

HORTAY OLIVÉR–SZŐKE TAMÁS

## Keresleti árrugalmasság becslése a magyar villamosenergia-piacon

A nettó rendszerterhelést és a tőzsdei árakat vizsgálva, napi frekvenciájú adatokon becsüljük meg a villamosenergia-kereslet árrugalmasságát Magyarországon. A piaci ár és a keresett mennyiség közötti endogén viszony okozta mérési problémák kezelésére az instrumentális változók módszerét alkalmazzuk. Megmutatjuk, hogy a különböző instrumentumokkal becsült modellváltozatok hasonló eredményre vezetnek, ami alátámasztja a becslések robusztusságát. A becslések alapján a fogyasztók összességében meglehetősen érzéketlenek a napi áringadozásokra, az együtthatók  $-0,029$  és  $-0,055$  között alakultak. Ezen túlmenően az egyes modellváltozatokat tesztelve és összehasonlítva nemcsak az árrugalmasságról, hanem a hasonló becslésekhez Magyarországon alkalmazható instrumentumok köréről is képet kapunk.

Journal of Economic Literature (JEL) kód: C32, C36, C51, C52, Q41, Q47.

### Bevezetés

Magyarországon a piaci nyitást és liberalizációt követően merült fel az igény a villamosenergia-piacon kialakuló keresletek és árak közötti összefüggések vizsgálatára. Az időszakot megelőzően a monopolhelyzetben lévő állami vállalat – év- és napszaktól, valamint a keresett mennyiségtől függetlenül – hatóságilag rögzített áron elégítette ki az igényt. A villamos energiáról szóló 2001. évi CX. törvény hatására 2003-tól lehetőség nyílt arra, hogy megjelenjenek piaci kiskereskedők, amelyek differenciálhatják árait annak függvényében, hogy ügyfelek mely időpontokban, milyen megbízhatóan

\* A tanulmány alapjául szolgáló KFI\_16-1-2017-0110 számú projekt a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a Vállalati KFI\_16 pályázati program finanszírozásában valósult meg. A cikk részben az Emberi Erőforrások Minisztériuma által meghirdetett Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Program támogatásában, a BME FIKP-BIO tématerületi programja keretében valósult meg.

Hortay Olivér a Századvég Gazdaságkutató Zrt. tanácsadója, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Környezetgazdaságtan Tanszékének PhD-hallgatója (e-mail: hortay@eik.bme.hu). Szőke Tamás PhD-hallgató, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Környezetgazdaságtan Tanszék (e-mail: szoke.t@eik.bme.hu).

A kézirat első változata 2019. január 15-én érkezett szerkesztőségünkbe.

DOI: <http://dx.doi.org/10.18414/KSZ.2019.7-8.788>

és mekkora volumenben fogyasztanak villamos energiát. A termelőkkel kötött hosszú távú szerződések és a határkeresztező kapacitások használati joga miatt a nagykereskedelmi szinten egyetlen vállalat, a Magyar Villamos Művek működött. A villamos energiáról szóló 2007. évi LXXXVI. törvény hatására a duális rendszer megváltozott, majd a villamos energiával összefüggő egyes kérdésekről szóló 2008. évi LXX. törvény hatására a hosszú távú szerződések is megszűntek. Bár – az egyetemes szolgáltatás miatt – a lakossági szereplők ellátása továbbra is hatósági árakon történik, a szolgáltatónak az energiát a szabadpiacról kell beszerezniük (*Vince* [2010]).

A szakértők közötti konszenzus szerint – és ebben a későbbiekben ismertetett valamennyi kutatás szerzője egyetért – a villamos energia kereslete rugalmatlan az árak változására. Ennek fő oka, hogy a termék gazdaságosan és tartósan nem tárolható, valamint mind rövid, mind hosszú távon nehezen helyettesíthető (*GVH* [2006]). A rugalmassági vizsgálatokat célszerű időtáv szerint differenciálni. A legjellemzőbb bontásban a rövid távú rugalmasság az éven belüli, a hosszú távú pedig az éven túli alkalmazkodást ragadja meg. Előbbi esetén a helyettesítés nehezebb, mert a szereplők szinte kizárólag fogyasztásuk időbeli áthelyezésével képesek reagálni az árváltozásokra. Utóbbi esetben több lehetőség áll a felhasználók rendelkezésére: energiahatékonysági beruházást hajthatnak végre, illetve korlátozottan helyettesíthetik az energiahordozót (például villamos fűtésről gázfűtésre térnek át és fordítva). Ebből adódik, hogy egyrészt a rövid távú rugalmasság leginkább a szabadpiaci,<sup>1</sup> a hosszú távú pedig valamennyi fogyasztóra értelmezhető, valamint a rövid távú rugalmasságnak szükségképpen alacsonyabbnak kell lennie, mint a hosszú távúnak (*Mezősi* [2014]).

A villamosenergia-piaci kereslet árrugalmasságának ismerete több szinten bizonyul hasznosnak az energetikai tervezésben. A hosszú távú rugalmassági kutatások fontos támpontot jelenthetnek szak- és támogatáspolitikai döntések meghozatalában, hiszen ezek segítségével előre jelezhető, hogy egyes fogyasztói csoportok hogyan fognak reagálni a jövőbeli árváltozásokra. Különösen igaz ez a hatósági tarifacsoportokra, ahol az állam közvetlenül hatással lehet a végfogyasztói árakra, és így befolyásolhatja a háztartások döntéseit (*Sebestyén* [2013]). A rövid távú rugalmassági becslések eredményei egyelőre korlátozottan alkalmazhatók a szakpolitikai döntéshozatalban: a mutatót inkább a kutatók használják előrejelzési modellek bemeneti paramétereként (*Kiss és szerzőtársai* [2006]) vagy más energiahordozókkal való összevetésben (*Labandeira és szerzőtársai* [2017]). Ahogyan azt néhány kutató már az 1990-es évek második felében felismerte (*Mountain–Lawson* [1992], *Aigner és szerzőtársai* [1994], *Filippini* [1995]), a keresletoldali válaszok és a valós idejű árazás bevezetésével a rövid távú árrugalmasság szakpolitikai haszna felértékelődhet. Hús évvel ezelőtt azonban még nem állt rendelkezésre az átalakuláshoz szükséges informatikai és szabályozási környezet, így a korai munkák – bár a kutatók rengeteget merítettek az eredményeikből – alkalmazhatósága egészen napjainkig erősen korlátozott volt.

Az elmúlt években tapasztalt és a jövőben várható villamosenergia-piaci tendenciák rendkívül erősen motiválják a rövid távú árrugalmassági vizsgálatok folytatását.

<sup>1</sup> Előfordulnak olyan hatóságilag szabályozott dinamikus tarifák, amelyekben van értelme az árrugalmasságot vizsgálni, azonban ezek aránya egyelőre igen alacsony.

A decentralizált, megújuló alapú, hozambizonytalan villamosenergia-termelő berendezések növekvő beépített kapacitása és az európai piacok összekapcsolása egyfelől leszorította a piaci átlagárakat, másfelől megnövelte a pozitív és negatív irányú ártüskék – a rövid időre megjelenő kiugró értékek – gyakoriságát és mértékét. Az előbbi hatására a szabályozható erőművek versenyképessége csökkent, és ez alacsonyabb beruházási aktivitáshoz vezetett, ami néhány éven belül kapacitáshiányt okozhat. Az ártüskék pedig növelik a rendszerkockázatokat, amelyek a kapacitáshiánnyal együtt a biztonságos ellátás finanszírozásának drasztikus emelkedéséhez vezethetnek (*Haas és szerzőtársai* [2013]). A probléma csökkentésére számos potenciális – egyelőre nem vagy korlátozottan rendelkezésre álló – forrásoldali megoldás van, (a teljesség igénye nélkül) például: energiatárolók építése, virtuális erőművek létrehozása, termelők területi és technológiai diverzifikációja, napon belüli kereskedés likviditásának növelése, illetve előrejelzések pontosítása (*Newbery* [2016]).

A felsorolt forrásoldali módszerek mellett a kereslet és kínálat egyensúlyának megteremtésében hatékony eszközök lehetnek a keresletoldali beavatkozások (*Demand Side Management, DSM*), amelyeket – különböző formában és változó eredményekkel – már a hetvenes évek óta alkalmaznak. Tíz évvel ezelőtt *Strbac* [2008] a keresletoldali beavatkozások terjedése előtt álló legfontosabb kihívásokként a szükséges informatikai infrastruktúra és a fogyasztási mérés hiányát, a keresletoldali beavatkozások alacsony versenyképességét és előnyeinek meg nem értését, valamint a megfelelő piaci ösztönzők hiányát azonosította. Napjainkra a szükséges infrastruktúra költségeinek csökkenése (*Labib és szerzőtársai* [2017]) utat nyitott az okos mérés terjedése előtt, így a keresletoldali beavatkozások már versenyképesek lehetnek más módszerekkel szemben (*Faruqui és szerzőtársai* [2010]). A keresletoldali beavatkozásokkal kapcsolatban a szakpolitikai elkötelezettség is megjelent az Európai Unióban: az úgynevezett téli energiacsomag az egyre erősebb árjelzések megteremtését és az ezekkel kiaknázható keresletoldali válaszok növelését szorgalmazza (*EB* [2016]).

Annak érdekében, hogy bármilyen árjelzésnövelő intézkedés költség–haszon elemzése elvégezhető legyen, és ez alapján összehasonlíthassuk más módszerekkel, fel kell mérni, hogy az intézkedés várhatóan mekkora keresletiárrugalmasság-növekedést indukál. Ehhez meg kell becsülni az aktuális és a beavatkozás utáni rugalmasságot. Utóbbit – hazai tapasztalat híján – többnyire nemzetközi példákön keresztül lehet közelíteni. A téma kapcsán – különösen a lakosság viselkedésének megragadására – rendkívül izgalmas kutatások születtek a múltban a különböző tarifák hatásairól (*Gyamfi és szerzőtársai* [2013]), a fogyasztó számára adott árjelzési típusok hatékonyságáról (*Allcott* [2011]), illetve a „szomszéd fogyasztása” hatásról (*Schultz és szerzőtársai* [2007]), azonban ezek hazai implementálhatósága kérdéses. Ezzel szemben – bár Magyarország esetében ez jó néhány éve nem történt meg – az aktuális rugalmasság hazai adatokon empirikusan becsülhető. Annak érdekében, hogy a becslés torzításmentes legyen, le kell küzdeni néhány módszertani problémát, amelyek a villamosenergia-piac sajátosságaiból fakadnak.

A szervezett villamosenergia-kereskedésben a tranzakciók alapvetően három piacon zajlanak: a határidős (*Physical Futures*), a másnapi teljesítésű (*Day-ahead market, DAM*), valamint a napon belüli teljesítésű (*Intraday*) piacokon.

A villamosenergia-kereskedésben hagyományosan a leginkább likvid DAM-ot szokás spot piacnak tekinteni, ezért tanulmányunkban a villamosenergia-fogyasztás mennyiségét és DAM-árakat vizsgálva becsüljük a villamosenergia-kereslet árrugalmasságát Magyarországon. A DAM ajánlattételi rendszerében a vevők és az eladók nem látják egymás ajánlatait (az ajánlati könyvet), hanem feltételes ajánlati portfóliókat (úgynevezett feltételes blokkokat) visznek be a rendszerbe. A rendszer algoritmus a tárgynap 24 órájára vonatkozó ajánlatokat és ezáltal a kialakuló ár–mennyiség párokat egy időpontban határozza meg. Ezért alapvetően két frekvencián érdemes vizsgálni az árrugalmasságot: órás és napos felbontásban. Jelen tanulmányban a napi felbontással foglalkozunk, az órás bontású vizsgálatok további kutatás tárgyát képezik. A becsléshez a piaci ár és a keresett mennyiség közötti endogén viszony okozta mérési problémák kezelésére az úgynevezett instrumentális változók módszerét (továbbiakban: IV) alkalmazzuk. Az elemzés során feltételezett empirikus modellek becsléséhez több lehetséges instrumentumot is alkalmazunk. Így nemcsak az árrugalmasságról, hanem a Magyarországon hasonló becslésekhez alkalmazható instrumentumok köréről is képet kapunk. Megmutatjuk, hogy a különböző modellváltozatok hasonló eredményre vezetnek, ami alátámasztja a becslések robusztusságát. A különböző instrumentumokat alkalmazó változatok statisztikai kritériumait tesztelve és összehasonlítva információt nyerünk a különböző instrumentumok tulajdonságairól.

A tanulmány felépítése a következő: először röviden ismertetjük kutatásunk szakirodalmi háttérét, majd felvázoljuk az alkalmazott módszertant és annak elméleti háttérét. Az adatok ismertetése után az empirikus kutatás eredményeit mutatjuk be. Végül összegezzük az eredményekből levonható következtetéseket.

## Szakirodalmi háttér

A következőkben a cikk szempontjából releváns szakirodalmi háttérrel ismertetjük. Mivel a korábbi kutatásokból több összefoglaló jellegű tanulmány készült, nem célunk teljeskörűen számba venni a korábbi munkákat. Sokkal inkább arra törekedtünk, hogy bemutassuk a kutatási terület múltbeli alakulását, és elhelyezzük benne saját eredményeinket.

A villamosenergia-kereslet árrugalmasságának becslésére irányuló korábbi kutatásokat érdemes három fő tényező szerint differenciálni. Először is, a tanulmányok elkülöníthetők időtáv szerint: hosszú távú (éven túli), rövid távú (éven belüli), valamint felhasználási időpontbeli (*time-of-use*) vizsgálatokra. Másodsor, az alkalmazott módszertan (figyelembe véve az időtartamot) szerint a szakirodalom besorolható lekérdezéses (*Yii és szerzőtársai* [2017]), idősoros (*Athukorala–Wilson* [2010]), illetve egyéb (például árazási modellekből „visszafele számított”) (*He és szerzőtársai* [2011]) kategóriákba. Harmadsor, a kutatások differenciálhatók aszerint, hogy mely fogyasztói körre számolnak rugalmasságot. Ez regionális szinten is és a fogyasztói kör (például lakosság vagy ipar) megközelítésében is fontos. Az előbbi azért érdekes, mert az egyes országok villamosenergia-rendszere eltér egymástól, ami az eredményesen alkalmazható módszereket és rugalmassági értékeket egyaránt befolyásolhatja. Az utóbbi

megkülönböztetés pedig azért lehet hasznos, mert az egyes fogyasztói csoportok szokásai, valamint a rájuk vonatkozó szabályozás – a legtöbb országban – eltér.

A keresleti ár rugalmasság vizsgálatait megelőző piacszerkezeti, szabályozási elemzéseknek nagy hagyományuk van, ezek párhuzamosan jelentek meg a villamosenergia-piaci liberalizációval. A kifejezetten ár rugalmasság becslését célzó kutatások később, az ezredfordulón kezdtek el szaporodni. A kutatásunk szempontjából releváns korai munkákról jó áttekintést ad *Lijesen* [2007], amely külön összefoglalást készített a nagyobb számú hosszú és rövid távú, valamint a kisebb számú felhasználás időpontja szerinti vizsgálatokról. A legnagyobb szórást a hosszú távú rugalmasságra adott becslések adják, amelyek a holland háztartásokon mért  $-0,09$ -os értéktől (*Boonekamp* [2007]) az Öböl menti országokban mért  $-0,82$ -ig (*Al-Faris* [2002]) terjednek. A rövid távú rugalmasságokra adott becslések jellemzően jóval kisebbek (többnyire  $-0,1$  alattiak), ezek közül pozitív irányba a korai görög ipart vizsgáló, translog módszerrel készített modell  $-0,5$ -ös értéket meghaladó eredménye lóg ki (*Caloghirou és szerzőtársai* [1997]). A használati idő szerinti rugalmasságokra vonatkozó kutatások főbb tapasztalatai, hogy az együttthatók egy nagyságrenddel kisebbek a rövid távú rugalmasságoknál, és a fogyasztás helyettesítője jellemzően egy másik időpontbeli fogyasztás lehet, azaz értelmes szignifikáns keresztrugalmasság nem figyelhető meg (*Ham és szerzőtársai* [1997]).

Az ezredforduló után jelentősen megnőtt azoknak a kutatásoknak a száma, amelyek rövid távon vagy a felhasználás idejében vizsgálták az ár rugalmasságot és annak változását befolyásoló tényezőket. A kereslet ár rugalmassága mögött álló tényezők közül kiemelkedik a jövedelem, amelynek hatását számos országban – például Németországban (*Schulte-Heindl* [2017]) vagy Japánban (*Wang-Mogi* [2017]) – vizsgálták. Talán a legrobustusabb és leginkább villamosenergiapiac-specifikus eredménynek az erős szezonalitást tekinthetjük. Ahogyan azt több kutatásban – egymástól független országokban, például Koreában (*Chang és szerzőtársai* [2014]) vagy Törökországban (*Ariso-Ozturk* [2014]) – megmutatták, a tárolási problémák, a kereslet erős ingadozása, valamint az időjárási változások miatt az ár rugalmasság napon, héten és éven belül is változik.

A regressziós modellekben azonban, ahol – Magyarországhoz hasonlóan – ár- és keresletidősorokat vizsgálnak, problémát okoz a két változó közötti endogén kapcsolat kezelése. Erre egy lehetséges megoldás olyan instrumentum keresése, amely az egyik változó (ár) alakulására közvetlen hatással van, a másik változóra (kereslet) pedig közvetett módon, csak az egyik változón (ár) keresztül hat. *Lijesen* [2007] a DAM-árak késleltetettjét, *Knaut-Paulus* [2016a] pedig a hozambizonytalan megújuló energiafajta termelését használta.

## Elméleti háttér és módszertan

A következőkben bemutatjuk azokat a főbb villamosenergia-piaci összefüggéseket és ökonometria elméleti hátteret, amelyek megalapozzák eredményeinket. Ezt követően leírjuk a módszertant, amely alapján az empirikus vizsgálatunkat végeztük, valamint ismertetjük, hogy miért tartjuk a felhasznált instrumentális változókat megalapozottnak.

### Közgazdaságtani háttér

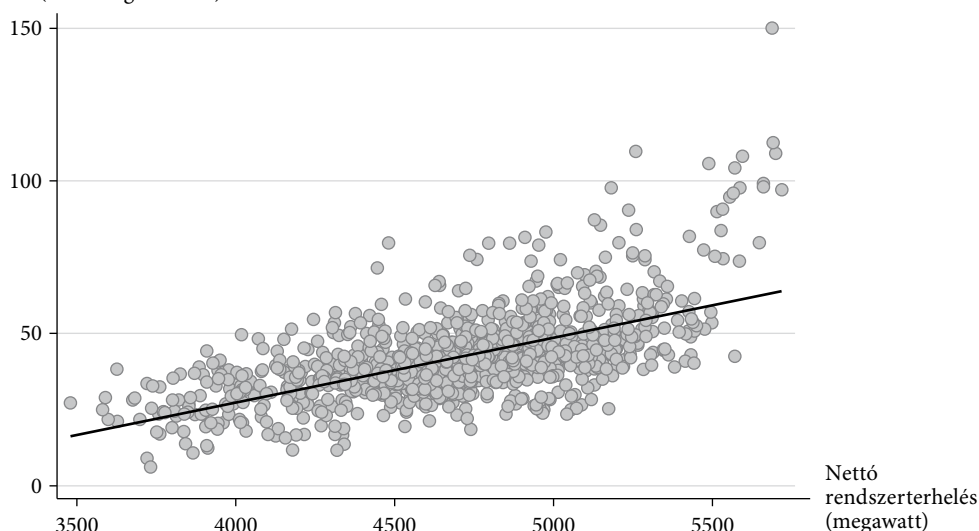
Cikkünkben a magyar villamosenergia-kereslet árrugalmasságát becsüljük meg DAM-árak alapján. A villamosenergia-piacon hagyományosan a DAM-ot tekintjük a spot piacnak, ami egyrészt a magas likviditásnak, másrészt a teljesítéshez közeli zárásnak köszönhető. Bár a hazai villamosenergia-nagykereskedelem nagyságrendileg fele-fele arányban zajlik a bilaterális megállapodások piacán (*over the counter, OTC*) és a villamosenergia-tőzsdén (*Hungarian Power Exchange, HUPX*), a rugalmasság vizsgálatában nem okoz torzítást, ha csak a HUPX-en kialakuló árakat vizsgáljuk. Az OTC piac elhagyása mögötti legfőbb érv, hogy mindössze a nemfizetési kockázat jelenlétében különbözik a szervezett piactól, ami azt jelenti, hogy ha a két piac árai közötti különbség meghaladja ennek a kockázatnak a költségét, az arbitrázst jelent, amit a szereplők (a magas likviditás miatt) azonnal lekereskednek (*Leuthold és szerzőtársai [2008]*).

A villamosenergia-fogyasztás árrugalmasságának empirikus becslése során problémát okoz, hogy a magyarázott és a magyarázó változók – az egyensúlyi mennyiség és ár – szimultán viszonyban vannak egymással. Ennek oka, hogy az egyensúlyi árra és a mennyiségre egyszerre hat a kereslet és a kínálat: az egyensúlyi értékeket az aggregált keresleti és a kínálati függvények metszéspontja határozza meg. Emiatt a kereslet változása *ceteris paribus* az ár és a mennyiség azonos irányú változáshoz vezet, míg a kínálat eltolódásának hatására az ár és a mennyiség ellentétes előjellel változik. A villamosenergia-piacon jellemzően a keresletre ható szezonális tényezők, így a keresleti függvény kínálatihoz viszonyított erőteljesebb elmozdulásai miatt az egyensúlyi ár és mennyiség között pozitív kapcsolat figyelhető meg (*1. ábra*).

#### 1. ábra

Nettó rendszerterhelés és DAM-árparók, 2015–2017

Ár (euró/megawattóra)

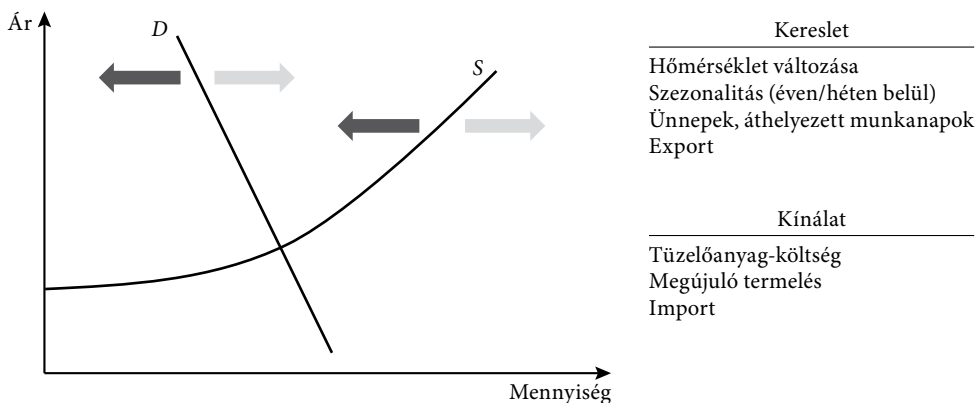


Forrás: saját szerkesztés a Mavir Zrt. és a HUPX Zrt. adatai alapján.

A kereslet és a kínálat szimultán viszonyából következő endogén kapcsolat miatt a Gauss–Markov-féle feltételek közül az exogenitási feltétel sérül, azaz a hibatag nem lesz független, és a két adatsorra alkalmazott egyszerű becslés torzított eredményre vezet. Azonban mind a keresletre, mind a kínálatra hatnak különböző exogén vagy a hazai viszonyokra exogénnek feltételezhető tényezők (például import), amelyek segítséget nyújthatnak a probléma kezelésében (2. ábra).

## 2. ábra

A villamos energia keresletére és kínálatára ható tényezők



A keresleti függvény árrugalmasságának korrekt becsléséhez kontrollálni kell tehát a keresletet érintő szezonális hatásokra, illetve kezelni kell a kínálat fennálló endogenitást. Ezekhez a kínálat exogén szóródását megragadni képes instrumentális változós (IV) becslési eljárást alkalmaztuk. A módszer kritikus pontja a megfelelő instrumentumok azonosítása. Esetünkben olyan változót vagy változókat szükséges találni, amelyek közvetlenül befolyásolják a kínálatot és így az árat, de a keresett mennyiségre csak az áron keresztül, közvetve hatnak. Ilyen potenciális instrumentumok lehetnek az erőművi tüzelőanyagok és CO<sub>2</sub>-kvóta költségei, a hozambizonytalan megújuló termelése, a tervezett és nem tervezett karbantartások vagy – speciális esetben – a határkeresztező áramlások.

## Ökonometriai módszertan

A villamosenergia-kereslet árrugalmasságának becsléséhez az instrumentális változók (IV) módszerét alkalmazzuk az endogén kapcsolatból fakadó torzítás kiküszöbölésére. Feltételezzük, hogy a folyamat az (1)–(2) szimultán egyenletrendszerrel jól közelíthető:

$$\ln(y_t^D) = \beta_0 + \beta_p \ln(p_t) + \beta_x \mathbf{X}_t' + \rho_{1,1} \ln(y_{t-1}^D) + \dots + \rho_{1,i} \ln(y_{t-i}^D) + \varepsilon_{1,t}, \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \ln(y_t^S) = & \gamma_0 + \gamma_p \ln(p_t) + \gamma_{z,1} z_{1,t} + \dots + \gamma_{z,j} z_{j,t} + \gamma_x \mathbf{X}_t' + \rho_{2,1} \ln(y_{t-1}^S) + \\ & + \dots + \rho_{2,i} \ln(y_{t-i}^S) + \varepsilon_{2,t}, \end{aligned} \quad (2)$$

ahol  $y_t^D = y_t^S = y_t$ , a villamosenergia-fogyasztás és  $p_t$ , a DAM-ár endogén változók,  $\mathbf{X}_t'$  exogén kontrollváltozók vektora (időjárási, trend, szezonális és naptárhatások változói),  $y_{(t-1)}$  ( $i = 1, 2, \dots$ ) a függő változó késleltetettjei,  $z_{j,t}$  ( $j = 1, 2, \dots$ ) a kínálatra ható tényezők,  $\varepsilon_{k,t}$  ( $k = 1, 2$ ) pedig a hibatag.

A modell becslésekor az endogén változók tekintetében log-log specifikációt alkalmaztunk, mivel így az együttható értéke árrugalmasságként értelmezhető. Magyarországon szerencsére csak rendkívül ritkán alakultak ki negatív árak a tőzsdén, így nem kellett jelentős adatvesztéssel számolnunk. Az árrugalmasság meghatározásához az (1) egyenlet paramétereit szeretnénk becsülni. Az (1) egyenletet  $z_t$ -t instrumentumként használva tudjuk identifikálni. Annak a feltételei, hogy  $z_t$ -t instrumentumként használhassuk, a következők:

1.  $\text{Cov}(p_t, z_t) \neq 0$ , a relevanciafeltétel, vagyis  $z_t$  összefügg  $p_t$ -vel,
2.  $\text{Cov}(z_t, \varepsilon_{1,t}) = 0$ , az exkluzivitási feltétel, az instrumentum független a hibatagtól.

A becslést kétlépcsős legkisebb négyzetek módszerével (2SLS) végezzük, amely konzisztens becslőfüggvényekhez vezet.<sup>2</sup> A kétlépcsős eljárás során első lépésben a (3) egyenletet becsüljük:

$$\ln(p_t) = \hat{\pi}_0 + \hat{\pi}_1 z_t + \dots + \hat{\pi}_j z_{j,t} + \hat{\pi}_x \mathbf{X}_t' + \hat{\rho}_{1,i} \ln(y_{t-1}) + \hat{\varepsilon}_{1,t}. \quad (3)$$

Majd  $\hat{p}_t$ -t helyettesítve  $p_t$  helyére (1)-ben becsüljük meg a második lépés egyenletét:

$$\ln(y_t) = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_p \ln(\hat{p}_t) + \hat{\beta}_x \mathbf{X}_t' + \hat{\rho}_{2,i} \ln(y_{t-1}) + \hat{\varepsilon}_{2,t}. \quad (4)$$

Mivel  $\text{Cov}(z_t, \varepsilon_{1,t})$ -t közvetlenül nem tudjuk megfigyelni, a két változó függetlenségét közgazdasági érveléssel szükséges alátámasztani, amit a következő fejezetben tételesen meg is teszünk.

## Adatok és a modellben használt változók

Az elemzés során napi periódusú 2015–2017 közötti adatokat használtunk:

- NETTÓ RENDSZERTERHELÉS: a nettó termelői (hálózatra kiadott) mérések és a határkeresztező távvezetékek mérési összege által képzett érték (Mavir Zrt. 2018. évi adatai);
- MÁSNAPI PIACI (DAM) VILLAMOSENERGIA-ÁRAK (HUPX Zrt. 2018. évi adatai);
- NAPI KÖZÉPHŐMÉRSÉKLET (Bloomberg 2018. évi budapesti időjárásadatai);
- SZÉLERŐMŰVEK TERMELÉSE (ENTSO-E 2018. évi adatai);
- NAPTÁRI ADATOK: naptípus (a hét napjai), munkanapok, áthelyezett munkanapok, hétvégék, ünnepnapok;

<sup>2</sup> Megjegyzendő, hogy egyes esetekben más becslési eljárás is alkalmazható, például ha a 2SLS nem hatásos, akkor a kétlépcsős általánosított momentumok módszere (GMM2S), illetve gyenge instrumentum használata esetén egyes eljárások (korlátozott információs maximum likelihood, LIML) kisebb mértékű torzításhoz vezetnek.



– a 18:00 után naplementéig eltelt percek száma;  
 – EXPORT-IMPORT ADATOK: elérhető határkeresztező kapacitás összege (ATC) és a határkeresztező áramlások összege a magyar–román és a magyar–szlovák határmetszéken mindkét irányban (HUPX Zrt. 2018. évi adatai), illetve az elérhető határkeresztező kapacitás kihasználtsága (az előző két érték hányadosa).

Az elemzésben használt folytonos változók leíró statisztikáit az 1. táblázat tartalmazza.

### 1. táblázat

Az elemzésben használt folytonos változók leíró statisztikái, 2015–2017

Változó	Átlag	Szórás	Min	Max
NETTÓ RENDSZERTERHELÉS	4696,57	408,92	3479,99	5717,55
NAPI ÁTLAGOS DAM-ÁR	42,12	14,27	6,245	150,018
IMPORT_ATC	719,59	216,96	132	1246
IMPORT	416,20	171,48	0	957,33
IMPORT_ (SZÁZALÉK)	0,60	0,23	0	1
NAPI KÖZÉPHŐMÉRSÉKLET	11,23	8,54	–11,46	28,85
SZÉLERŐMŰVEK TERMELÉSE	74,84	65,03	0,02	285,93

A potenciális instrumentumok körét két változóra szűkítettük:

1. SZÉLERŐMŰ-TERMELÉS. A szélerőművek alacsony határköltséggel üzemeltethetők, és a termelés a jelenlegi rendszerben a menetrendtől való eltérés szankcionálásának hiánya miatt jobbra tolja a kínálati görbét (relevanciafeltétel).<sup>3</sup> Ugyan a szélerősség befolyásolhatja a lakosság egy részének viselkedését, meglátásunk szerint azonban ez csak marginálisan hat a villamosenergia-fogyasztásra (exkluzivitás).

2. ELÉRHETŐ IMPORT HATÁRKERESZTEZŐ KAPACITÁSOK KIHASZNÁLTSÁGA. Az elérhető szlovák és a román határkeresztező kapacitások kihasználtsága jól tükrözi a teljes import alakulását, amely a kínálat jelentős részét teszi ki. A hazai piac elhanyagolhatóan kicsi ahhoz, hogy az összekapcsolt piacokon a hazai kereslet hatással legyen a nemzetközi szereplők kínálati döntésére. Emellett az import volatilitásának jelentős része a nyugat-európai szélerőművek termeléséből származik, amely a helyi időjárástól függ, tehát exogénnek tekinthető a hazai keresleti viszonyokra.

A modell dekompozíciója során sorra vettük az egyenletrendszerre ható exogén, trendszerű, szezonális és sztochasztikus hatásokat:

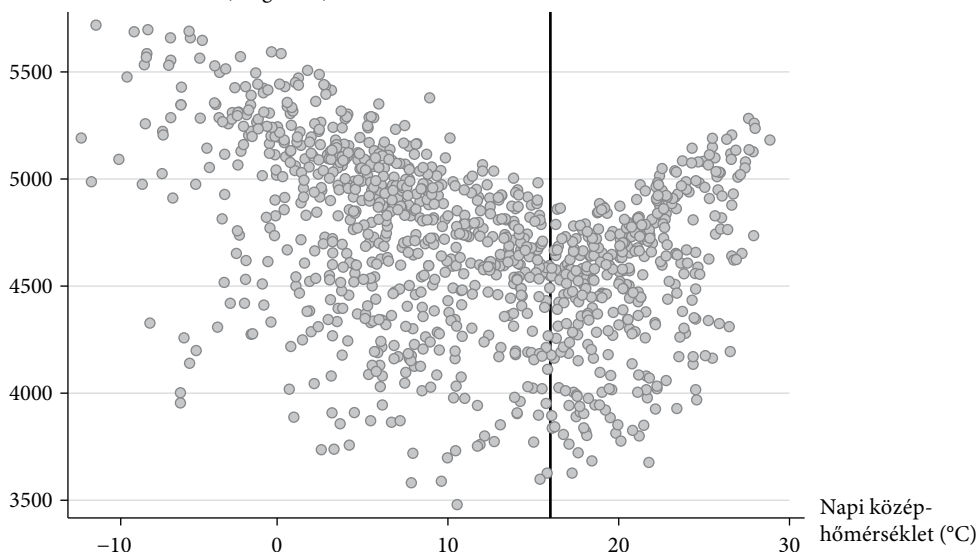
1. KVADRATIKUS TRENDET FELTÉTELEZÜNK TÖBB ELLENTÉTES IRÁNYÚ TREND-SZERŰ HATÁS EREDŐJEKÉNT. Az egy főre jutó GDP növekedésével nő a háztartásokban használt elektronikai eszközök (különös tekintettel a légkondicionálók) száma, ami trendszerűen növeli a villamosenergia-fogyasztást. Emellett a technológia fejlődésével megjelenő újabb, hatékonyabb energiafelhasználású eszközök fokozatosan kiszorítják a régebbi, kevésbé hatékony eszközöket, ami *ceteris paribus* csökkenti az

<sup>3</sup> Ez természetesen statisztikailag is igazolható.

## 3. ábra

A hőmérséklet és a nettó rendszerterhelés kapcsolata Magyarországon, 2015–2017

Nettó rendszerterhelés (Megawatt)



energiafelhasználást. Az ebből fakadó visszapattanó hatás<sup>4</sup> pedig ugyancsak növeli a villamosenergia-fogyasztást.

2. HŐMÉRSÉKLET. A hőmérséklet a hűtési-fűtési igények, illetve a lakossági fogyasztók viselkedésének befolyásolásán keresztül jelentős mértékben hat a villamosenergia-fogyasztásra. A hőmérséklet növekedésével 16 °C alatt fogyasztást csökkentő, felette növekvő hatást tapasztalunk (3. ábra). Ezért a regressziós egyenletben külön szerepeltettük a 16 °C feletti közép-hőmérsékletű napokon a 16 °C feletti fokok számát is.

3. A 18:00-TÓL NAPNYUGTÁIG ELTELT PERCEK SZÁMA. A determinisztikus változóval kontrollálunk a világításhoz köthető szezonálisra, figyelembe véve az óraátállítást.

4. NAPTÁRVÁLTOZÓK. Kétértékű változókkal (*dummy*) kódoltuk a naptári hatásokat úgy, hogy figyelembe vettük a hét napjait, a hétvégeket és az áthelyezett munkanapokat, valamint az ünnepnapokat.

5. A NETTÓ RENDSZERTERHELÉS KÉSLELTETETTJE. A modellezett determinisztikus és sztochasztikus hatásokon kívül különböző sokkok is hathatnak a villamosenergia-fogyasztásra. E hatások kiszűrésére szerepeltettük a modellben a függő változó késleltetettjeit.

6. INTERAKCIÓK. A hét egyes napjain különböző mértékben hathat a hőmérséklet (illetve annak első és második késleltetettje), illetve az előző napi villamos-

<sup>4</sup> Visszapattanó hatás (vagy Jevons-paradoxon): az energiahatékonyság növekedése olcsóbbá teszi az adott eszköz használatát, amelyet ezért többet használnak, ez pedig ahhoz vezet, hogy az energiafogyasztás a vártól kisebb mértékben csökken, sőt gyakran még növekszik is.

energia-fogyasztás (nettó rendszerterhelés). Ezeket a hatásokat a hét napjai kétértékű változók és az előbb említett két változó interakcióival kódoltuk.

7. A MÁSNAPI PIACI ÁRAK KÉSLELTETETTJEI. *Lijesen* [2007] használta az ár késleltetettjét instrumentumként, amely véleményünk szerint nem tekinthető érvényes instrumentumnak. Tudjuk ugyanis, hogy az ár és a mennyiség között endogén viszony áll fenn, így mivel a kereslet késleltetettje is relevánsan magyarázza az aktuális keresletet, az ár késleltetettje sem lehet független. Ezért az ár késleltetettjét kontrollváltozóként használtuk.

## Eredmények

Empirikus elemzésünk során összesen három modellt becsültünk (2. táblázat). Az árrugalmassági együtthatók  $-0,029$  (instrumentum: SZÉLTERMELÉS) és  $-0,055$  (instrumentum: IMPORT) között alakultak, bár az előbbi nem volt szignifikáns. Szignifikancia szempontjából a két instrumentum együttes használata adta a legerősebb eredményt, az árrugalmassági együttható értéke  $-0,039$  volt. Ez azt jelenti, hogy az árak 10 százalékos emelkedésével a kereslet *ceteris paribus* körülbelül 0,4 százalékkal csökkenne.<sup>5</sup>

A becslések standard hibái robusztusak heteroszkedaszticitásra,<sup>6</sup> ellenőriztük az alul- és a túlidentifikáltságot,<sup>7</sup> elvégeztük a gyengeinstrumentum-teszteket, valamint ellenőriztük a hibatag autokorrelálatlanságát. A gyengeinstrumentum-teszt *F*-statisztikája mindig a szokásosan használt 10-es érték felett volt. Továbbá a Sargan–Hansen-teszt alapján nem vethető el az instrumentumok együttes exkluzivitásának nullhipotézise a (3) modell esetében, vagyis az instrumentumok korrelálatlanok a hibataggal. A teszt alapján az IMPORTKAPACITÁSOK KIHASZNÁLTSÁGA is érvényes instrumentumnak tűnik (legalábbis Magyarország esetében) a szakirodalomban általánosan használt SZÉLTERMELÉS mellett.

A kereslet alacsony rövid távú árrugalmassága megteremti a lehetőségét a rövid ideig tartó, de akár jelentős vagyonátrendeződéssel járó ártüskék kialakulásának. A villamosenergia-piaci szakemberek általában teljesen rugalmatlannak tekintik a keresletet rövid távon (napos, illetve órás szinten), mivel a fogyasztók többsége hosszabb távon szerződik, és emiatt nem szembesül a valós idejű árakkal. Annak, hogy a becsült árrugalmassági együttható mégsem nulla, potenciálisan négy oka lehet. 1. Az exportált villamosenergia-mennyiség megjelenik a hazai nettó rendszerterhelésben, és a külföldi nagykereskedők nyilván képesek rugalmasan reagálni az egyes

<sup>5</sup> A Hausman-teszt alapján valóban endogén kapcsolat áll fenn a RENDSZERTERHELÉS és a DAM-ÁR között, vagyis az OLS becslés feltételei sérülnek (a hibatag nem lesz független), ami így torzításhoz és inkonzisztenciához vezet.

<sup>6</sup> A standard hibák meghatározásához heteroszkedaszticitás esetén is robusztus becslőfüggvényeket használtunk.

<sup>7</sup> Mivel elvet tettük a független, azonos eloszlású (FAE) hiba feltételezését, Kleibergen–Paap LM statisztikával teszteltük az alulidentifikáltságot, míg a túlidentifikáltságot Hansen–J statisztikával teszteltük.

2. táblázat  
Eredmények

Modell	(1)	(2)	(3)
Függő változó	log(terhelés)		
Instrumentumok			
IMPORT (százalék)	nem	igen	igen
SZÉLTERMELÉS	igen	nem	igen
log(ár)	-0,029 (-1,227)	-0,055* (-1,737)	-0,039** (-2,066)
95 százalékos konfidenciaintervallum	[-0,077; 0,018]	[-0,116; 0,007]	[-0,077; -0,002]
Megfigyelések száma	1093	1094	1093
$R^2$	0,96	0,95	0,95
Gyengeinstrumentum-teszt <sup>a</sup>	24,69	14,84	21,17
Túlidentifikációs teszt	–	–	0,52
Cumby–Huizinga-teszt <sup>b</sup>	0,23	0,16	0,38
Arrelano–Bond-teszt <sup>a</sup>	0,07	0,07	0,07

*Megjegyzés:* a könnyebb átláthatóság érdekében a táblázatban nem tüntettük fel a kontrollváltozókat. Az eredmények részletezve a *Függelék F1 táblázatában* található. Zárójelben a *t*-statisztika.

<sup>a</sup> A Kleibergen–Paap-féle *F*-statisztikával végeztük a gyengeinstrumentum-tesztet.

<sup>b</sup> Az irodalom az IV regresszióhoz a Cumby–Huizinga-tesztet és az Arellano–Bond-tesztet ajánlja. Mindkét teszt esetén az autokorrelálatlan hibatag a nullhipotézis, míg az alternatív hipotézis az adott késleltetésnél szignifikáns autokorreláltság. A teszteket 1–7 késleltetésig végeztük el, és a táblázatban az intervallumra vonatkozó legkisebb *p*-értéket közöltük.

\*\*\*  $p < 0,01$ , \*\*  $p < 0,05$ , \*  $p < 0,1$ .

határmetszékeken kialakuló árakra. 2. A vezérelt tarifa régóta ismert a magyar piacon. A vezérelt szolgáltatásra kötött szerződés során a szolgáltató vállalja, hogy a nap során nyolc óra időtartamban szolgáltat. A szolgáltatási időt pedig célszerű úgy megválasztania, amikor a legalacsonyabb áron tudja beszerezni a villamos energiát (a közhiedelemmel ellentétben a vezérelt áramot nem csak éjszaka lehet szolgáltatni). 3. Egyes nagyfogyasztók rendelkezhetnek saját termelői kapacitásokkal, amelyeket túlzottan magas piaci árak esetén igénybe vehetnek. 4. Energiaintenzív termelést folytató nagyfogyasztók esetében fordul elő, hogy a villamos energia beszerzése integrálódott a vállalatba, ilyen módon ezek a szereplők szembesülnek a valós piaci árakkal, és képesek reagálni a termelésük átütemezésével.

Az eredményeinket összehasonlítva a *Lijesen* [2007], illetve *Knaut–Paulus* [2016b] által órás adatokon becsült árrugalmassági együtthatókkal, azt látjuk, hogy egy nagyságrenddel magasabb értékeket kaptunk. Ezt a nagyobb időbeli aggregáltság (órás *versus* napos adatok), illetve a vizsgált országok villamosenergiapiacainak egyéni sajátosságai is magyarázhatják. A jelenség pontos megértéséhez további munkára lesz szükség.

## Következtetések

A másnapi piaci tőzsdei villamosenergia-árakat és a nettó rendszerterhelést használva közelítő változóként (*proxy*), az egyensúlyi ár és mennyiség mérésére instrumentális változós (IV) regresszió segítségével megbecsültük a magyar napi villamosenergia-kereslet ár rugalmasságát. Az ár rugalmassági együttható értéke  $-0,029$  és  $-0,055$  között alakult, ami meglehetősen rugalmatlan rövid távú keresletre utal. Ez azt jelenti, hogy a napi szinten jelentős, de nem tartós ársokkok nem fejtenek ki jelentős hatást a keresletre. Ugyanakkor ez lehetőséget nyújt ritkán előforduló, de egyes piaci szereplők szempontjából jelentős veszteséget/nyereséget hozó ártüskék kialakulására. Az, hogy ezek az ártüskék ösztönzést jelenthetnek-e rugalmas, gyorsan indítható erőmű-kapacitások létesítését célzó beruházásokra, vagy pedig inkább káros hatásúak a piac egészét tekintve, aktuális piacszabályozási kérdés, amelyet a jövőben érdemes mélyebben elemezni.

Figyelembe véve, hogy a valós idejű árakkal csak a fogyasztók egy része szembesül (például a teljes fogyasztás közel egyharmadát kitevő lakossági fogyasztók az egyetemes szolgáltatás fix árai miatt egyáltalán nem), valamint azt, hogy az általunk becsült ár rugalmasság a fogyasztók egészére vonatkozó átlagos érték, feltételezhető, hogy az árinformáció terjedésének elősegítése, például automatizált kereskedelmi rendszerek vagy dinamikus tarifázás széles körű bevezetése jelentős mértékben növelhetné a kereslet rugalmasságát. Az árakkal ösztönzött, rugalmasabb kereslet jobban tudna alkalmazkodni a kínálati viszonyokhoz, ami nagyobb szolgáltatásbiztonsághoz és rendszerszinten akár alacsonyabb költségekhez vezethetne. Ennek szakpolitikai elemzése ugyancsak a lehetséges jövőbeli kutatási feladatok körét gazdagítja.

Ehhez kapcsolódóan a tanulmány természetes folytatása az elemzés elvégzése órák szintű adatokon a napon belül értelmezhető ár rugalmasság értékelésére. A napon belüli érzékenység elemzésével még pontosabb képet kaphatnánk a fogyasztók ársokkokra adott válaszáról, ami fontos információt szolgáltat a keresletoldali alkalmazkodással, energiaár-politikával vagy éppen árelőrejelzésekkel foglalkozó munkák számára. Továbbá jelen tanulmány kiinduló alapot jelenthet – árjelzésen alapuló – keresletoldali válaszokat ösztönző eszközök költség-haszon elemzéséhez. Ennek érdekében érdemes lehet a kutatást más országokban bevezetett eszközök ár rugalmassági értékeléseire is kiterjeszteni.

## Hivatkozások

- AIGNER, D.–NEWMAN, J.–TISHLER, A. [1994]: The response of small and medium-size business customers to time-of-use (TOU) electricity rates in Israel. *Journal of Applied Econometrics*, Vol. 9. No. 3. 283–304. o. <https://doi.org/10.1002/jae.3950090305>.
- AL-FARIS, A. R. F. [2002]: The demand for electricity in the GCC countries. *Energy Policy*, Vol. 30. No. 2. 117–124. o. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(01\)00064-7](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(01)00064-7).
- ALLCOTT, H. [2011]: Rethinking real-time electricity pricing. *Resource and Energy Economics*, Vol. 33. No. 4. 820–842. o. <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2011.06.003>.

- ARISO, I.–OZTURK, I. [2014]: Estimating industrial and residential electricity demand in Turkey: A time varying parameter approach. *Energy*, Vol. 66. 959–964. o. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.01.016>.
- ATHUKORALA, P. W.–WILSON, C. [2010]: Estimating short and long-term residential demand for electricity: New evidence from Sri Lanka. *Energy Economics*, Vol. 32. Suppl. 1. S34–S40. o. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2009.08.005>.
- BOONEKAMP, P. G. M. [2007]: Price elasticities, policy measures and actual developments in household energy consumption – A bottom up analysis for the Netherlands. *Energy Economics*, Vol. 29. No. 2. 133–157. o. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2005.09.010>.
- CALOGHIROU, Y. D.–MOURELATOS, A. G.–THOMPSON, H. [1997]: Industrial energy substitution during the 1980's in the Greek economy. *Energy Economics*, Vol. 19. No. 4. 476–491. o. [https://doi.org/10.1016/S0140-9883\(97\)01026-8](https://doi.org/10.1016/S0140-9883(97)01026-8).
- CHANG, Y.–KIM, C. S.–MILLER, J. I.–PARK, J. Y.–PARK, S. [2014]: Time-varying Long-run Income and Output Elasticities of Electricity Demand with an Application to Korea. *Energy Economics*, Vol. 46. 334–347. o. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.10.003>.
- EB [2016]: Tiszta energia minden európainak – az európai növekedési potenciál kibontakoztatása. Európai Bizottság, Brüsszel, [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-16-4009\\_hu.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-16-4009_hu.htm).
- FARUQI, A.–HARRIS, D.–HLEDIK, R. [2010]: Unlocking the €53 billion savings from smart meters in the EU: How increasing the adoption of dynamic tariffs could make or break the EU's smart grid investment. *Energy Policy*, Vol. 38. No. 10. 6222–6231. o. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.06.010>.
- FILIPPINI, M. [1995]: Electricity demand by time of use. An application of the household AIDS model. *Energy Economics*, Vol. 17. No. 3. 197–204. o. [https://doi.org/10.1016/0140-9883\(95\)00017-0](https://doi.org/10.1016/0140-9883(95)00017-0).
- GVH [2006]: A Gazdasági Versenyhivatal jelentése a magyar villamosenergia-piacon lefolytatott ágazati vizsgálatról. Gazdasági Versenyhivatal, Budapest, [http://www.gvh.hu/data/cms1024048/print\\_4332\\_h.pdf](http://www.gvh.hu/data/cms1024048/print_4332_h.pdf).
- GYAMFI, S.–KRUMDIECK, S.–URMEE, T. [2013]: Residential peak electricity demand response – Highlights of some behavioural Issues. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 25. 71–77. o. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.04.006>.
- HAAS, R.–LETTNER, G.–AUER, H.–DUIC, N. [2013]: The looming revolution: How photovoltaics will change electricity markets in Europe fundamentally. *Energy*, Vol. 57. 38–43. o. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.04.034>.
- HAM, J. C.–MOUNTAIN, D. C.–CHAN, M. W. L. [1997]: Time-of-Use Prices and Electricity Demand: Allowing for Selection Bias in Experimental Data. *The RAND Journal of Economics*, Vol. 28. S113–S141. o.
- HE, Y. X.–YANG, L. F.–HE, H. Y.–LUO, T.–WANG, Y. J. [2011]: Electricity demand price elasticity in China based on computable general equilibrium model analysis. *Energy*, Vol. 36. No. 2. 1115–1123. o. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.11.038>.
- KISS ANDRÁS–BARQUÍN, J.–VÁZQUEZ, M. [2006]: Can Closer Integration Mitigate Market Power? A Numerical Modelling Exercise. Megjelent: *LaBelle, M.–Kaderják Péter* (szerk.): Towards more integration of Central and Eastern European energy markets. Regional Centre for Energy Policy Research. 225–255. o. [https://rekk.hu/downloads/publications/rekk\\_c3em\\_book.pdf](https://rekk.hu/downloads/publications/rekk_c3em_book.pdf).
- KNAUT, A.–PAULUS, S. [2016a]: Hourly price elasticity pattern of electricity demand in the German day-ahead market. EWI Working Paper, No. 07.

- KNAUT, A.–PAULUS, S. [2016b]: When are consumers responding to electricity prices? An hourly pattern of demand elasticity. EWI Working Paper, No. 08.
- LABANDEIRA, X.–LABEAGA, J. M.–LÓPEZ-OTERO, X. [2017]: A meta-analysis on the price elasticity of energy demand. *Energy Policy*, Vol. 102. 549–568. o. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.01.002>.
- LABIB, L.–BILLAH, M.–RANA, G. M. S. M.–SADAT, N.–KIBRIA, G.–ISLAM, R. [2017]: Design and implementation of low-cost universal smart energy meter with demand side load management. *IET Generation, Transmission–Distribution*, Vol. 11. No. 16. 3938–3945. o. <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2016.1852>.
- LEUTHOLD, F.–WEIGT, H.–HIRSCHHAUSEN, C. V. [2008]: Efficient pricing for European electricity networks – The theory of nodal pricing applied to feeding-in wind in Germany. *Utilities Policy*, Vol. 16. No. 4. 284–291. o. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2007.12.003>.
- LIJESSEN, M. G. [2007]: The real-time price elasticity of electricity. *Energy Economics*, Vol. 29. No. 2. 249–258. o. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2006.08.008>.
- MEZŐSI ANDRÁS [2014]: A szabályozó eszközök rengetegében. A villamosenergia-szektor piaci kudarcait kezelő szabályozó eszközök egymásra hatásának vizsgálata. PhD-értekezés. Budapesti Corvinus Egyetem Gazdálkodástani Doktori Iskola, [http://phd.lib.uni-corvinus.hu/802/1/Mezosi\\_Andras\\_dhu.pdf](http://phd.lib.uni-corvinus.hu/802/1/Mezosi_Andras_dhu.pdf).
- MOUNTAIN, D. C.–LAWSON, E. L. [1992]: A Disaggregated Nonhomothetic Modeling of Responsiveness to Residential Time-of-Use Electricity Rates. *International Economic Review*, Vol. 33. No. 1. 181–207. o. <https://doi.org/10.2307/2526990>.
- NEWBERRY, D. M. [2016]: Towards a green energy economy? The EU Energy Union's transition to a low-carbon zero subsidy electricity system. Lessons from the UK's Electricity Market Reform. *Applied Energy*, Vol. 179. 1321–1330. o. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.01.046>.
- SCHULTE, I.–HEINDL, P. [2017]: Price and income elasticities of residential energy demand in Germany. *Energy Policy*, Vol. 102. 512–528. o. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.12.055>.
- SCHULTZ, P. W.–NOLAN, J. M.–CIALDINI, R. B.–GOLDSTEIN, N. J.–GRISKEVICIUS, V. [2007]: The Constructive, Destructive, and Reconstructive Power of Social Norms. *Psychological Science*, Vol. 18. No. 5. 429–434. o. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01917.x>.
- SEBESTYÉNNÉ SZÉP TEKLA [2013]: Energiahatékonyság: áldás vagy átok? *Területi statisztika*, 53. évf. 1. sz. 54–68. o.
- STRBAC, G. [2008]: Demand side management: Benefits and challenges. *Energy Policy*, Vol. 36. No. 12. 4419–4426. o. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.09.030>.
- VINCE PÉTER [2010]: Piaci verseny és piacszerkezet a villamosenergia-szektorban. Megjelent: *Valentiny Pál–Kiss Ferenc László–Nagy Csongor István* (szerk.): *Verseny és szabályozás*, 2009. MTA KTI, Budapest, 325–339. o. [http://econ.core.hu/file/download/vesz2009/11\\_villamos\\_energia.pdf](http://econ.core.hu/file/download/vesz2009/11_villamos_energia.pdf).
- WANG, N.–MOGI, G. [2017]: Industrial and residential electricity demand dynamics in Japan: How did price and income elasticities evolve from 1989 to 2014? *Energy Policy*, Vol. 106. 233–243. o. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.03.066>.
- YIL, K.-J.–GEETHA, C.–CHANDRAN, V. V. [2017]: Estimating the Elasticity of Energy Over Consumption at Micro Level: A Case Study in Sabah, Malaysia. *Energy Procedia*, Vol. 105. 3571–3576. o. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.824>.

## Függelék

### F1. táblázat

Az eredmények részletes táblázata

Függő változó: log(terhelés)

Instrumentumok	(1)	(2)	(3)
Import (százalék)	nem	igen	igen
Széltermelés	igen	nem	igen
log(ár)	-0,029	-0,055*	-0,039**
HÉTFŐ $\times$ HŐMÉRSÉKLET	-1,822*	-2,265**	-1,991**
KEDD $\times$ HŐMÉRSÉKLET	-1,463*	-1,35	-1,42
SZERDA $\times$ HŐMÉRSÉKLET	-2,614**	-2,710***	-2,651**
CSÜTÖRTÖK $\times$ HŐMÉRSÉKLET	-2,149**	-2,373**	-2,235**
PÉNTEK $\times$ HŐMÉRSÉKLET	-4,122***	-4,349***	-4,209***
SZOMBAT $\times$ HŐMÉRSÉKLET	-1,397**	-1,117*	-1,290**
VASÁRNAS $\times$ HŐMÉRSÉKLET	-5,361***	-5,917***	-5,574***
HÉTFŐ $\times$ HŐMÉRSÉKLET <sub>t-1</sub>	0,263	0,069	0,189
KEDD $\times$ HŐMÉRSÉKLET <sub>t-1</sub>	-0,992	-0,978	-0,987
SZERDA $\times$ HŐMÉRSÉKLET <sub>t-1</sub>	2,773**	2,681**	2,738**
CSÜTÖRTÖK $\times$ HŐMÉRSÉKLET <sub>t-1</sub>	2,451*	2,801*	2,585*
PÉNTEK $\times$ HŐMÉRSÉKLET <sub>t-1</sub>	2,880*	2,990*	2,922*
SZOMBAT $\times$ HŐMÉRSÉKLET <sub>t-1</sub>	-1,982*	-2,479*	-2,172**
VASÁRNAS $\times$ HŐMÉRSÉKLET <sub>t-1</sub>	3,171*	3,767*	3,399*
HÉTFŐ $\times$ HŐMÉRSÉKLET <sub>t-2</sub>	-0,16	0,521	0,1
KEDD $\times$ HŐMÉRSÉKLET <sub>t-2</sub>	1,604	1,351	1,507
SZERDA $\times$ HŐMÉRSÉKLET <sub>t-2</sub>	-1,261	-1,177	-1,229
CSÜTÖRTÖK $\times$ HŐMÉRSÉKLET <sub>t-2</sub>	-0,79	-1,008	-0,873
PÉNTEK $\times$ HŐMÉRSÉKLET <sub>t-2</sub>	-0,021	0,051	0,007
SZOMBAT $\times$ HŐMÉRSÉKLET <sub>t-2</sub>	1,948**	2,142**	2,022**
VASÁRNAS $\times$ HŐMÉRSÉKLET <sub>t-2</sub>	-1,182	-1,433	-1,278
HÉTFŐ $\times$ HŐMÉRSÉKLET16 °C	9,664***	9,962***	9,778***
KEDD $\times$ HŐMÉRSÉKLET16 °C	8,880***	9,371***	9,068***
SZERDA $\times$ HŐMÉRSÉKLET16 °C	10,424***	11,444***	10,814***
CSÜTÖRTÖK $\times$ HŐMÉRSÉKLET16 °C	11,122***	11,772***	11,371***
PÉNTEK $\times$ HŐMÉRSÉKLET16 °C	10,805***	11,449***	11,051***
SZOMBAT $\times$ HŐMÉRSÉKLET16 °C	8,071***	7,694***	7,927***
VASÁRNAS $\times$ HŐMÉRSÉKLET16 °C	15,862***	17,274***	16,402***
HÉTFŐ $\times$ HŐMÉRSÉKLET16 °C <sub>t-1</sub>	-2,14	-1,365	-1,843
KEDD $\times$ HŐMÉRSÉKLET16 °C <sub>t-1</sub>	0,164	0,288	0,211
SZERDA $\times$ HŐMÉRSÉKLET16 °C <sub>t-1</sub>	-6,793***	-7,717***	-7,147***
CSÜTÖRTÖK $\times$ HŐMÉRSÉKLET16 °C <sub>t-1</sub>	-6,235***	-6,728***	-6,424***
PÉNTEK $\times$ HŐMÉRSÉKLET16 °C <sub>t-1</sub>	-5,896**	-6,512**	-6,131**



## Az F1. táblázat folytatása

Instrumentumok	(1)	(2)	(3)
SZOMBAT $\times$ HŐMÉRSÉKLET $16^{\circ}\text{C}_{t-1}$	-3,361	-2,65	-3,089
VASÁRNP $\times$ HŐMÉRSÉKLET $16^{\circ}\text{C}_{t-1}$	-9,505***	-10,753***	-9,982***
HÉTFŐ $\times$ HŐMÉRSÉKLET $16^{\circ}\text{C}_{t-2}$	-3,310*	-4,381*	-3,720*
KEDD $\times$ HŐMÉRSÉKLET $16^{\circ}\text{C}_{t-2}$	-6,634***	-6,815***	-6,703***
SZERDA $\times$ HŐMÉRSÉKLET $16^{\circ}\text{C}_{t-2}$	-0,617	-0,279	-0,489
CSÜTÖRTÖK $\times$ HŐMÉRSÉKLET $16^{\circ}\text{C}_{t-2}$	-3,271***	-3,098**	-3,205**
PÉNTEK $\times$ HŐMÉRSÉKLET $16^{\circ}\text{C}_{t-2}$	-1,216	-0,887	-1,09
SZOMBAT $\times$ HŐMÉRSÉKLET $16^{\circ}\text{C}_{t-2}$	-2,25	-2,421	-2,315
VASÁRNP $\times$ HŐMÉRSÉKLET $16^{\circ}\text{C}_{t-2}$	1,002	1,583	1,224
HÉTVÉGE	-0,130***	-0,135***	-0,132***
ÁTHELYEZETT	-0,090***	-0,095***	-0,092***
ÜNNEPNAP	-0,179***	-0,185***	-0,181***
HÉTVÉGE $_{t-1}$	0,066***	0,068***	0,067***
ÁTHELYEZETT $_{t-1}$	0,059***	0,060***	0,059***
ÜNNEPNAP $_{t-1}$	0,106***	0,110***	0,107***
KEDD	-0,81	-0,762	-0,792
SZERDA	-1,183	-1,212	-1,194
CSÜTÖRTÖK	-1,689*	-1,700*	-1,693*
PÉNTEK	-1,075	-1,112	-1,089
SZOMBAT	-1,832**	-1,866**	-1,845**
VASÁRNP	-0,854	-0,896	-0,87
NAPNYUGTA $\times 10^{-3}$	-0,032**	-0,033**	-0,032**
TREND $\times 10^{-3}$	-0,005	-0,007	-0,006
TREND2 $\times 10^{-6}$	0,011	0,014	0,012
Log(ÁR) $_{t-1}$	0,025	0,044*	0,032**
HÉTFŐ $\times$ log(TERHELÉS) $_{t-1}$	0,689***	0,695***	0,691***
KEDD $\times$ log(TERHELÉS) $_{t-1}$	0,784***	0,784***	0,784***
SZERDA $\times$ log(TERHELÉS) $_{t-1}$	0,826***	0,835***	0,829***
CSÜTÖRTÖK $\times$ log(TERHELÉS) $_{t-1}$	0,885***	0,891***	0,887***
PÉNTEK $\times$ log(TERHELÉS) $_{t-1}$	0,812***	0,821***	0,815***
SZOMBAT $\times$ log(TERHELÉS) $_{t-1}$	0,906***	0,916***	0,910***
VASÁRNP $\times$ log(TERHELÉS) $_{t-1}$	0,784***	0,795***	0,788***
Konstans	2,694***	2,673***	2,686***
Megfigyelések száma	1093	1094	1093
R <sub>2</sub>	0,96	0,95	0,95
Gyengeinstrumentum-teszt	24,69	14,84	21,17
Túlidentifikációs teszt	–	–	0,52
Cumby–Huizinga-teszt	0,23	0,16	0,38
Arrelano–Bond-teszt	0,07	0,07	0,07

Megjegyzés: A NAPTÁRVÁLTOZÓK kétértékű változók.

\*\*\*  $p < 0,01$ , \*\*  $p < 0,05$ , \*  $p < 0,1$ .