

A hőmérséklet hatásáról a villamosenergia- és gázfogyasztás magyarországi példáján

Sugár András,

a Budapesti Corvinus Egyetem
adjunktusa

E-mail: andras.sugar@uni-corvinus.hu

A szerző olyan gazdasági idősorokat tekint át, amelyek értéke erősen függ a hőmérséklettől. Ilyen esetekben a hőmérsékletingadozás akadályozza a reális kép kialakítását a fő folyamatokról. A tanulmány elsősorban a villamos energia és a gáz példáján mutatja be a hőmérsékletingadozás hatását a fogyasztásra, illetve konkrét, számszerű eseteken szemlélteti a hőmérséklet kiszűrését, az ún. hőmérsékletkorrigált idősorok előállításával. A napi menetrendek tervezésében, illetve a szükséges energiamennyiség rendelésében alapvető szerepe van, az energiafogyasztás fő tendenciáinak áttekintése mellett, a hőmérséklethatás kiszűrésének. A helyes eljárás kiválasztásán és alkalmazásán forint milliárdok múlnak.

A módszerek közül elsősorban a napfokon alapuló hagyományos és a szerző által továbbfejlesztett regressziós technikákat mutatjuk be.

TÁRGYSZÓ:
Energiagazdálkodás.
Meteorológia.
Idősorelemzés.

A meteorológiai adatok elemzése a statisztika alkalmazásának egy fontos területe. Egyrészt a meteorológia számos statisztikai módszertant alkalmaz (például *World Meteorological Organization* [2010]), másrészt bizonyos közgazdasági folyamatok elemzésekor a hőmérséklet vagy más időjárási jellemző a modellezés szerves része, amit esetleg statisztikai módszerekkel kell elkülöníteni, kiszűrni. Tanulmányunkban a meteorológiai adatok elemzéséről, közelebbről a hőmérséklet egy meghatározott típusú közgazdasági hatásáról és lehetséges kezelési módjairól szólnunk.

Számos termék esetén a hőmérséklet változása befolyásolja a fogyasztás alakulását. Jól ismert a sör, az üdítő vagy a fagyalt példája: melegben e termékek iránt nagyobb a kereslet. A gazdaságban az egyik legjellemzőbb hőmérsékletfüggő termék és szolgáltatás a villamos és gázenergia.

Alapvető kérdés a hőmérséklet hatásának az iránya, intenzitása, illetve kimutatásának lehetséges módszerei. Bizonyos esetekben a hatás egyirányú, például a sörfogyasztás mennyisége pozitívan és általában lineárisan függ a hőmérséklet nagyságától, minél melegebb van, annál többet fogyasztunk az adott termékekből.

A *gázfogyasztást* tekintve ismert jelenség, hogy egyes évszakokban jelentős, fordított lineáris kapcsolat van a hőmérséklet alakulása és a gázfelhasználás között: minél hidegebb van, annál nagyobb a gáz fűtési célú fogyasztása. Az elmúlt évek téli hónapjaiban – eléggé szabályszerűen – egy °C -kal hidegebb idő esetén, totális hatásként (azaz kontrollváltozók bevezetése nélkül) 2-2,5 millió köbméterrel magasabb volt az átlagos napi gázfogyasztás. A hőmérséklet növekedése egy idő után feleslegessé teszi a fűtést, a melegebb időszakokban az egyéb célú gázfelhasználás mértéke (ipari, illetve lakossági) már nem hőmérsékletfüggő. A eddig említett két esetet mutatják szematikusan az 1. ábrán látható összefüggések.

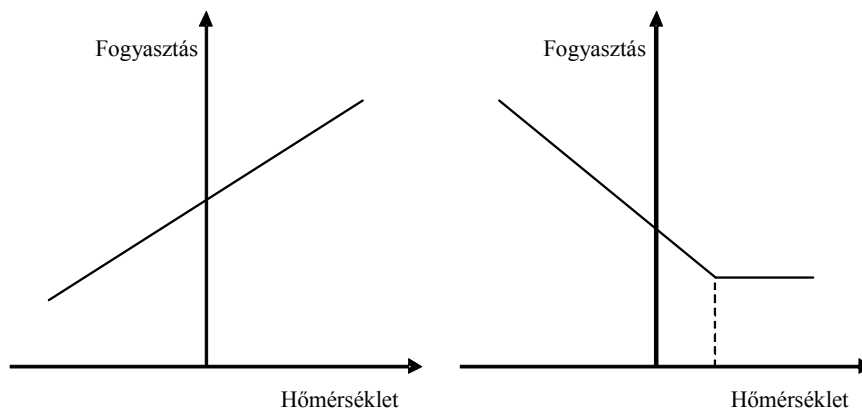
A gázfogyasztás elemzésekor alapvető kérdés annak a küszöbértéknek a meghatározása, amelynél a kapcsolat megtörik: ez, a gyakorlati tapasztalatok alapján, általában 16 °C körülire tehető.

A *villamosenergia-fogyasztás* esetében a kapcsolat kétirányú, a hidegebb időszakokban negatív, a melegebbekben pozitív, télen a fűtési, nyáron a hűtési hatás következtében. (Lásd a 2. ábrát.)

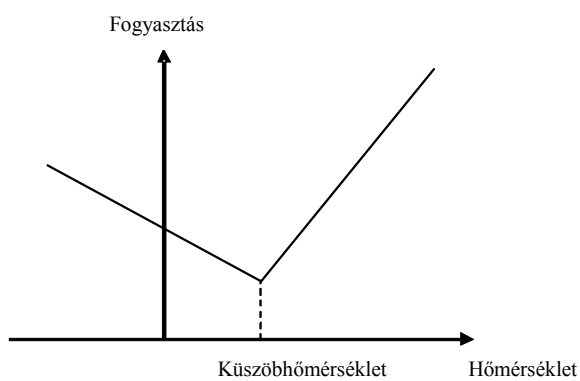
Az is előfordulhat, hogy az alsó küszöbérték nem esik egybe a felsővel, a kettő között a hőmérsékletnek nincs hatása a fogyasztásra. (Lásd a 3. ábrát.)

A villamos energia esetében is felmerül, hogy mekkora a küszöbérték, illetve hogyan kezeljük a kétirányú kapcsolatot.

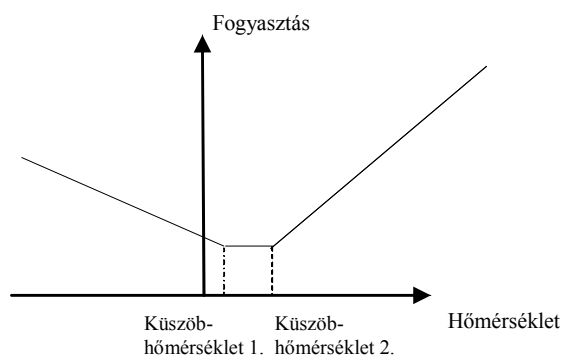
1. ábra. Egyértelmű pozitív, illetve negatív kapcsolat küszöbértékkel



2. ábra. Kétirányú kapcsolat



3. ábra. Kétirányú kapcsolat nem azonos alsó és felső küszöbvel



Tanulmányunk alapproblémát illusztráló, bevezető része után a következőket tárgyaljuk részletesen. Bemutatjuk a hőmérséklet hatásait kimutató statisztikai eszközöket, különös tekintettel a hőmérsékletkorrekcióra, ami tulajdonképpen ezen ok kiszűrését jelenti, azaz átlagos hőmérséklet mellett mi jellemezte volna az adott folyamatot. Ezt követően a gáz- és villamosenergia-piac példáján szemléltetjük a hőmérsékletkorrekció specifikus eszközeit és azok közgazdasági felhasználásának lehetőségeit, valamint azt, hogy mennyire játszik fontos szerepet ezeken a piacokon a korrekció felhasználása, illetve hogyan hat mindez többmilliárd forint sorsára. Végezetül a fontosabb eredményeket és következtetéseket foglaljuk össze.

1. A hőmérsékletkorrekcióról

Sokszor felmerül a hőmérséklet hatásától megtisztított (ún. hőmérsékletkorrigált) adatok iránti igény. A hőmérsékletingadozás hatását egyszerűbb vagy bonyolultabb módon is kiszűrhetjük. Vegyük például az elmúlt 15 vagy 40 év (minél erőteljesebben tapasztalható a trend léte, annál rövidebb időszakot érdemes használni) átlaghőmérsékletét, és ezt helyettesítsük egy regressziós összefüggés esetében a tényleges hőmérséklet helyébe. Ez lesz az ún. hőmérséklettel korrigált fogyasztás idősora.

A hőmérséklet hatásától megtisztított adatok iránti igény az energetikában több esetben is felmerül. Ezek kapcsán három gyakran felmerülő problémakört emelünk ki.

a) Miután a hőmérséklet ingadozása ebben az esetben a véletlen jól specifikált része, érdemes a szokásos dekompozíciós eszközök előtt a hőmérséklet hatását kimutatni és különválasztani. A hőmérséklettől jelentősen függő eseményről reális képet csak az ún. hőmérsékletkorrigált változások számítása alapján nyerhetünk, hiszen a hőmérséklet esetleges, a tényleges trend vagy szezonálisan kiigazított idősor csak ezen hatás kiszűrésével látható. Például a villamosenergia-fogyasztás hőmérsékletkorrigált adatsora aránylag egyenletes, évi 1,6 százalékos átlagos növekedést mutat – kivéve a 2009-es, már a válság jegyében eltelő évet, amikor a villamosenergia-fogyasztás gyakorlatilag a GDP-nek megfelelő módon esett vissza –, miközben a nem korrigált adatoknál nagy különbségek adódnak. A hőmérsékletkorrekció gyakorlati megvalósítása után látható lesz majd, hogy az egyes években a növekedési ütemekben tapasztalható jelentős szórás a hőmérsékletkülönbség „számlájára írható”.

b) A szabályozott áras termékek esetén (mint amilyen a villamos energia és a gáz) négyévente költség-felülvizsgálatok állapítják meg, mekkora az adott szektor ún. indokolt költsége. Ez azonban egy évre számított összeg, ami tartalmazza a működés, a beruházás költségét, valamint a méltányos tőkeköltséget. Ezt az összeget „tarifásítani” kell, azaz meg kell állapítani egy egység árát. Itt alapvető, mekkora mennyiséggel kalkulálunk. Túl hideg időt feltételezve a szolgáltatók rosszul járnak, hiszen alacsony lesz a tarifa összege, melegebb idő esetén bevételük nem éri el a kalkuláltat. Túl melegre kalkulálva éppen fordított a helyzet. Ezért ilyenkor alapvető egy hosszabb időszak hőmérsékletadatain végzett korrekció, és egy átlagos hőmérséklet melletti mennyiség megállapítása.

c) Mind a villamos energia mind a gáz tekintetében fontos a fogyasztás mennyisége (ami tartam idősor) mellett a csúcsp fogyasztás is, ami a gáznál az adott napra vonatkozó egyetlen értéket jelent. (Bár napon belül is vannak jelentős ingadozások, de a fogyasztás változásának sebessége jóval kevésbé radikális, mint a villamos energiánál. A gázfogyasztásra – a villamos energiával ellentétben – a rendszerirányító (a MOL-hoz kapcsolódó Földgázszállító Zrt. (FGSZ)) nem kér részletes másnapi előrejelzést, csak a napi fogyasztást és egy csúcsp fogyasztási értéket.) A villamos energiánál napon belül gyors változások is lehetnek, hirtelen szökhet fel az igény, ezért itt – mint szó lesz még róla – a rendszerirányító (Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zrt. – MAVIR) negyedórás fogyasztási előrejelzést kér. A fogyasztás mellett legalább olyan fontos az éppen aktuális rendelkezésre álló teljesítmény biztosítása. A teljesítmény (megawatt – MW) már egy állapot idősor, aminek biztosítása a hőmérséklet gyors változásakor okozhat gondot. (Előfordulhat, hogy egy meleg hullám esetében hirtelen kapcsolnak be több millió légkondicionáló készüléket – ahogy ez például Kaliforniában 2000-ben a rendszer összeomlásához is vezetett.) A gázt tekintve egyébként a napi csúcsp fogyasztás évek óta változatlan; a fogyasztás stagnálásával, visszaesésével az elmúlt években egyszer sem haladta meg a napi 80 millió köbmétert, amit normál körülmények között (például nincs importstop) a magyar rendszer gond nélkül tud biztosítani. (A mára kiépült tárolókapacitások mellett a napi ellátás akár a 100 millió köbmétert is meghaladhatja.) A villamos energia esetében viszont a maximális rendszerteljesítmény – különösen nyáron – növekvő tendenciát mutat, 2010 júliusában már volt 5700 MW-os teljesítményadat, ami eddig csak az igazán hideg téli napokat jellemezte. (Azt a későbbiekben elemezzük, hogy mennyire változik a nyári fogyasztás és teljesítmény hőmérsékletérzékenysége.)

A hőmérsékletkorrekcióra irányuló számítások alapja lehet egy regressziós modell, illetve elterjedt a neurális hálós becslés is, amelyben a hőmérséklettel is magyarázzuk a villamos energia fogyasztását, de léteznek egyszerűbb módszerek is, mint például a fogyasztás átlagos napfokra való vetítése.

2. A hőmérsékletkorrekció esetei

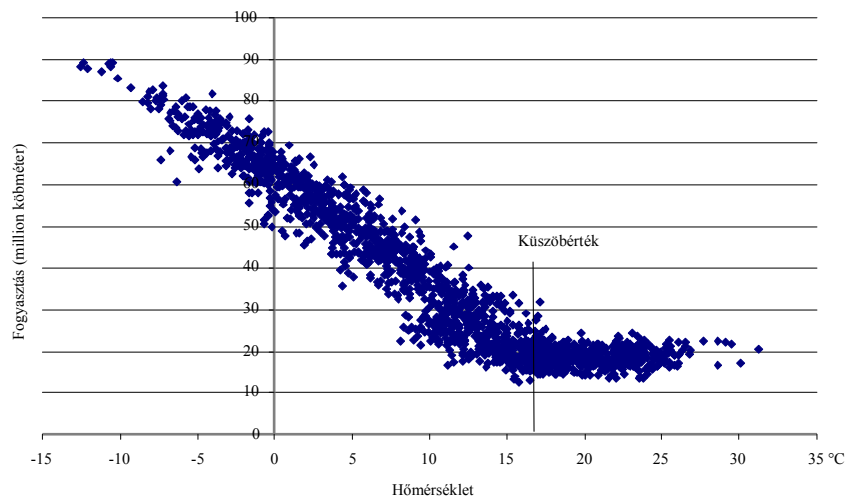
A továbbiakban saját számítások alapján mutatjuk be a hőmérsékletfüggés és korrekció néhány esetét a gáz és villamos energia példáján. Bár több termék esetében is készíthetnénk elemzést a hőmérsékletfüggésről, a gyakorlatban a villamosenergia- és gázfogyasztás elemzése, tervezése, előrejelzésekor ez a problémakör nemcsak elméleti érdekességgel bír, hanem komoly közgazdasági (ennek keretében anyagi) következményekkel is jár. Mind a villamos energia, mind a gáz esetében részletes, nyilvános információkkal is rendelkezünk. A villamos energiát tekintve a MAVIR negyedórás bontásban közli naponta a felhasználást. Kizárólag módszertani szempontból más termékeknél is fontos lehet a hőmérséklet hatása, de például egy sörgyár értékesítéséről gyakorlatilag lehetetlen részletes adatokhoz jutni, elsősorban az üzleti titokra való hivatkozás következtében.

2.1. Gázfogyasztás

A gázfogyasztás és a hőmérséklet közötti kapcsolatot hagyományosan az ún. napfok alapján lehet a legplasztikusabban jellemezni. A napfok egy küszöbértéktől való eltérést jelent, miután a gázfogyasztás akkor nő, ha hidegebb van, a meleg (például a villamos energiával ellentétben) közvetlenül nem hat a gázfogyasztás nagyságára.

A 4. ábra a napi középhőmérséklet és a gázfogyasztás nagysága közötti kapcsolatot mutatja 2004 és 2009 között.

4. ábra. A napi középhőmérséklet és a gázfogyasztás közötti kapcsolat, 2004–2009

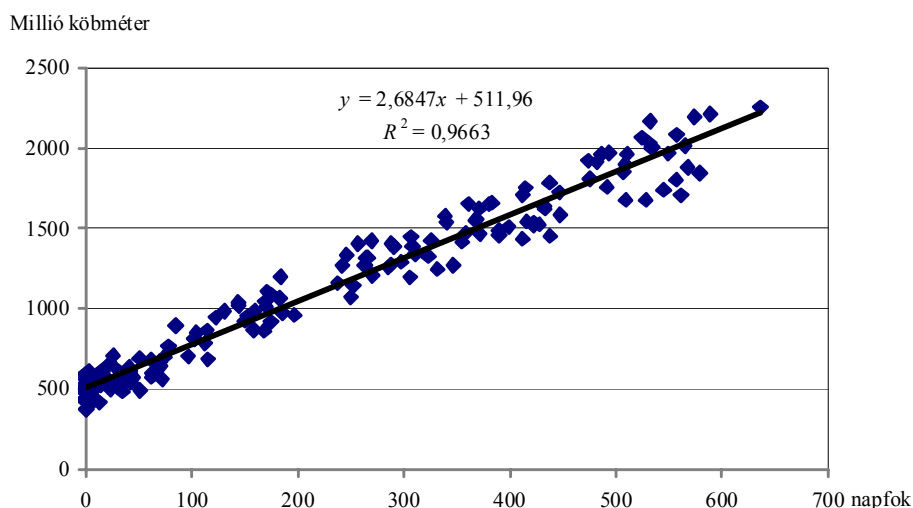


Forrás: Az FGSZ adatai alapján saját számítás.

A kérdés, mekkora legyen az a küszöbérték, ami felett már nem függ a mennyiség a hőmérséklettől. Egy optimalizációs algoritmus segítségével (amely különböző küszöbértékek esetén azt vizsgálja, mennyire jól magyarázza a hőmérséklet a fogyasztás mennyiségét) kiszámítottuk az 1995 és 2009 közötti időszak küszöbértékét, és a hagyományosan használt 16 fokot kaptuk.

A napfokot általában egy adott időtartamra számoljuk, például egy hónapra vagy egy évre. A napfok számítása a következőképpen zajlik. Megállapítjuk mekkora a napi átlagos középhőmérséklet, majd a naponta számolt $16 - X$ értékeket összegezzük az adott időszakra, ha X 16 °C fok alatt van, illetve nulla a megfelelő érték egyébként. Az így összegezett napfokok és a havi fogyasztás közötti kapcsolatot szemlélteti az 5. ábra (ez a regresszió mutatta a legjobb illeszkedést, azaz ez alapján alakult ki a 16 °C-os küszöbérték.)

5. ábra. A havi napfok és a gázfogyasztás közötti kapcsolat, 1995–2009



Forrás: Saját számítás.

Az 1. táblázat adatai mutatják a lakossági fogyasztás példáján az éves napfokok és a gázfogyasztás alakulását a 2004 és 2009 közötti időszakra (ezekben az években a leg-erősebb a hőmérséklet szerepe a fűtés tekintetében). A napfokok alapján a 2007 és 2009 közötti évek melegebbek voltak, ami magyarázza a viszonylag alacsony gázfogyasztást, illetve a 2005-ben tapasztalt hideg hatása is jól látható a táblázat adataiból. Érdeemes megjegyezni, hogy bár a havi adatok alapján jelentős a napfok magyarázó ereje, e tekintetben egy-egy napot, illetve évet alapul véve nagyobb különbségek alakulhatnak ki az egyéb eltérő hatások miatt. Ilyen például a – későbbiekben figyelembe vett – munkanap-ünnepnap, vagy a nem modellezett szélhatás, illetve a tapasztalatok alapján a több napig egyfolytában jelentkező hideg időszakok fokozott hatása.

1. táblázat

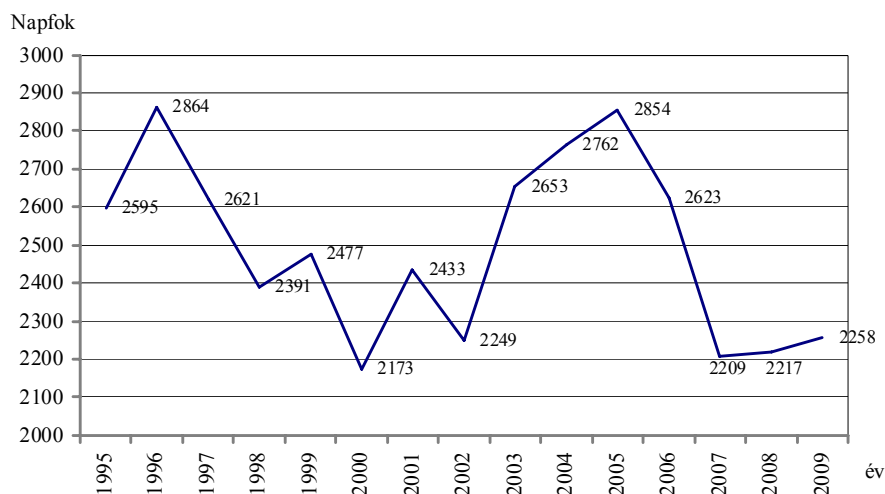
Éves napfok és lakossági fogyasztás

Év	Napfok	Lakossági fogyasztás (millió köbméter)
2004	2762	4394
2005	2854	4809
2006	2623	4461
2007	2209	3909
2008	2217	4043
2009	2258	4145

Forrás: Az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ), az Energia Központ Nonprofit Kht., valamint a Magyar Energia Hivatal (MEH) adatai alapján saját számítás.

A meteorológiában napjaink egyik legnagyobb kérdése, hogy mennyire melege-
dett az idő az elmúlt években. (Ha egyáltalán melegegett, mert léteznek ezt cáfoló
kimutatások.) Erre bonyolult matematikai, statisztikai modellek is készültek. Miután
vizsgálódásunk alapvetően rövid távú, ebbe a vitába nem szeretnénk belebonyolódni.
Mindenesetre az tény, hogy az elmúlt 15 évben a napfokok szintjén statisztikailag a
melegedés nem mutatható ki, csak a napfokok eléggé nagy szóródása. Az 6. ábra mu-
tatja az éves napfokok alakulását 1995-től 2009-ig.

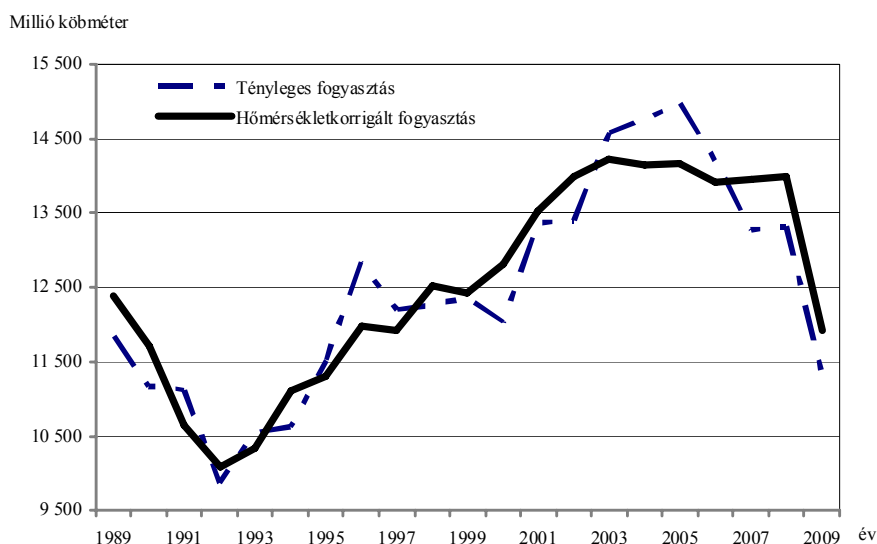
6. ábra. Éves napfok, 1995–2009



Forrás: Saját számítás.

A gázfogyasztás előrejelzésére a hőmérséklet hatását két lépésben vesszük figyelembe: 1. kiszűrjük a hőmérséklet hatását, ennek technikája a fogyasztásnak a hőmérséklet tényadataival (általában az átlagos napi középhőmérsékletet használjuk) történő regressziós magyarázata; 2. a hőmérsékletet helyettesítjük az átlagos évi 2500 (1995 és 2009 közötti 15 év átlaga 2492 napfok) napfokkal, és az emellett fogyasztást becsljük. Ez a hőmérsékletkorrigált fogyasztás mutatja, hogy a hőmérséklet ingadozását kiszűrve mekkora lett volna a gázfogyasztás nagysága.

7. ábra. Tényleges és hőmérsékletkorrigált gázfogyasztás, 1990–2009



Forrás: Az OMSZ és az Energia Központ Nonprofit Kht. adatai alapján saját számítás.

Látható, hogy 1992-től 2003-ig a hőmérséklet hatását kiszűrve dinamikusan növekedett a gázfelhasználás, ez a trend 2003-ban megtört, majd a stagnálást enyhé, illetve a 2009-es válságévben jelentős csökkenés követte, amit a melegebb időjárás még tovább mélyített.

Felmerül a kérdés, miért, milyen konkrét esetekben szükséges a gázfogyasztás trendjének minél pontosabb, hőmérséklettel tisztított ismerete. A gáz nagyrészt orosz import, amit meghatározott mennyiségre, hosszú távra kötött a magyar állam egy vállalata az orosz állam egy másik cégével. A jelenlegi szerződés – ami 20 évre szól – 2015-ig érvényes. Az ez utáni időszakra szóló újabb hosszú távú szerződés előkészületi munkái már javában zajlanak. A megállapodás szerint Magyarország 10 milliárd köbméter gázt garantáltan átvesz, pontosabban akkor is ki kell fizetnie, ha nincs rá

szüksége és nem veszi át. (Erre egyetlen alkalommal volt példa az elmúlt tíz évben.) A 10 milliárd köbméter feletti részre felárat kell fizetni. Ennek fényében alapvető fontosságú, hogy a gázfelhasználás 2000 és 2005 közötti szakaszát ne egy dinamikusan emelkedő, az utána következő részt pedig erősen csökkenő tendenciaként értékeljük, hanem vegyük figyelembe a hőmérséklet hatását. A válságot leszámítva a 2000-es évek második felét egy stabil 14 milliárd köbméteres éves bruttó fogyasztás jellemezte, ebből és a hazai kitermelésből, illetve a tárolói kapacitásokból kiindulva lehet előrejelzést adni a következő évekre a szerződés megújításának előkészítésére. (A cikk kereteit meghaladja, de készült előrejelzés a következő 15 évre, ami további gázfelhasználás-csökkenést mutat.)

2.2. Villamosenergia-fogyasztás

A villamos energia felhasználása és előrejelzése természetesen hosszú múltra tekint vissza, és számos publikáció foglalkozik a témával (többek között *Cancelo-Espasa* [1996], *Engle–Mustafa–Rice* [1992], *Pilipovic* [1998]).

2.2.1. Hőmérsékletfüggés havi adatok alapján

A napfokhoz hasonlóan képezhetjük a küszöbértéktől való eltérést, de a gázzal ellentétben a villamosenergia-fogyasztásnál két küszöbérték van. Ebben az esetben az alsó alatti és a felső feletti megfelelő küszöbértéktől vett eltérések abszolút értékét kumuláljuk. Ráadásul (mint majd a regressziós modellben egzaktul is kimutatjuk) a meleg nem ugyanolyan meredekséggel hat a fogyasztás növekedésére, mint a hideg. Ezt is egy paraméterrel kezeljük (nevezzük meleghatás-paraméternek): hányszorosa a meleg hatása a hidegének. Itt a regressziós számítások eredményei alapján 2,1-szeres a kiindulópont, míg a napfokot tekintve egy fokkal melegebb hőmérséklet 2,7-szer többel növeli a fogyasztást, mint amennyivel egy fokkal hidegebb idő télen.

Ezek után egy iterációs eljárást konstruáltunk, ahol a küszöbértéket 0,1 fokonként, a meleghatás paramétert szintén 0,1-enként változtattuk. Azt vizsgáltuk, mely értékek maximálják az így képzett napfokszám és a fogyasztás közötti regressziós összefüggés determinációs együtthatóját. (Azaz milyen paraméterértékek esetében maximális a magyarázó erő.)

A mintegy 500 iteráció után kapott eredményeket a 3. ábra két szárának meredeksége illusztrálja: alsó küszöbérték 12 °C, felső küszöbérték 21 °C, meleghatás 2,7 (2004 és 2009 közötti időszak adatai alapján).

Látható, hogy a gázfogyasztásnál számszerűsített 16 °C-nál kisebb, 12 °C a villamosenergia-fogyasztás küszöbértéke. Ennek fő oka, hogy a gázfelhasználás

hőmérsékletfüggése egyértelműen a fűtéshez kapcsolódik, míg a villamosenergia-felhasználás közvetlen módon, csak kisebb részben fűtési célú (a direkt villamosenergia-fűtés aránya elenyésző Magyarországon). A hőmérséklet hatása közvetett, gyakorlatilag minden nagy fűtési rendszer használ villamos energiát, mint a berendezéseket vezérlő, szabályzó eszközök energiaforrását. Az alacsonyabb határt is ez indokolja, csak tartósabb hidegek elején indulnak be véglegesen a nagy rendszerek, amelyek már a villamosenergia-fogyasztásra is jelentősebben hatnak.

2.2.2. Modellezés napi adatok alapján

Napi adatok hőmérsékletfüggést is figyelembe vevő modellezésére két ismertebb modellsaládot használtak Magyarországon az elmúlt években. Az egyik a lineáris regressziós technika, a másik a neurális hálók elméletén alapuló modellezés.

A regressziós modellben a magyarázóváltozók a hosszú távú tendenciát követő trend vagy külső változók (például az ipari termelés havi időszora), illetve a szezonalitást kezelő kétértékű (ún. dummy) változók lehetnek, amelyek segítségével a héten és éven belüli szezonális hatásokat (például az ünnepnapokat) kezelhetjük.

A modellbe két további változót vettünk be. Az egyik a világításra használt villamos energiát hivatott magyarázni, és a napfelkeltétől napnyugtáig terjedő időszak arányát fejezi ki a nap teljes hosszához képest. Ez a szezonális változókhoz hasonlóan teljesen determinisztikus, évenkénti periodicitással ismétlődő jellemző. A másik a hőmérséklet hatása. Tulajdonképpen ez az egyetlen sztochasztikus, véletlen tényezőtől függő elem a magyarázóváltozók között. A korábbiak alapján ezt nem tudjuk egy változóval kezelni, mert a hatása nem egyirányú.

A modell változóihoz tartozó paraméterek értelmezésére a konkrét becsléseknél térünk vissza.

A regressziós technika használata során figyelembe kell vennünk, hogy az elemzés adatbázisa napi idősorokat jelent, azaz idősoros regressziós becslésekre kerül sor. Ilyenkor gyakran (esetünkben is), a hagyományos legkisebb négyzetek elve alapján történő becslés esetében, a reziduumok függetlensége nem teljesül, ami rontja a paraméterbecslést. Kétfajta módon is kezelhetjük a problémát. Egyrészt szerepeltethetjük az Y függő változó (esetünkben a villamosenergia-fogyasztás) egy nappal késleltetett értékeit, azaz egy autoregresszív tagot. Ez logikailag azt jelenti, hogy az adott nap energiafogyasztása nemcsak a determinisztikus tényezőktől és a hőmérséklettől függ, hanem bizonyos mértékig az előző nap fogyasztási szintjétől is.

A másik szokásos kezelési mód, hogy nem a teljes Y változó késleltetését szerepeltetjük a modellben, hanem csak a előző időszak véletlen becslését, azaz a mozgó-

átlagolású tagot. Ez logikailag azt jelenti, hogy az adott nap fogyasztása nem a teljes előző napi fogyasztás mértékétől függ, csak a regresszió szerint becsült szinttől való eltéréstől, a véletlen hatástól.

Esetünkben mindkét módszer kezeli a reziduális autokorrelációt. Az autoregresszív modell pontosabb becsléseket ad (a determinációs együttható magasabb értéket vesz fel), de ilyenkor a paraméterek nem igazán értelmezhetők, mert a fogyasztás nagysága függ az előző napi fogyasztás szintjétől is. (Például a hét napjaihoz tartozó dummy változók nem egyértelmű jelentésűek, hiszen például a hétfői értékre a vasárnapi alacsony szint erősen hat.) A paraméterbecslés eredményeit éppen ezért a mozgóátlag-taggal bővített modell szerint értelmezzük majd, míg a fogyasztásra adott becsléseket az autoregresszív modell alapján érdemes adni. (Tanulmányunkban ilyen becsléseket nem közlünk, de az így készült regressziós modellnek ez az egyik fő felhasználási területe. A cégeknek ugyanis minden nap negyedórás menetrendet kell adniuk a következő napra, azaz előre kell jelezniük a fogyasztás alakulását. Az ettől való eltérést – mind lefelé, mind felfelé – büntetik az ún. kiegyenlítő piacon. Az előrejelzés esetében, miután a X változók a hőmérséklet kivételével nem sztochasztikusak, csak a hőmérsékletre kell előrejelzést kérni, amit a kereskedők és egyéb szolgáltatók naponta meg is vesznek a Meteorológiai Szolgálattól.)

A hőmérsékletkorrigált fogyasztásra adott becslés a következőképpen készül: megbecsüljük a modell paramétereit, és a többi változó meghagyása mellett, és a hőmérsékletadatokat az elmúlt 40 év napi átlaghőmérsékleteivel helyettesítjük. Ezeket tekintjük a hőmérsékletkorrigált fogyasztás értékeinek, azaz olyan fogyasztási értékeknek, amelyek nem függenek az aktuális, rövid távú hőmérsékleti hatásoktól.

A regressziós technika mellett a hasonló célú modellezések másik eszköztára a neurális hálók alkalmazása. (Ezt használták régebben az MVM-nél (Magyar Villamos Művek Zrt.), illetve a MAVIR-nál.) A neurális hálók előnye, hogy nemcsak lineáris vagy könnyen linearizálható kapcsolatokat tudnak modellezni, ennél jóval általánosabbak; hátránya, hogy „fekete doboz” jellegük miatt az eredmények sokkal kevésbé értelmezhetők. Az MVM-ben és a MAVIR-ban a hőmérsékletkorrekciónak egy ideig kifejlett módszertana volt, ami *Varga László* [2002] nevéhez fűződött, de ma semelyik állami cég vagy intézmény nem közöl ilyen adatokat.

Regressziós eredmények

A továbbiakban részletesen ismertetjük a regressziós futtatások eredményeit. Korábbiakban szó volt róla, hogy milyen változókat, illetve idősoros regressziós technikákat alkalmazunk.

A magyarázóváltozókat a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat

A regressziós becslés során használt változók

Változó	Jelentés
trend	Az alapvető növekvő tendenciát jelző változó, értékei $t = 1, 2, 3, \dots$
Nsuto	A teljes nap hányad része a napfelkeltétől napnyugtáig tartó időszak
Khom	A napi középhőmérséklet Budapesten
hetfo	Hétfői nap dummyja
kedd	Keddi nap dummyja
szerda	Szerdai nap dummyja
csut	Csütörtöki nap dummyja
pent	Pénteki nap dummyja
szomb	Szombati nap dummyja
kar	Karácsony dummyja
kszilv	Karácsony és szilveszter közötti munkanapok dummyja
egyebunn	Egyéb ünnepnapok dummyja
atmunka	Áthelyezett munkanapok dummyja
atunnep	Áthelyezett ünnepnapok dummyja
telnyar	Nyár dummy (június–augusztusi napok)
inter	Interakció, a hőmérséklet és a telnyar dummy szorzata
Fogy_1	A fogyasztás egy nappal késleltetett értéke
Vél_1	A véletlen tényező egy nappal késleltetett értéke

A reziduális autoregresszív korrekciós módszerek közül a Cochrane–Orcutt-eljárást használtuk. Ez egy egyszerű iteratív módszer, amely az elsőrendű becslt autokorrelációból indul ki (*Hunyadi–Mundruczó–Vita* [1996] 736. old.). Az eredményeket a 3. táblázat tartalmazza.

A paraméterek értelmezése a szokásos, azaz a többi tényező változatlanlanságát feltételezve, mennyivel változtatja átlagosan a fogyasztás értékét a tényezőváltozó egységnyi módosulása. Az összehasonlítás alapja a hét napjai és az ünnepnapok esetében is a vasárnap. A paraméterek két csoportját a 8. és 9. ábrák szemléltetik.

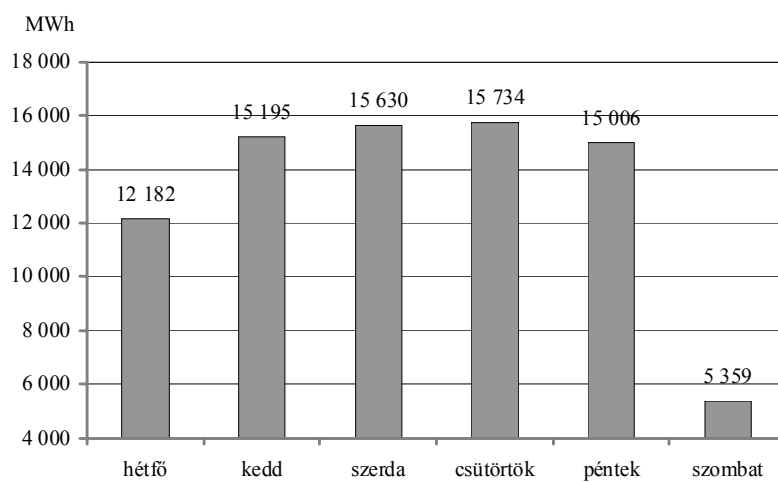
A paraméterek értéke mutatja, hogy a többi tényező változatlanlanságát feltételezve vasárnap a legalacsonyabb az átlagos fogyasztás (a többi nap hatása ehhez képest pozitív); ettől szombaton átlagosan 5 359 MWh-val, hétfőn 12 152 MWh-val magasabb; a heti csúcst szerdán és csütörtökön éri el.

3. táblázat

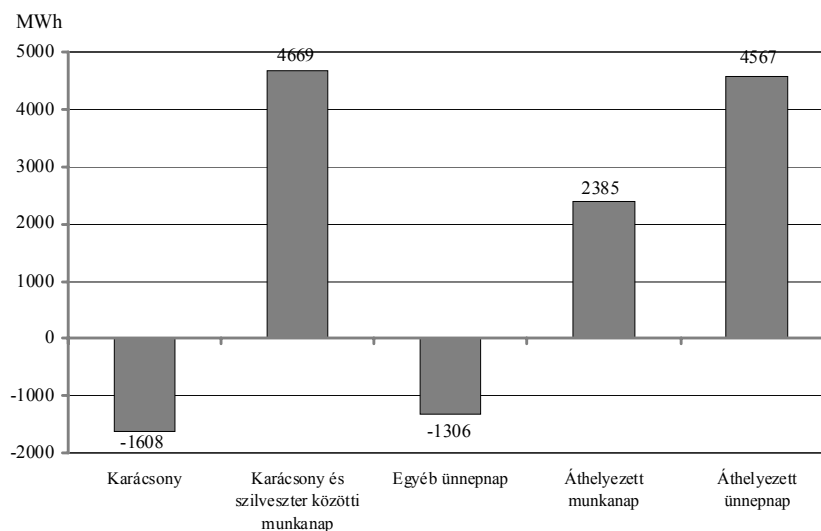
A becslés eredményei

Változó	Paraméter (MWh)	Standard hiba	p érték
trend	9	1	0,000
Nsuto	-36 584	3 762	0,000
Khom	-171	35	0,000
hetfo	12 182	193	0,000
kedd	15 195	243	0,000
szerda	15 630	264	0,000
csut	15 734	264	0,000
pent	15 006	243	0,000
szomb	5 359	193	0,000
kar	-1 608	1 142	0,159
kszilv	4 669	1 208	0,000
egyebunn	-1 306	461	0,005
atmunka	2 385	828	0,004
atunnep	4 567	819	0,000
telnyar	-8 134	1 544	0,000
inter	531	71	0,000
Konstans	92 622	1 781	0,000

8. ábra. A hét napjainak átlagos többletfogyasztása vasárnaphoz képest



9. ábra. Ünnepnapok, speciális napok átlagos fogyasztáskülönbsége vasárnaphoz képest



Egy normál vasárnaphoz képest a karácsony és szilveszter közötti munkanapok átlagosan csak 4669 MWh-val magasabb fogyasztásúak. A munkanap-áthelyezések esetében is magasabb a fogyasztás, de nem annyival, mint egy normál hétköznapot tekintve. Az ünnepnapokon (karácsony, egyéb ünnep) a vasárnaphoz képest is alacsonyabb a fogyasztás.

A trendhatás a 2003 és 2007 közötti időszakban szignifikáns volt, azaz a szezonális hatások változatlanóságát feltételezve naponta átlagosan 9 MWh-val nőtt a fogyasztás. A napkeltétől napnyugtáig tartó időszak teljes naphoz viszonyított aránya szintén szignifikáns hatást gyakorolt a fogyasztás nagyságára, ugyanúgy, mint a hőmérséklet. Ez utóbbi esetében érdemes az erre vonatkozó három változóhoz tartozó paramétert együtt áttekinteni:

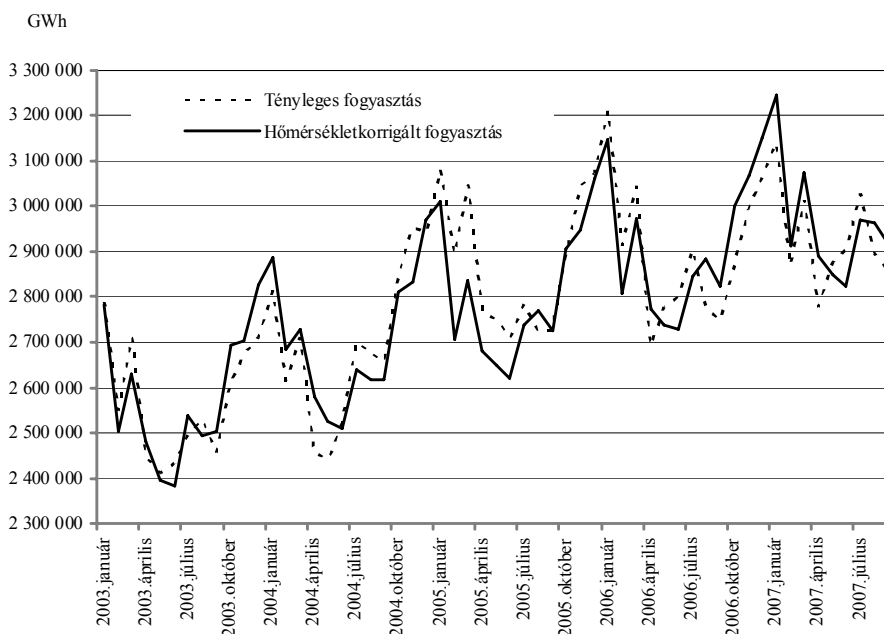
$$-171 \cdot \text{Khom} - 8134 \cdot \text{telnyar} + 531 \cdot \text{inter} .$$

A telnyar változó 0, ha szeptember–májusi időszokról van szó, ilyenkor az interakció is 0. Ebben az esetben a -171 paramétert értelmezzük, ami a hőmérséklet téli hatása: egy fokkal hidegebb időjárás átlagosan 171 MWh-val növeli a fogyasztást (a többi tényező változatlanóságát feltételezve). Nyáron az interakció értéke 1, azaz ilyenkor az átlagos fogyasztás színvonala alacsonyabb, de a hőmérséklet hatása relatíve erősebb, $-171 + 531 = 360$, vagyis minden fok 360 MWh-val növeli a fogyasztás átlagos nagyságát. (A napfokok alapján becsült meleghatás 2,7-szeres volt, a regresszió ennél kisebb, 2,1-szeres hatást mutat, de itt is igaz, hogy a melegedés hatása jóval erősebb.)

A reziduális autokorreláció értéke a hibataggal való utolsó korrekció előtt 0,749, ami az új modellben egyben a hibatag együtthatója is. Ebben a modellben a Durbin-Watson- (DW-) statisztika értéke 1,9, a magyarázóerő 82 százalékos. Ezek alapján a bevont változók nemcsak szignifikánsak és jól értelmezhetők, de együttesen is kielégítően magyarázzák a fogyasztás szóródását. A DW-statisztika szerint a reziduális autokorreláció hatását is sikerült kiszűrni. A 0,749-es értéket úgy lehet értelmezni, hogy az előző napi kiugró érték véletlen hatásának mintegy háromnegyedét átörökíti a következő napra is.

E becslés alapján készült el a hőmérsékletkorrigált fogyasztás becslése, a 10. ábra a tényleges és a korrigált fogyasztás nagyságát mutatja.

10. ábra. Havi fogyasztás 2003. január és 2007. szeptember között



2010-ben megismételtük a számításokat, amelyek nagyon hasonló eredményeket adtak, ezért ezek alapján csak a tényleges és hőmérsékletkorrigált változás adatsorát mutatjuk be a 4. táblázatban.

Látható, hogy a MAVIR által közölt fogyasztási adatok eléggé hektikusan növekednek, de ez gyakorlatilag a különböző hőmérséklet hatásoknak köszönhető. A tényleges növekedési ütem (hőmérséklettel korrigált módon) az elmúlt években átlagosan 1,6 százalékos volt, és a növekedés mértéke enyhén csökkenő tendenciát mutatott (természetesen a válság hatását leszámítva).

4. táblázat

Növekedési ütemek az előző évhez képest
(százalék)

Év	Fogyasztás	Hőmérsékletkorrigált fogyasztás
1998	0,82	1,70
1999	1,13	1,40
2000	0,67	1,88
2001	2,72	1,07
2002	1,08	1,97
2003	3,02	1,55
2004	-0,11	1,36
2005	2,80	1,74
2006	1,80	1,90
2007	1,34	1,65
2008	1,40	1,20
2009	-7,63	-7,10

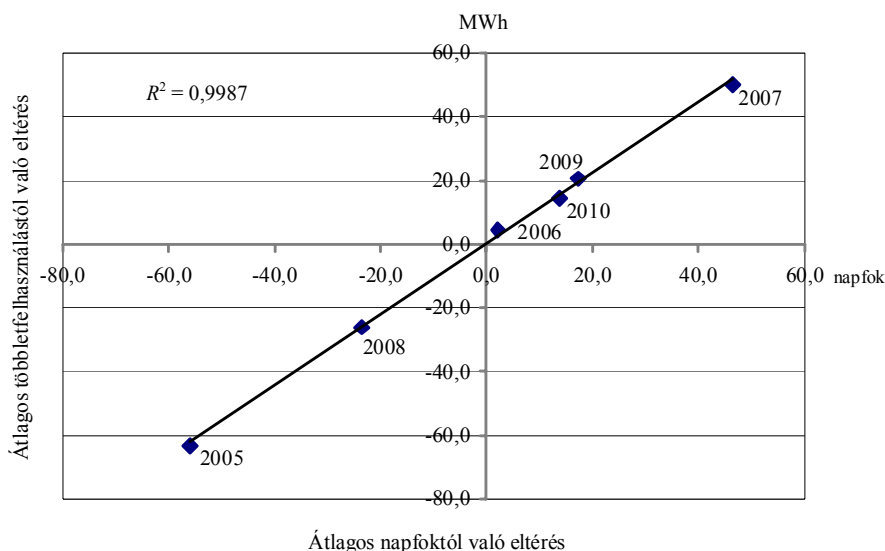
Forrás: Saját számítás.

2.2.3. Nő-e a nyári energiafelhasználás?

A napi adatok alapján történő modellezés keretében részletesen szó volt róla, hogy a villamos energia felhasználása nyáron lineáris, pozitív kapcsolatban áll a hőmérséklettel. Tanulmányunk utolsó részében ennek kapcsán még egy problémakört vizsgálunk meg. Nő-e a nyári meleg hatása a felhasznált villamosenergia-mennyiség esetében? Másképpen fogalmazva igaz-e, hogy egyre elterjedtebb a klimatizálás, és ezek miatt nő-e a nyári energiafelhasználás?

A feltett kérdésre adott válaszhoz az elmúlt hat év júliusi adatait használjuk fel, azaz összesen 186 nap átlagos középhőmérsékletét és a rendszerterhelés napi nagyságát vizsgáljuk. Az elemzést részletesen nem mutatjuk be, hiszen az elv már ismert. Számszerűsítjük hogy a felhasznált napi energia (MWh) hogyan magyarázható a hőmérséklet mellett a hét napjaival (dummy változók). Ezek után a tényleges hőmérséklet és az elmúlt 40 év átlaghőmérséklete melletti becslések különbségét képezzük. Az eddigiek alapján ez számszerűsíti, hogy mekkora volt a többletenergia-felhasználás kizárólag az átlaghőmérséklettől való eltérés következtében. A 11. ábra mutatja a júliusi napfokok (21,6 fok feletti hőmérsékletek összege) és a plusz vagy mínusz energia hatéves átlagos értéktől való eltérése közötti összefüggést.

11. ábra. A júliusi napfokok és a plusz vagy mínusz energia hatéves átlagos értékétől való eltérése közötti összefüggés



Forrás: MAVIR-adatok alapján saját számítás.

Látható, mennyire tökéletesen szabályos a lineáris kapcsolat, azaz nem igaz, hogy az elmúlt években a légkondicionálók miatt nőtt volna a felhasznált villamosenergia-mennyiség, az éppen annyi, amennyit az átlagosnál hidegebb vagy melegebb idő magyaráz. A legnagyobb júliusi fogyasztás a legmelegebb 2007. évben és legkevesebb a leghidegebb 2005-ös évben volt.

3. Következtetések

Tanulmányunkban megvizsgáltuk a gáz és villamos energia hőmérsékletfüggését, illetve bemutattuk a hőmérsékletkorrigálás módszertanát és közgazdasági felhasználási lehetőségeit.

A vizsgálatok fő statisztikai eredményei a következők.

A gáz esetében egy küszöbértékig gyakorlatilag negatívan, lineárisan függ a felhasználás a hőmérséklettől, egy bizonyos hőmérséklet felett azonban ez a kapcsolat teljesen eltűnik. A küszöbérték iterációs eljárások segítségével megállapítható módon 16 °C. A felhasznált módszertan itt a nagyon egyszerű ún. napfok volt, ami a küszöbérték alatti hőmérsékletetek összege.

A villamos energia modellezése bonyolultabb, mert felhasználása a hőmérséklet csökkenésével télen nő, nyáron csökken. Ezért regressziós technikával, egy sor kontrollváltozó mellett mutattuk ki a hőmérséklet hatását és előállítottuk a hőmérséklet-korrigált idősort.

A hőmérsékletkorrekció nem öncélú, jelentős közgazdasági alkalmazási területei vannak: az így kapott adatok reális képet adnak a gáz- vagy villamosenergia-felhasználás alakulásáról. Ezek alapján Magyarországon a gázfelhasználás jelentős csökkenése tapasztalható és várható a továbbiakban is, ami alapvető fontosságú, tekintettel az Oroszországgal kötött hosszú távú gázszállítási szerződés újrakötésének közeledő időpontjára.

A villamos energia felhasználása a hőmérsékletet kiszűrve (és a válságtól eltekintve) viszont stabilan mintegy évi 1,6 százalékkal nő, miközben a tényleges fogyasztás változása erős szóródást mutat.

Felmerülhet, hogy miért nem vizsgáljuk egyéb energiahordozók hőmérsékletfüggését. Ennek egyrészt tartalmi oka van: a kőolaj, benzin, gázolaj esetében nem mutatható ki direkt kapcsolat. Ahol ez létezik (például szén, fa), ott viszont az adatok nem elég megbízhatók a kapcsolatok kimutatására.

Elképzeléseink szerint a továbbiakban a kutatás a neurális hálós modellezéssel folytatódik majd, és a következő lépés a regressziós és neurális hálós modellek eredményeinek összehasonlítása lesz.

Irodalom

- CANCELO, J. R. – ESPASA, A. [1996]: Modelling and Forecasting Daily Series of Electricity Demand. *Investment and Economics*. 20. évf. 3. sz. 359–376. old.
- ENGLE, R. F. – MUSTAFA, C. – RICE, J. [1992]: Modelling Peak Electricity Demand. *Journal of Forecasting*. 11. évf. 3. sz. 241–251. old.
- ETO, J. H. (1988): On Using Degree-days to Account for the Effects of Weather on Annual Energy Use in Office Buildings. *Energy Buildings*. 12. évf. 2. sz. 113–127. old.
- HUNYADI L. – MUNDRUCZÓ GY. – VITA L. [1996]: *Statisztika*. Aula Kiadó. Budapest.
- LE COMTE, D. M. – WARREN, H. E. [1981]: Modelling the Impact of Summer Temperatures on National Electricity Consumption. *Journal of Applied Meteorology*. 20. évf. 12. sz. 1415–1419. old.
- PILIPOVIC, D. [1998]: *Energy Risk: Valuing and Managing Energy Derivatives*. McGraw-Hill. New York.
- Quayle, R. G. – Diaz, H. F. [1980]: Heating Degree-day Data Applied to Residential Heating Energy Consumption. *Journal of Applied Meteorology*. 19. évf. 3. sz. 241–246. old.
- SAILOR, D. J. – MUÑOZ, J. R. [1997]: Sensitivity of Electricity and Natural Gas Consumption to Climate in the USA – Methodology and Results for Eight States. *Energy*. 22. évf. 10. sz. 987–998. old.

- VARGA L. [2002]: *Mesterséges neurális hálók alkalmazása terhelési görbék középtávú előrejelzésére*. MVM közlemények. 1–2. Magyar Villamos Művek Zrt. Budapest. 88–91. old.
- VIDA M. (szerk.) [1991]: *Gáztechnikai kézikönyv*. Műszaki Könyvkiadó. Budapest.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION [2010]: *Guide to Climatological Practices*. (Third Edition.) Geneva.

Summary

The study explores time series data on economic performance related to air temperature (climate). In these cases, variations in outside temperature make it difficult to obtain a realistic account of the main processes. The paper demonstrates the impact of temperature variations on the consumption of electricity and gas, and offers methods to filter out the effect of temperature variation. It also presents a procedure to produce so-called temperature adjusted time series data. In addition to evaluating key indicators in energy use, this information is also necessary for the correct design of transportation schedules as well as for the assessment of the necessary energy to be ordered. Considerable savings can be made by the correct choice of methodology. The paper describes the traditional methods using degree-day techniques and their versions improved by the author using regression methods.