szerződések keretében látják el. Az

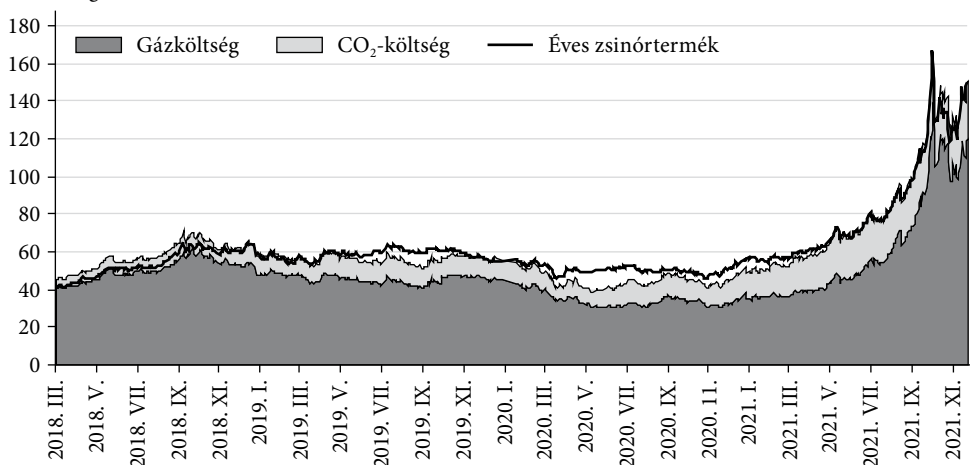
<sup>9</sup> <https://transparency.entsoe.eu/>.

<sup>10</sup> 2021 augusztusától a lignites erőművek jövedelmezőségét mérő Clean Dark Spread mutató folyamatosan magas jövedelmezőséget jelez (MEKH, <http://www.mekh.hu/havi-piacmonitoring-riport-villamos-energia-2021-szeptember>).

## 5. ábra

Egy 48 százalékos hatásfokú, zárt ciklusú gázerőmű (CCGT) termelési költségei és az éves villamosenergia-zsinórtermék ára

Euró/megawattóra



Forrás: saját számítás HUDEX-, TTF- és EEX-adatok alapján.

egyetemes szolgáltatásban vételezők ára 2014 óta nem változott, míg a versenyszektorhoz tartozó felhasználók esetében az éves fix áras szerződések a jellemzők, amelyek árazása az éves zsinórtermék árával mutat együttmozgást (MEKH [2021]). Még a legnagyobb ipari szereplők esetében sem jellemző a spot piaci árazás, az indexált szerződésekben sincsenek havinál rövidebb termékárhoz kötve. Ezért azt feltételeztük, hogy a napi árakat magyarázó egyenletben a hazai fogyasztás magyarázó változóként való szerepeltetése esetén nem áll fenn endogenitási probléma.

A szerb és horvát határon megjelenő importkereslet fontos komponense a piacok közötti árkülönbségekre reagáló kereskedelmi áramlás, az olasz, a szlovén és a magyar piacok közötti arbitrázs. Ugyanakkor a balkáni importkeresletnek van egy „fundamentális” komponense is, amely a balkáni fogyasztástól és a termeléstől függ, és sokkal kevésbé érzékeny. Mivel a régió nukleáris és a lignites erőművei jellemzően zsinórban termelnek, az importkereslet e „fundamentális” komponensének ingadozását alapvetően a vízerőművek időjárástól függő változásai okozzák.<sup>11</sup> Ezért a balkáni importkereslet instrumentális változójának a balkáni vízerőművi termelést választottuk. Ezt arra alapoztuk, hogy a balkáni import és a vízerőművek termelése között 0,6 a korrelációs együttható nagysága, ami közepesen erős együttmozgást jelent a két változó között.

A kínálatoldali hatásokra áttérve a hazai termelés esetében exogén változónak tekinthetjük a naperőművi termelést – szemben az árakkal és az alternatív technológiák

<sup>11</sup> A vízerőművi termelés napi átlagos szintje elsősorban a vízállástól függ, ugyanakkor a termelés napon belüli mintázata követi az árak alakulását: a termelési csúcsot az esti órákban biztosítják, amikor a legmagasabbak az árak. Tehát a vízerőművi kínálat nem teljesen független az árak alakulásától, de azt, hogy ez a napon belül jellemző mintázat milyen termelési szinten tud megvalósulni, már a vízállás determinálja.

termelésével. Termelésüket az időjárás determinálja, és a KÁT-os támogatási rendszerben bevételek nem függ az aktuális piaci árak alakulásától. A hazai kínálatban nagy súlyt betöltő nukleáris termelés is exogénnek tekinthető. Bár azokban az országokban, ahol a piaci árak gyakran kerülnek negatív tartományba, előfordul, hogy az árakra reagálva a nukleáris erőművek is leterhelnek, Magyarországon ez azonban nagyon ritka, a vizsgált időszak 32 132 órájából mindössze négy napon, összesen 14 órában (0,04 százalék) volt a HUPX másnapi ár negatív. A magyar nukleáris termelés ingadozásának elsősorban műszaki okai voltak, karbantartáshoz és kapacitáskiesésekhez kötődtek, vagy a rendszerirányító utasítására történtek.

Ezzel szemben a hazai kínálatban fontos szerepet játszó fosszilis technológiák termelése közvetlenül függ az áráktól. Ezért a földgáz- és a lignittüzelésű erőművek kínálati függvényét a tényezőárak jelenítik meg az egyenletben. A földgáz esetében a földgáz- és a szén-dioxid-kvóta, a lignit esetében pedig csak a szén-dioxid árának alakulása alakítja a kínálatot, mivel a lignit saját bányából származik, költségét nem befolyásolják az áringadozások. A tényezőárakat azért tekintettük exogénnek, mert a földgáz- és a szén-dioxid-kvóta ára is egy olyan méretű piacon határozódik meg, ahol elenyésző súlya van a hazai termelők keresletének.

Az importkínálat megragadására alkalmas változók kiválasztása során figyelembe kell venni, hogy Romániával, Szlovákiával és 2021 nyara óta Ausztriával is piac-összekapcsolás keretében folyik a másnapi piaci külkereskedelem, a piacok közötti árkülönbözetek közvetlenül befolyásolják az importáramlások nagyságát. Ezért az importkínálat ingadozásának hatását több instrumentum jeleníti meg a becsült egyenletekben. Azokban az időszakokban azonban, amikor a határkeresztező vezetékek telítettek, nem a kereslet, hanem a kereskedelem számára elérhető határkeresztező kapacitások nagysága korlátozza az importot. A határkeresztező kapacitások nagyságát exogénnek tekinthetjük, mert a releváns rendszer-üzemeltetők műszaki megfontolások alapján határozzák meg a kereskedelem számára felkínált kapacitások nagyságát. Ezért a leggyakrabban telített és legvolatilisabb osztrák határkeresztező kapacitások nagyságát választottuk az importkínálat egyik instrumentumának.

Az import másik meghatározója, hogy a szomszédos országokban rendelkezésre állnak-e a hazainál alacsonyabb árú források. Mivel a fosszilis kínálat költség szintje minden országban hasonlóan alakul, elsősorban a megújuló erőművi termelés határozza meg az olcsóbb források rendelkezésre állását. Ezért a régiós megújuló energiaforrású erőművi termelést tekintettük az importkínálat másik instrumentumának. Három olyan megújuló energiaforrás van, amely szignifikánsan befolyásolja a hazai piacon megjelenő kínálatot: a német szél- és naperőművi termelés (62 gigawatt, illetve 53 gigawatt beépített kapacitás), a román szélerőművi termelés (3 gigawatt beépített kapacitás), valamint a balkáni vízerőművi termelés, amely a balkáni kereslet instrumentumaként már szerepel a magyarázó változók között.

A gázerőművi termelést magyarázó egyenletekben a hazai kereslet, a tényezőárak és az exogénnek tekinthető alacsony határköltségű technológiák kínálata szerepel magyarázó változóként.

A becsült egyenletekben havi és éves kétértékű változók is szerepelnek, mivel a gáztüzelésű és a naperőművek termelése is erőteljes szezonális mintázatot mutat. A havi

kétértékű változók használatát a naperőművek esetén a sugárzás ciklikus alakulása okozza, míg a gázerőművek termelése azért magasabb télen, mert a jelentős hőigény miatt a legtöbb egység folyamatos üzemben működik, míg fűtési szezonon kívül csak akkor termelnek, ha a nagykereskedelmi vagy a szabályozási piac azt jövedelmezővé teszi. A vizsgált időszakban 40 százalékkal magasabb volt a gáztüzelésű erőművek villamosenergia-termelése a fűtési időszakban, mint nyáron. Az éves kétértékű változók feladata, hogy a vizsgált időszakban emelkedő naperőművi penetráció hatását megragadják. Bár az árak alakulása a hét napjai között is szisztematikusan eltérő mintázatot mutat, ez a villamosenergia-kereslet változó szintjének következménye, így nem tartottuk szükségesnek a hétvégét és a munkanapokat megkülönböztető kétértékű változók szerepeltetését a modellben.

A becsült egyenletek reziduumaik autokorreláltak voltak. A következtetések robusztussága érdekében az autokorrelációból fakadó torzítás kiküszöbölését kétféle módon kezeltük. Az egyik megoldás az volt, hogy a függő változó késleltetett értékei is szerepeltek az egyenletekben. Ez az eljárás akkor indokolt, ha azt feltételezzük, hogy a villamos energia keresletét és kínálatát számos olyan tényező befolyásolja, amelyet nem tudtunk megfelelő magyarázó változókkal megragadni, de hatásuk meg tud jelenni a függő változó késleltetett értékeiben. E módszer hátránya, hogy a késleltetett függő változó szerepeltetése csökkentheti a többi magyarázó változó szignifikanciáját. A másik módszer a Newey–West heteroszkedaszticitás- és autokorreláció-konzisztens standard hibák használata volt. Ezekben a becsült egyenletekben nem szerepel késleltetett endogén változó, hiszen a becslés így is konzisztens. Mivel a két módszer kvalitatíve megegyező eredményt adott, az alábbiakban csak a Newey–West-módszer eredményei szerepelnek, a késleltetett változós becslési eredményeket a *Függelékben* közöljük.

## Becslési eredmények

A naperőművi termelés piaci árakra gyakorolt hatásának kimutatására először a másnapi zsinórák alakulását magyarázó egyenleteket becsültük meg. Ezt követően az árak napon belüli mintázatára gyakorolt hatást vizsgálatuk, ezekben az egyenletekben a naperőművi termelés szempontjából kiemelt órákban kialakult árak szerepeltek függő változóként. A magyarázó változóknak minden egyenletben az átlagos napi értéke szerepel.

A zsinórák alakulását magyarázó első egyenletben a fő keresleti és kínálati változók együttthatói szignifikánsak és a várt előjelűek. Az 1. táblázatban látható becslési eredmények szerint a hazai másnapi árak magasabbak akkor, ha nagyobb a hazai fogyasztás, illetve akkor, ha magasabbak a fosszilis technológiák termelési költségei, a földgáz- és a szén-dioxid-kvóta ára. A kínálatot megjelenítő változók is a várt előjellel szerepelnek. A hazai árakat csökkenti, ha zavartalan a hazai nukleáris erőmű működése, bőséges a balkáni vízerőművi termelés, a román szélerőművi kínálat, illetve ha magas a német megújulóenergia-termelés nagysága. Az is szignifikánsan mérsékli a hazai árakat, ha több osztrák határkeresztező kapacitás áll rendelkezésre. A naperőművi termelés együttthatója 5 százalékos szignifikanciaszinten nem különbözik nullától.

## 1. táblázat

A másnapi árak (DAM) alakulását magyarázó egyenletek becslése

Newey–West-módszerrel számított HAC-konfidenciaintervallumok alapján

(mintaidőszak: 2018. január 1.–2021. augusztus 31.)

Magyarázó változók	DAM-ár		DAM-ár, 8 óra		DAM-ár, 14 óra		DAM-ár, 19 óra	
	együtt- ható	prob	együtt- ható	prob	együtt- ható	prob	együtt- ható	prob
Konstans	-33,38	0,00	-80,07	0,00	-51,66	0,00	-21,71	0,05
Fogyasztás	0,02	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00
Naperőmű	0,00	0,35	0,00	0,87	-0,02	0,01	0,03	0,00
Nukleáris	0,00	0,01	-0,01	0,00	-0,01	0,01	0,00	0,17
Balkán víz	-0,01	0,00	-0,01	0,00	-0,01	0,00	-0,01	0,00
Román szél	-0,004	0,00	-0,0040	0,00	-0,0035	0,00	-0,0043	0,00
Német megújuló	-0,0003	0,00	-0,0003	0,00	-0,0002	0,00	-0,0003	0,00
Gázár	1,44	0,00	1,55	0,00	1,41	0,00	2,09	0,00
EUA-ár	0,31	0,03	0,35	0,07	0,08	0,56	0,24	0,06
Osztrák határkeresztező	-0,01	0,00	-0,02	0,00	-0,02	0,00	-0,02	0,00
Éves kétértékű változók	igen		igen		igen		igen	
Havi kétértékű változók	igen		igen		igen		igen	
Megfigyelések száma	1327		1327		1327		1327	
$R^2$	0,88		0,79		0,79		0,79	
Kiigazított $R^2$	0,88		0,79		0,79		0,79	
A függő változó átlaga	51,1		58,9		50,6		66,3	
A függő változó szórása	19,3		23,9		22,6		24,7	
A regresszió standard hibája	6,73		11,02		10,38		11,39	
A reziduum négyzetösszege	58 996		158 346		140 580		169 133	
Log likelihood	-4403		-5059		-4980		-5103	
$F$ -érték	417,9		214,4		217,7		215,1	
Prob( $F$ -érték)	0,00		0,00		0,00		0,00	
Durbin–Watson-statisztika	1,24		1,41		1,40		1,36	

DAM: másnapi ár (*Day-Ahead Market, DAM*).HAC: heteroszkedaszticitás- és autokorreláció-konzisztens (*heteroskedasticity- and autocorrelation-consistent, HAC*).

EUA: európai kibocsátási egység.

A szignifikáns paraméterek dőlt betűvel szerepelnek.

Forrás: saját számítás.

Az óras árakat magyarázó egyenletekben a legtöbb magyarázó változó paraméterbecslése nagyságrendileg hasonló az átlagos másnapi árakat magyarázó egyenletekben szereplőkhöz. Ugyanakkor egyes magyarázó változók elvesztik szignifikanciájukat (román szél-, nukleáris, EUA-ár). A naperőművi termelés paramétere a reggel 8 óras árak tekintetében még nem különbözik szignifikánsan nullától. Ezzel szemben mind a déli, mind az esti órák alakulását jelentősen befolyásolja a naperőművi termelés. A 14 óras árakat csökkenti, a 19 óras árakat viszont emeli a naperőművi termelés magasabb szintje. A két egyenlet paramétereit összevetve láthatjuk, hogy a déli órákra jellemző árcsökkenő hatás kisebb, mint az esti áremelő hatás. A becslés tehát visszatükrözi azt a stilizált tényt, hogy a magas naperőművi termelésű napokon az esti órákban a szokásosnál magasabb árak alakulnak ki.

A gáztüzelésű termelés alakulását magyarázó egyenletekben (2. táblázat) a várakozásoknak megfelelően a termelés nagyságát szignifikánsan növeli, ha magasabb a hazai fogyasztás, viszont mérsékli, ha rendelkezésre áll alacsonyabb határköltségű kínálat, azaz hazai nukleáris, balkáni vízerőművi, illetve német megújulóenergia-termelés, a román szélerőművi termelés koefficiense csak egy egyenletben szignifikáns. Szintén alacsonyabb a hazai gáztüzelésű erőművi termelés szintje akkor, ha több osztrák határkeresztező kapacitás áll rendelkezésre. A várakozásoknak megfelelően a magasabb gázár alacsonyabb gázerőművi termelést okoz. A szén-dioxid-kvótaár koefficiense relatíve magas pozitív értéket mutat, viszont egyik esetben sem szignifikáns.<sup>12</sup> Ennek az lehet az oka, hogy ha magasabb a kvótaár, akkor a karbonmentes technológiákhoz képest romlik a gáztüzelésű termelés jövedelmezősége, viszont magas kvótaárak mellett a gáztüzelés jövedelmezőbbé válik, mint a széntüzelésű erőművi termelés (ez az úgynevezett szén-gáz helyettesítés), így a magasabb kvótaár ezen a csatornán a gáztermelés növelése irányába hat.

A naperőművi termelés együtthatója a termelés napi átlagát tekintve nem szignifikáns. Ugyanakkor a napon belüli mintázat eltérően alakul. A reggeli és az esti órákban a magasabb naperőművi termelés magasabb gázerőművi termelést implikál, míg a déli órákban nem kimutatható a hatás. A reggeli és esti órák magasabb értékét részben a kedvezőbb árak okozzák, de az is hozzájárul, hogy magasabb naperőművi termelésű napokon a 6–22 óra közötti időszakra a rendszerirányító gyakran több szabályozási kapacitást köt le. A déli órákban az áralakulás és a magasabb szabályozási piaci lekötés ellentétes irányú reakciót vált ki, így a becslés nem adott szignifikáns együtthatót.

<sup>12</sup> A Függelékben szereplő alternatív becslésekben, amelyekben az egyenletek késleltetett függő változót tartalmaznak, a kvótaárak együtthatója szignifikánsan negatív.



2. táblázat  
A gáztüzelésű erőművek termelését magyarázó egyenletek becslése Newey–West-módszerrel számított HAC-konfidenciaintervallumok alapján (mintaidőszak: 2018. január 1.–2021. augusztus 31.)

Magyarázó változók	Gáztüzelésű termelés		Gáztüzelésű termelés, 8 óra		Gáztüzelésű termelés, 14 óra		Gáztüzelésű termelés, 19 óra	
	együttható	prob	együttható	prob	együttható	prob	együttható	prob
Konstans	-255,07	0,17	-588,48	0,00	-390,21	0,07	-325,19	0,12
Fogyasztás	0,34	0,00	0,41	0,00	0,38	0,00	0,35	0,00
Naperőmű	0,18	0,12	0,27	0,04	-0,04	0,76	0,45	0,00
Nukleáris	-0,07	0,05	-0,07	0,10	-0,06	0,16	-0,07	0,12
Balkán víz	-0,06	0,00	-0,07	0,00	-0,07	0,00	-0,05	0,02
Román szél	-0,02	0,07	-0,01	0,32	-0,03	0,02	-0,01	0,30
Német megújuló	-0,003	0,00	-0,002	0,03	-0,003	0,00	-0,002	0,01
Gázár	-9,48	0,00	-9,27	0,00	-10,08	0,00	-8,61	0,00
EUA-ár	4,45	0,07	4,07	0,08	5,64	0,07	3,94	0,13
Oszt rák határkeresztező	-0,19	0,00	-0,19	0,01	-0,22	0,00	-0,24	0,00
Éves kétértékű változók	Igen		Igen		Igen		Igen	
Havi kétértékű változók	Igen		Igen		Igen		Igen	
Megfigyelések száma	1327		1327		1327		1327	
R <sup>2</sup>	0,74		0,73		0,69		0,71	
Kiigazított R <sup>2</sup>	0,74		0,72		0,69		0,70	
A függő változó átlaga	843,0		880,0		846,9		914,7	
A függő változó szórása	296,8		331,1		329,8		327,1	
A regresszió standard hibája	151,3		175,0		184,7		178,4	
A reziduum négyzetösszege	29 831 466		39 940 870		44 473 854		41 494 602	

A 2. táblázat folytatása

Magyarázó változók	Gáztüzelésű termelés		Gáztüzelésű termelés, 8 óra		Gáztüzelésű termelés, 14 óra		Gáztüzelésű termelés, 19 óra	
	együthathó	prob	együthathó	prob	együthathó	prob	együthathó	prob
Log likelihood	-8537,4		-8731,2		-8802,6		-8756,5	
F-érték	165,5		149,9		127,3		137,3	
Prob(F-érték)	0,00		0,00		0,00		0,00	
Durbin–Watson-statisztika	0,64		0,86		0,87		0,80	

HAC: heteroszkedaszticitás- és autokorreláció-konzisztens (*heteroskedasticity- and autocorrelation-consistent, HAC*).  
EUA: európai kibocsátási egység.  
A szignifikáns paraméterek dőlt betűvel szerepelnek.  
Forrás: saját számítás.

## Értékelés, szabályozói szempontból releváns következtetések

*Lunackova és szerzőtársai* [2017] Csehországra és *Milstein–Tishler* [2011] Izraelre vonatkozó eredményeihez hasonlóan a magyar piacon sem sikerült kimutatni, hogy a megújuló energiaforrású termelésnek szignifikáns hatása lenne a másnapi piacon kialakuló zsinórárakra.

A kapott eredményt több tényező is magyarázhatja. Az első, hogy a vizsgált időszakban a magyar naperőművi kapacitás beépített teljesítménye még nem volt elég nagy ahhoz, hogy az ebből fakadó kínálati volatilitás számottevő árhatást produkáljon. A magyar naperőművi termelés ugyanis a piac-összekapcsolás révén egyszerre bővíti a cseh, a szlovák, a román és 2021 júniusától a lengyel, az osztrák és a német másnapi piacon megjelenő kínálatot. Ugyanakkor a 2000 megawattos magyar naperőművi kapacitással szemben a 3000 megawattos beépített kapacitással rendelkező román szélerőműveknek több becslésben is kimutatható volt a hatása, érdemes a vizsgálatot újból elvégezni, ha a naperőművi penetráció magasabb szintet ér el.

A naperőművi termelés együtthatójának alacsony megbízhatóságát az is okozhatja, hogy a magas naperőművi termeléssel jellemezhető nyári időszakban a meleg miatt a villamosenergia-fogyasztás is jelentősen megemelkedik. A fogyasztás és a naperőművi termelés nyári időszakra jellemző egyidejű emelkedése miatt statisztikailag nehéz elkülöníteni a két tényező hatását.

A harmadik tényező, amelyet elemzésünkben részletesen is vizsgáltunk, az, hogy a naperőművi termelés jelentősen megváltoztatja az árak napon belüli mintázatát. A becslések alapján szignifikáns negatív összefüggés van a naperőművi termelés és a déli órákban tapasztalt alacsonyabb árak között. Ugyanakkor azokon a napokon, amikor magas a naperőművi termelés, az esti órákban a szokásosnál is magasabbra emelkednek az árak, ami a napi átlagárban ellensúlyozza a délelőtti órákban tapasztalt árcsökkenést.

Az irodalomban vizsgált első kérdésre – hogy a megújuló energiát szolgáltató erőművek terjedése hogyan érinti a végfelhasználói árakat – a becslési eredmények azt a választ adják, hogy a magyar piacon árnövelő hatás jelentkezik. Miközben a támogatások emelték a nem kommunális fogyasztók árait, a nagykereskedelmi piacon egyelőre nem mutatkozik ezt ellensúlyozó, árakat mérséklő hatás. Ugyanakkor a kapott eredmények azt is megmutatták, hogy ha a régió összes megújulóenergia-termelését tekintjük, szignifikáns negatív kapcsolat van a megújulóenergia-termelés alakulása és az árak között. A magyar-nál sokkal nagyobb kínálati sokkokat okozó német megújulóenergia-termelésnek, valamint a román szélerőművi és balkáni vízerőművi termelésnek is szignifikáns árcsökkentő hatása volt a vizsgált időszakban. Így ha a dekarbonizációs célok elérése érdekében megtett közös európai erőfeszítéseket együttesen vizsgáljuk, és ennek részeként tekintünk a magyar megújulóenergia-támogatások terheire, sokkal kedvezőbb összképet kapunk a végfelhasználói energiaárakra gyakorolt hatás tekintetében.

Az irodalom másik vizsgált kérdése: miképp érinti a megújuló energia penetrációjának a növekedése az egyéb technológiák jövedelmezőségét. Mivel a zsinórárakban a fenti módszerekkel nem találtunk szignifikáns árhatást, ez alapján nem igazolható, hogy a hazai zsinórüzemben termelő technológiák jövedelmezőségét rontotta volna a hazai megújulóenergia-termelés. Ha tágabb kontextusban vizsgáljuk a kérdést,

akkor már összetettebb a kép. A megújuló energia régiós kínálatának volt jövedelmezőséget rontó hatása. Ezt azonban a nukleáris termelés esetében teljes mértékben kompenzálja egy másik klímapolitikai intézkedés, a szén-dioxid-kvótaárak emelkedése, ami a vizsgált időszakban jelentősen emelte a piaci árakat, és ezáltal szignifikáns többletbevételt biztosított a nukleáris erőműveknek. Mivel a magyar piaci árak alakulása a gáztüzelésű erőművek termelési költségeivel mutat együttmozgást, a gáztüzelésű erőművek szempontjából a szén-dioxid-kvótaárak hatása semleges. A széntüzelésű erőművek a gáztüzelésűekhez viszonyítva kétszer annyi szén-dioxidot bocsátanak ki, a kvótaárak emelkedése a széntüzelésű erőművek esetében felerősítette a régiós megújulóenergia-termelők jövedelmezőséget rontó hatását.

A becslési eredmények arra is felhívják a figyelmet, hogy az árak napon belüli mintázatát jelentősen változtatja a naperőművi termelés alakulása. Nagyobb megújulóenergia-termelés esetén a déli órákban nagyobb mértékű árcsökkenés, míg az esti órákban jelentős áremelkedés történik, 2021-ben átlagosan 40 euró/megawattal volt magasabb az esti ár a déli órák áránál. Ez azon technológiák számára, amelyek alacsony költség mellett rugalmasan képesek változtatni a termelésüket, többletbevétel realizálását teszi lehetővé. Az ebből realizálható többletjövedelmet elsősorban a balkáni vízerőművek realizálták, a hazai termelők csak kisebb részben részesültek belőle. A hazai kínálat esti áremelkedésre adott reakciója azért ilyen korlátozott, mert az esti felterheléshez szinte kizárólag azok az erőművek járulnak hozzá, amelyek napközben is termelnek. Bár szabad rugalmas erőművi kapacitás<sup>13</sup> jellemzően van még a rendszerben, ennek zöme nyílt ciklusú (OCGT technológiájú) erőmű. Mivel ezek álló gépek, a magas indítási költségek miatt még az esti órákra jellemző piaci árnál is drágábban hajlandók egy legfeljebb két-három órás termelési ciklust elindítani.<sup>14</sup> Ezen egységek jellemzően nem is adnak nagykereskedelmi piaci ajánlatot, tehát nem jelentik versenyképes alternatíváját az importált forrásoknak.

Ahhoz, hogy a naperőművi beruházások nagykereskedelmi árakat mérséklő hatása a hazai piacon is érvényesüljön, arra van szükség, hogy mérséklődjön az esti órákban szükséges felterhelés mértéke, és bővüljön a versenyképes árú hazai kínálat, amely ezt ki tudja elégíteni. Mivel a naperőművi penetrációval együtt járó esti magas árak problémája más országokban is jelentkezett, érdemes megfontolni azon ösztönzők és szabályozói beavatkozások hazai implementálását, amellyel az esti órákban kialakuló piaci szűkösség mérsékelhető. A lehetséges eszközökről Lazar [2016] ad összefoglalót.

Mivel a naperőművi termelés napon belüli mintázata olyan, hogy csökkenti az igényt a zsinórban üzemelő egységek iránt, a rugalmas fosszilis technológiák pedig csak magas áron tudják az esti felterhelést biztosítani, az esti árak mérséklése érdekében a nem fosszilis megoldásokban rejlő keresleti és kínálati rugalmassági lehetőségeket célszerű mobilizálni.

Kínálati oldalon az egyik ilyen tipikus intézkedés a hibrid erőművek támogatása, ahol a naperőművek mellé tárolót is telepítenek, így segítve elő, hogy a napközben

<sup>13</sup> Szabad kapacitásnak tekintjük azokat az erőműveket, amelyek rendelkezésre állnak, de az adott órában nem termelnek, és szabályozási kapacitásként sem kötötte le a kapacitásukat a Mavir.

<sup>14</sup> Ezek az egységek a szabályozási energiapiacra 300 euró/megawattóra árszinten adnak ajánlatot.

megtermelt villamos energia azokban az időszakokban tudjon megjelenni a piacon, amikor a legmagasabb a kereslet és az ár.<sup>15</sup> Emellett a napon belüli áringadozások mérséklésében segíthetnek az önálló tárolók is, bár ma még ezen egységek számára sokkal jövedelmezőbb, ha a szabályozási piacon adják el kapacitásaikat.<sup>16</sup>

A javasolt eszközök között van a megújulóportfólió diverzifikálása olyan technológiák irányába, amelyek csúcskereslet idején biztosítják a kínálatot. Mivel Magyarországon nincs támogatottsága a vízerőműveknek, ez elsősorban a régiós lehetőségek hatékonyabb bevonását jelentheti.

Fogyasztói oldalon minden energiahatékonysági beruházás segít az esti csúcskereslet mérséklésében. A fogyasztás szintjének csökkentését kiegészítik a fogyasztás időzítésének megváltoztatására irányuló szabályozói beavatkozások. Ehhez arra van szükség, hogy széles körben olyan tarifákat vezessenek be, amelyek a kritikus időszak fogyasztásának mérséklésére, időbeli áthelyezésére ösztönzik a fogyasztókat. Az aktív, intelligens eszközökkel rendelkező fogyasztók számára alkalmas lehet egy piaci árakat követő tarifa vagy a keresletiválasz-típusú rugalmasságot értékesítő aggregátorokhoz (*demand response aggregator*) történő csatlakozás. Továbbá az esti csúcskereslet mérséklésére egy egyszerűbb, időzónás tarifa bevezetése is alkalmas lehet, amely magasabb árakkal bünteti az esti csúcsidőszakban történő fogyasztást. Ezen ösztönzők hatását felnagyítja, ha a fogyasztók okos- vagy vezérelhető berendezésekre tudják cserélni háztartási eszközeiket.

A háztartási méretű naperőművek gyors terjedése is ad lehetőséget az esti csúcskereslet visszafogására. Ehhez először olyan ösztönző tarifák kellenek, amelyek kedvezőbbé teszik az önfogyasztást a hálózatba való visszatáplálásnál. Erre hatékony megoldást jelent a jelenlegi szaldóelszámolás kivezetése, amit az EU-előírások 2024-től tesznek kötelezővé. Ha kivezetik a szaldóelszámolást, akkor a háztartások fogyasztásoptimalizálásában további segítséget jelenthet a háztartási méretű tárolók telepítése.

Mindezek a lépések szükségesek ahhoz, hogy a naperőművek által termelt villamos energia speciális mintázatahoz alkalmazkodni tudjon a villamosenergia-rendszer, és sikerüljön jobban összehangolni a kereslet és a kínálat napon belüli ingadozásait. Csak ebben az esetben lehet arra számítani, hogy a naperőművi termelés terjedése mérsékelni fogja a nagykereskedelmi árakat.

### Hivatkozások

AFONSO, T.–MARQUES, A.–FUINHAS, J. [2019]: Accommodating renewable energy sources in a small electricity market: An analysis considering the interactions of sources within Portugal and Spain. *Heliyon*, Vol. 5. No. 8. e02354. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02354>.

<sup>15</sup> Ebben a konstrukcióban nemcsak a tárolókínálat időbeli eltolásában, hanem a pontosabb menetrendtartásban is segíti a megújulótermelést.

<sup>16</sup> A hazai rendszerben részt vevő tárolók eddig kizárólag rendszerirányítói utasítás alapján működtek, a napon belüli árkülönbözetek kihasználása lényegesen alacsonyabb bevételt biztosított, mint a szabályozási piaci lekötés.

- ALAM, M. N. [2021]: Accessing the effect of renewables on the wholesale power market. *Journal of Energy Economics and Policy*, Vol. 11. No. 2. 341–360. o. <https://doi.org/10.32479/ijeep.10756>.
- BUSHNELL, J.–NOVAN, K. [2018]: Setting with the sun: The impacts of renewable energy on wholesale power markets. NBER Working Paper, 24980. <https://doi.org/10.3386/w24980>.
- CLO, S.–CATALDI, A.–ZOPPOLI, P. [2015]: The merit-order effect in the Italian power market: The impact of solar and wind generation on national wholesale electricity prices. *Energy Policy*, Vol. 77. 79–88. o. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.11.038>.
- CLUDIUS, J.–HERMANN, H.–MATTHES, F.–GRAICHEN, V. [2014]: The merit order effect of wind and photovoltaic electricity generation in Germany 2008–2016. Estimation and distributional implications. *Energy Economics*, Vol. 44. 302–313. o. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.04.020>.
- GELABERT, L.–LABANDEIRA, X.–LINARES, P. [2011]: An ex-post analysis of the effect of renewables and cogeneration on Spanish electricity prices. *Energy Economics*, Vol. 33. S59–S65. o. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.07.027>.
- JANDA, K. [2018]: Slovak Electricity Market and the Merit Order Effect of Photovoltaics. CAMA Working Paper, No. 22. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3176814>.
- LAZAR, J. [2016]: Teaching the Duck to fly. Second Edition. The Regulatory Assistance Project, Montpelier, VT. <https://www.raponline.org/wp-content/uploads/2016/05/rap-lazar-teachingtheduck2-2016-feb-2.pdf>.
- LÓPEZ-PEÑA, A.–PÉREZ-ARRIAGA, I.–LINARES, P. [2012]: Renewables vs. energy efficiency: The cost of carbon emissions reduction in Spain Energy Policy, Vol. 50. 659–668. o. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.08.006>.
- LUNACKOVA, P.–PRUSA, J.–JANDA, K. [2017]: The merit order effect of Czech photovoltaic plants. *Energy Policy*, Vol. 106. 138–147. o. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.02.053>.
- MEKH [2021]: Piacmonitoring jelentés a villamosenergia-piaci folyamatokról, 2020. Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal, Budapest.
- MEZŐSI ANDRÁS [2014]: Drága-e a megújuló? A hazai megújuló villamosenergia-termelés hatása a villamos energia árára. *Vezetéstudomány*, 45. évf. 7–8. sz. 40–52. o. <https://doi.org/10.14267/veztud.2014.07.04>.
- MEZŐSI ANDRÁS–FELSMANN BALÁZS–KEREKES LAJOS–SZABÓ LÁSZLÓ [2020]: Coexistence of nuclear and renewables in the V4 electricity system: Friends or enemies? *Energy Policy*, Vol. 140. No. 111449. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111449>.
- MILSTEIN, I.–TISHLER, A. [2011]: Intermittently renewable energy, optimal capacity mix and prices in a deregulated electricity market. *Energy Policy*, Vol. 39. No. 7. 3922–3927. o. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.11.008>.
- SENSFUSS, 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. 3086–3094. o. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.03.035>.
- TVETEN, A. G.–BOLKESJO, T. F.–MARTINSEN, T.–HVARNES, H. [2013]: Solar feed-in tariffs and the merit order effect: A study of the German electricity market. *Energy Policy*, Vol. 61. 761–770. o. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.060>.
- WEIGT, H. [2009]: Germany's wind energy: The potential for fossil capacity replacement and cost saving. *Applied Energy*, Vol. 86. No. 10. 1857–1863. o. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.11.031>.
- WÜRZBURG, K.–LABANDEIRA, X.–LINARES, P. [2013]: Renewable generation and electricity prices: Taking stock and new evidence for Germany and Austria. *Energy Economics*, Vol. 40. Suppl. 1. S159–S171. o. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.09.011>.

## Függelék

### Az autoregresszív tagot tartalmazó egyenletek becslési eredményei

#### F1. táblázat

A másnapi árakat magyarázó egyenletek alternatív becslése

(Mintaidőszak: 2018. január 1.–2021. augusztus 31.)

Magyarázó változók	DAM-ár		DAM-ár, 8 óra		DAM-ár, 14 óra		DAM-ár, 19 óra	
	együtt- ható	prob	együtt- ható	prob	együtt- ható	prob	együtt- ható	prob
Konstans	-32,22	0,00	-77,67	0,00	-49,88	0,00	-20,52	0,01
Késleltetett függő változó	0,20	0,00	0,08	0,00	0,11	0,00	0,21	0,00
Fogyasztás	0,02	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00
Naperőmű	0,01	0,07	0,00	0,98	-0,02	0,00	0,03	0,00
Nukleáris	0,00	0,00	-0,01	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,07
Balkán víz	-0,01	0,00	-0,01	0,00	-0,01	0,00	-0,01	0,00
Román szél	-0,003	0,00	-0,004	0,00	-0,003	0,00	-0,003	0,00
Német megújuló	-0,0002	0,00	-0,0003	0,00	-0,0002	0,00	-0,0002	0,00
Gázár	1,18	0,00	1,45	0,00	1,28	0,00	1,68	0,00
EUA-ár	0,21	0,00	0,30	0,00	0,04	0,67	0,17	0,11
Osztrák határkeresztező	-0,01	0,00	-0,02	0,00	-0,01	0,00	-0,02	0,00
Éves kétértékű változók	igen		igen		igen		igen	
Havi kétértékű változók	igen		igen		igen		igen	
Megfigyelések száma	1327		1327		1327		1327	
$R^2$	0,89		0,79		0,80		0,80	
Kiigazított $R^2$	0,89		0,79		0,79		0,80	
A függő változó átlaga	51,18		58,91		50,63		66,34	
A függő változó szórása	19,26		23,84		22,61		24,70	
A regresszió standard hibája	6,49		10,96		10,29		11,12	
A reziduum négyzetösszege	54 792		156 401		137 893		161 089	
Log likelihood	-4352		-5047		-4964		-5067	
$F$ -érték	432,76		207,17		212,50		218,27	
Prob( $F$ -érték)	0,00		0,00		0,00		0,00	
Durbin–Watson-statisztika	1,59		1,55		1,59		1,74	

DAM: másnapi ár (*Day-Ahead Market*, DAM).

EUA: európai kibocsátási egység.

A szignifikáns paraméterek dőlt betűvel szerepelnek.

Forrás: saját számítás.

F2. táblázat  
A gáztüzelésű erőművek termelését magyarázó egyenletek alternatív becslése (mintaidőszak: 2018. január 1.–2021. augusztus 31.)

Magyarázó változók	Gáztüzelésű termelés		Gáztüzelésű termelés, 8 óra		Gáztüzelésű termelés, 14 óra		Gáztüzelésű termelés, 19 óra	
	együttható	prob	együttható	prob	együttható	prob	együttható	prob
Konstans	-291,20	0,00	-563,95	0,00	-384,45	0,00	-288,51	0,01
Késleltetett függő változó	0,45	0,00	0,33	0,00	0,34	0,00	0,39	0,00
Fogyasztás	0,23	0,00	0,31	0,00	0,29	0,00	0,24	0,00
Naperőmű	0,10	0,11	0,17	0,04	-0,08	0,34	0,32	0,00
Nukleáris	-0,05	0,01	-0,05	0,02	-0,04	0,07	-0,05	0,03
Balkán víz	-0,03	0,00	-0,04	0,00	-0,04	0,00	-0,02	0,12
Román szél	-0,01	0,13	-0,01	0,48	-0,02	0,03	-0,01	0,46
Német megújuló	-0,002	0,00	-0,002	0,00	-0,003	0,00	-0,002	0,00
Gázár	-4,99	0,00	-6,28	0,00	-6,33	0,00	-5,03	0,00
EUA-ár	2,03	0,09	2,62	0,08	3,11	0,05	2,33	0,12
Osztórák határkeresztező	-0,15	0,00	-0,16	0,00	-0,18	0,00	-0,19	0,00
Éves kétértékű változók	igen		igen		igen		igen	
Havi kétértékű változók	igen		igen		igen		igen	
Megfigyelések száma	1327		1327		1327		1327	
R <sup>2</sup>	0,82		0,77		0,74		0,76	
Kiigazított R <sup>2</sup>	0,81		0,76		0,74		0,76	
A függő változó átlaga	843,17		880,16		847,04		914,89	
A függő változó szórása	296,90		331,21		329,93		327,13	
A regresszió standard hibája	127,77		160,79		169,73		160,56	
A reziduum négyzetösszege	21 255 240		33 662 651		37 510 202		33 563 758	



Az F2. táblázat folytatása

Magyarázó változók	Gáztüzelésű termelés		Gáztüzelésű termelés, 8 óra		Gáztüzelésű termelés, 14 óra		Gáztüzelésű termelés, 19 óra	
	együttható	prob	együttható	prob	együttható	prob	együttható	prob
Log likelihood	-8306,57		-8611,63		-8683,44		-8609,68	
F-érték	244,09		180,18		154,50		175,10	
Prob(F-érték)	0,00		0,00		0,00		0,00	
Durbin-Watson-statisztika	1,39		1,48		1,52		1,47	

EUA: európai kibocsátási egység.  
A szignifikáns paraméterek dőlt betűvel szerepelnek.  
Forrás: saját számítás.