

# PIACI ERŐ AZ ÁRAMTERMELŐ PIACON\*

## Eredmények az egyensúlyi modellezés területéről

Az árampiacok deregulációja óta eltelt 25 évben gazdag irodalma alakult ki az erőművek viselkedését vizsgáló elemzéseknek. E sokirányú irodalomból tanulmányunk a nem kooperatív játékelméleti megközelítésű modellek áttekintését tekinti feladatának. Vázlatosan ismertetjük az árampiacok leírására alkotott oligopólium- és aukciós modellek eredményeit és a modellek gyakorlati alkalmazásával szerzett tapasztalatokat.

### BEVEZETÉS

A szakirodalmi áttekintést megelőzően érdemes összefoglalnunk a villamosenergia-piac azon jellegzetességeit, amelyek együttesen kedvező feltételeket teremtenek az erőfölényes helyzetek kialakulására.

Az erőművek piaci ereje részben a villamosenergia-kereskedelem fizikai infrastruktúrájával függ össze. A villamos energia szállítása az erőműveket, a fogyasztási központokat és az egyes földrajzi régiókat összekötő nagyfeszültségű távvezeték-hálózatán keresztül történik. A régiók közötti távvezetékrendszer kiépítettsége lényegesen befolyásolja az erőművek közötti verseny szerkezetét, hiszen meghatározza, hogy az egyik régió vállalatai potenciálisan mekkora kínálatot tudnak megjeleníteni a másik régió piacán. Ahol gyengék a távvezetékek-összeköttetések, ott a szomszédos régió vállalatai felől érkező versenynyomás gyengesége miatt a versenykorlátozó magatartások megjelenésének esélye is nagyobb lesz. Az európai kontinensen a hálózati kapacitásszűkösség tipikusan – bár nem minden esetben – az országhatárokon átnyúló vezetéseken jelentkezik. Bár az Európai Unió az elmúlt 15 évben jelentős erőfeszítéseket tett a tagállamok árampiacainak integrációja érdekében, részben éppen az országhatárokon átnyúló távvezeték-összeköttetések gyengeségei miatt nem beszélhetünk még ma sem „egységes” európai árampiacról.<sup>1</sup>

Az inkumbens erőművek piaci erejéhez a magas belépési korlátok is hozzájárulnak. Az új erőművek létesítőinek magas beruházási költségekkel és hosszas enge-

\* A tanulmány az OTKA 105435. számú projektjének támogatásával készült.

<sup>1</sup> Természetesen már ma is vannak az Európai Unión belül olyan országcsoportok, amelyek esetében a teljes piaci integráció infrastrukturális feltételei biztosítottak. A piaci integrációnak a fizikai szállítókapacitások elégségessége mellett természetesen más feltételei is vannak. Ilyenek például a szomszédos piacok kereskedelmi rendszereinek a harmonizációja vagy a határkeresztezés átviteli kapacitások piacokonform allokációja.

délyeztetési eljárásokkal kell szembenézniük. A többi nagyerőművi technológiához képest a gázturbinás erőművek – például nyílt vagy kombinált ciklusú gázturbinás erőmű – létesítése jár a legkisebb költséggel: részben a tipikusan kisebb üzemméret és az alacsonyabb egységnyi beruházási költségek miatt. A projekt tervezésétől az erőmű kereskedelmi üzemének megkezdéséig tartó teljes fejlesztési folyamat azonban még egy új gázturbinás erőmű esetében is közel két évet vesz igénybe. Más nagyerőművi technológiával létesülő erőművek (szénerőmű, vízerőmű, atomerőmű stb.) fejlesztési ideje pedig ennek a többszöröse.

A villamosenergia-piac egy további, a piaci erő tekintetében is releváns tulajdonsága a kereslet alacsony ár rugalmassága. Ennek az is oka, hogy a háztartások és az intézmények áramszámláját tipikusan az átlagár alapján állítják ki, és a fogyasztók emiatt nem reagálnak a rövid távú árváltozásokra. A villamosenergia-intenzív iparágakban működő vállalatok között természetesen vannak olyanok, amelyek az azonnali piacról vásárolják az áramot, vagy esetleg olyan ellátási szerződéssel rendelkeznek, amely az azonnali árártól teszik függővé a fizetendő árat. Ezeknek a szereplőknek a villamosenergia-felhasználása minden bizonnyal reagál a villamosenergia-piac rövid távú árváltozásaira is. A fejlett gazdaságokban azonban az ipari felhasználók között is inkább azok vannak többségben, amelyek a villamosenergia-költségeik relatíve alacsony szintje és/vagy a gyártási technológiájuk által támasztott korlátok miatt nem igazán akarnak/tudnak reagálni a rövid távú árváltozásokra.

Az erőművi áramtermelés fontos technológiai jellemzője a termelőegységek kapacitásnagysága. Az erőmű beépített kapacitása effektív módon korlátozza, hogy mennyi villamos energiát tud megtermelni egy adott időperiódus alatt. A termelői kapacitáskorlátok azért nagyon fontos alakítói az árampiaci versenyviszonyoknak, mert ipari méretű tárolási technológia hiányában és az áramkereslet rugalmatlansága mellett a rövid távú árampiaci egyensúly szinte teljes egészében a termelői oldal alkalmazkodásán keresztül valósul meg. Más szóval, ha hiány lép fel az árampiacon, akkor a kereslet-kínálat egyensúlyát csak az áramtermelés növelése révén lehet helyrebillenteni. Minél szűkösebb az erőművi kínálat egy adott piacon egy adott időszakban, annál nagyobb az esélye annak, hogy egy vagy több áramtermelő vállalat a „kulcsszereplő” (*pivotal supplier*) pozíciójába kerül. Azaz olyan szereplővé válik, amelyeknek a kapacitásaira – vagy azok egy részére – mindenképpen szükség van a kereslet kielégítéséhez. Ilyen helyzetek nagyobb eséllyel fordulnak elő a magas villamosenergia-keresletű időszakokban, vagyis például a napi, szezonális vagy az éves csúcsgények jelentkezése idején, vagy akkor, amikor valamilyen sokk éri a kínálatot, például váratlan erőművi vagy hálózati kiesések formájában. A kulcsszereplő vállalat monopolistaként viselkedhet a számára jelentkező kereslet azon része felett, amelyet a piac többi termelője kapacitáskorlátaik következtében nem képes kielégíteni.

Az árampiaci versenyre az iparági és piacszerkezeti jellemzők mellett a piacszervezés módja is hatással van. A nagykereskedelem centralizáltságának foka alapján

megkülönböztetünk szervezett másnapi nagykereskedelmen (központosított, *pool* típusú), illetve „bilaterális” alapon működő árampiacokat.

Az előbbi piacszervezési modell elsősorban az árampiacok liberalizálásában élenjáró angolszász országokban terjedt el.<sup>2</sup> A központosított (*pool*) piacokon a teljes fizikai áramkereskedelem a rendszerirányító közvetítésével, az általa szervezett másnapi piacon zajlik. Az erőművek teljes termelésüket a másnapi piacra ajánlják fel a *pool* szabályrendszere által meghatározott módon, a szolgáltatók pedig teljes keresletüket innen fedezik. A rendszerirányító az eladói és vételi ajánlatok aggregálásával és szembeállításával állapítja meg a másnapi egyensúlyi árakat – az elszámolási időintervallum hosszától függően – a következő nap óráira, félórára vagy negyedórára vonatkozóan. A termelők és a szolgáltatók az árkockázatok ellen kétoldalú pénzügyi szerződésekkel – esetleg vertikális integrációval – védekezhetnek. A központosított (*pool*) piacokat a termelők viselkedésének nagyfokú transzparenciája jellemzi. Az egyensúly ár mellett a *poolok* általában publikálják, illetve historikusan visszakereshetővé teszik az egyéni erőművi ajánlatokat is.

A *bilaterális alapon* működő árampiacokon a fizikai kereskedelem domináns formáját a kétoldalú hosszú távú adásvételi szerződések jelentik. Az ármeghatározás fő színterét azonban ebben a modellben is másnapi termékeket forgalmazó *áramtőzsdék* jelentik. (A teljes fizikai forgalmon belül a másnapi termékek<sup>3</sup> részesedése 10-20 százalék körül mozog.) Bár a tőzsdépiac transzparenciája kisebb a központosított (*pool*) piacokénál, az áramtőzsdék is nagyon sok kereskedelemre vonatkozó információt hoznak nyilvánosságra. Az egyensúlyi árak és mennyiségek mellett majdnem minden tőzsde publikálja például az árverésre benyújtott egyéni eladási és vételi ajánlatokból képzett kínálati és keresleti görbéket.<sup>4</sup> A fentieket összefoglalva megállapíthatjuk, hogy a másnapi villamosenergia-piac olyan centralizált piac, ahol a kereskedelem jól definiált szabályrendszer alapján (egységesített ajánlatadási protokoll, formalizált ármeghatározás), napi ismétlődéssel és a szereplők viselkedésének nagyfokú transzparenciája mellett zajlik.

A következőkben röviden áttekintjük az árampiacok közgazdasági modellezésének főbb irányzatait. Ezt követően térünk rá a tanulmány központi témájára, az egyensúlyi árampiaci modellek részletes ismertetésére.

<sup>2</sup> *Pool* rendszerű árampiacot hoztak létre többek között Ausztráliában, Angliában és Walesben, Kaliforniában, Új-Angliában és Új-Zélandon.

<sup>3</sup> A másnapi termékek lehetnek a következő nap egyes óráira (félórára) vonatkozó szállítások vagy az úgynevezett blokktermékek, ahol a szállítás időtartama több egymást követő órára vonatkozik. A két leggyakoribb blokktermék a csúcsidei és a zsinórszállítás. Az előbbi reggel 8-tól este 8-ig, az utóbbi 0 órától 24 óráig tartó szállítást jelöl.

<sup>4</sup> Vannak olyan áramtőzsdék, ahol az eredményhirdetést még ennél is részletesebb adatközlés jellemzi. Például az olasz áramtőzsde az összes beérkezett ajánlatot nyilvánosságra hozza, beleértve az ajánlattevők személyét is.

## MODELLEZÉSI IRÁNYOK AZ ÁRAMPIACOK VISELKEDÉSÉNEK KUTATÁSÁBAN

Az erőművek viselkedésével kapcsolatos mikroökonómiai kutatások egyidősek a villamosenergia-szektor liberalizációjával. Az elmúlt 25 évben három jól elkülöníthető modellezési megközelítés alakult ki az erőművi viselkedés és az árampiaci folyamatok leírására (*Li és szerzőtársai* [2011], *Ventosa és szerzőtársai* [2005]). Ezek:

- az egyvállalatos optimalizációs modellek,
- a nem kooperatív egyensúlyi modellek és
- az ágensalapú modellek.

E három modellezési irányzat elemzési módszereiben és elemzési kérdéseiben is különbözik egymástól. Az egyvállalatos optimalizációs modellek egyértelműen vállalati döntéshozatali célokat szolgálnak: a vállalat profitmaximalizálását vizsgálják technikai és gazdasági korlátok széles halmaza mellett. Ezek a modellek nagy hangsúlyt helyeznek a vállalat termelési technológiájának valóságghű reprezentációjára, ugyanakkor a vállalat piaci környezetét (a versenytársak viselkedését, az árak alakulását) exogén módon kezelik. Matematikai kezelhetőségük miatt az egyvállalatos optimalizációs modellek bonyolult (egyéni) döntési problémák vizsgálatára alkalmasak, és így felhasználhatók részletes rövid távú ajánlatadási stratégiák kidolgozására.

Az egyensúlyi vagy játékelméleti árampiaci modellek középpontjában az erőművek stratégiai viselkedése és annak jóléti következményei állnak. Fő kérdésük az, hogy az erőművek milyen mértékben képesek stratégiai ajánlattétellel megemelni az árakat, s hogy e képességüket hogyan befolyásolják az iparág strukturális jellemzői. Az árampiacok modellezésének egyik sarkalatos kérdése az ajánlatadási szabályok meghatározása. A tradicionális oligopólium-modellektől eltérően az árampiaci modellekben a vállalatok döntési változója általában nem pusztán az ár vagy a mennyiség, hanem egy „kínálati függvény”, ami a választott modellezési megközelítéstől függően lehet diszkrét vagy folytonos. A játékelméleti árampiaci modellek fő hátrányát matematikai bonyolultságuk jelenti. Zárt alakú megoldások csak egyszerű példákra léteznek, a bonyolultabbakra pedig sokszor még az egyensúly(ok) létezésére vonatkozó egzisztenciátételek bizonyítása is nehézségekbe ütközik.

A villamosenergia-piacok elemzésének harmadik, gyorsan terjedő megközelítése az ágensalapú modellezés. Az adaptív viselkedésen alapuló megközelítés alkalmazásának indokai között említhetjük a piaci környezet komplexitását és a naponta ismétlődő interakciókat. Az ágensalapú megközelítést erősítik továbbá az egyensúlyi modellezés korlátai is. Az ágensalapú modellek leggyakrabban a piaci erővel, illetve a különböző árverési módszerek teljesítményének összehasonlításával foglalkoznak. A legtöbb kritika ezt az elemzési módszert a viselkedési feltevések megalapozottságával és a modell empirikus tesztelhetőségével kapcsolatban éri.

## EGYENSÚLYI ÁRAMPIACI MODELLEK

A nem kooperatív játékelméleti árampiaci modelleket a verseny természetére vonatkozó feltevésük szerint három csoportba oszthatjuk: a Cournot-, a kínálatfüggvény-egyensúly- és az aukciós modellek csoportjába. Az árampiaci Cournot-verseny alkalmazásokban a klasszikus modellnek megfelelően az erőművek mennyiségekkel versenyeznek. A kínálatfüggvény-egyensúlyi modellekben az erőművek folytonos kínálati függvényt határoznak meg. Végül, az árampiaci aukciós modellekben az erőművek ajánlata véges számú ár–mennyiség kombinációra vonatkozó licitből áll. Az ajánlat formája tehát ebben az esetben is egy „kínálati függvény”, azonban míg a kínálatfüggvény-egyensúlyi modellben ez folytonos, addig az aukciós modellekben lépcsőzetes, azaz véges számú vízszintes szakaszból áll.

- ♦ Az árampiaci modelleket esetenként mint oligopólium *versus* aukciós modellekként is szokták csoportosítani, az előbbihez sorolva a Cournot- és a kínálatfüggvény-egyensúlyi modelleket. Ez az osztályozás azonban nem ellentmondásmentes. Egyfelől azért, mert a Cournot- és a kínálatfüggvény-egyensúlyi modellek is csak egy „fiktív árverező” jelenlétével tudnak számot adni az ár meghatározás mikéntjéről. Másfelől pedig, az árampiacok aukciós irodalmában is találunk olyan modelleket, amelyek közvetlenül megfeleltethetők valamilyen oligopólium-modellnek. Például az egylicites ajánlati áras aukció kapacitáskorlátos eladókkal nem más, mint egy – egyébként árverező nélkül is „működő” – Bertrand–Edgeworth-játék (*Hu és szerzőtársai* [2010]).

Mielőtt rátérünk az egyes modellek ismertetésére szeretnénk kiemelni az árampiaci egyensúlyi modellek egy általános jellegzetességét. Minden standard modell a szakirodalomban arra feltevésre épül, hogy a vállalatok tökéletesen informáltak egymás határkölteégeit illetően. Az árampiac esetében ezt a felvetést a következőkkel szokták indokolni. Az áramtermelés rövid távú határköltegeit lényegében két tényező határozza meg: a tüzelőanyagár és az alkalmazott energiaátalakítási technológia hatásfokgörbéje.<sup>5</sup>

Tipikusnak mondható, hogy a fejlett árampiaccal rendelkező országokban az erőművi tüzelőanyagok árát (is) ezen energiahordozók tőzsdei kereskedése határozza meg, s ennek köszönhetően a vállalatok egyéni beszerzési árai között nincsen számottevő különbség. Az egyes erőművek, erőművállalatok energiaátalakítási hatásfokának a becslése sem jelent túl nehéz feladatot. Ez részben annak köszönhető, hogy az egykor szoros állami szabályozás alatt működött erőművi szektorban

<sup>5</sup> Az áramtermelés változó működési és karbantartási költségei általában nem jelentősek. Az Európai Unió országaiban a fosszilis erőművek rövid távú termelési költségeihez hozzáadódik egy további tétel: a szén-dioxid-kibocsátási kvóták használdozati költsége. Az egységes európai kvótapiacra azonban minden erőmű ugyanakkora szén-dioxid-kvótaárral számolhat.

elég sok publikus információ áll rendelkezésre a vállalatok kapacitásállományáról. A versenytársak így kölcsönösen ismerhetik egymás erőműveinek leglényegesebb műszaki paramétereit, például a kapacitásméretet, a technológiát és az üzembeállítás időpontját. Ennyi információ birtokában már viszonylag jó becslést lehet adni egy erőművi egység átlagos hatásfokára. A tüzelőanyag beszerzési árát ezzel elosztva pedig megbecsülhető a villamosenergia-termelés egységköltsége is az adott erőműben.<sup>6</sup> Végül, az egyedi erőművi adatok összegzésével a vállalati szintű határköltséggörbék is megbecsülhetők.

### Cournot-verseny alapú modellek

A Cournot-modell alkalmazása az árampiaci verseny leírására természetes választásnak tűnik, hiszen a villamos energia homogén termék, az áramtermelő erőművek kapacitáskorlátosak és a piacon az ármeghatározás aukciós rendszerben történik. Az árampiaci versenyt elsőként *Borenstein–Bushnell* [1999] vizsgálta a Cournot-modell segítségével. A szerzők a kaliforniai árampiacot modellezték, arra keresve választ, hogy vajon az árampiaci dereguláció megvalósulását követően a nagy erőművállalatok képesek lesznek-e piaci erejükkel visszaélni.

- ♦ Az Egyesült Államokban Kalifornia az elsők között fogott hozzá a villamosenergia-szektor átalakításához és a termelők közötti verseny bevezetéséhez. A szektor átstrukturálásnak fontos elemét képezte a szolgáltatóktól tulajdonosilag független erőművi szektor létrehozása, amelyet az erőművek inkumbens szolgáltatókról történő leválasztása és magánkézbe adása révén valósítottak meg. Az átviteli hálózati eszközök a szolgáltató vállalatok tulajdonában maradtak, de a hálózat működtetését és a hálózathoz való diszkriminációmentes hozzáférés biztosítását egy, a többi piaci szereplőtől irányítás szempontjából független szervezetre az úgynevezett független rendszerirányítóra (*Independent System Operator, ISO*) bízták. És végül, létrehozták a *poolt*, vagyis azt a kötelező részvételű, szervezett másnapi nagykereskedelmi piacot, amelynek egyik oldalán az erőművek, a másikon pedig a szolgáltatók álltak. (Más piac nem is állt a szereplők rendelkezésére, mert a kaliforniai liberalizációs szabályok sajátos módon még a pénzügyi adásvételi szerződések megkötését is megtiltották.)

A kaliforniai villamosenergia-piac esetében a piaci erő kérdése a szokásosnál is élesebben vetődött fel. A piacot ugyanis már a piacnyitás 1998-as bevezetését megelőzően is komoly egyensúlytalanság jellemezte: a termelőkapacitások fejlesztése évek

<sup>6</sup> Az erőművi szinten konstansnak tételezett határköltség persze csak a valós költségviszonyok közelítésének tekinthető. Egy fosszilis erőmű esetében az energiaátalakítás hatásfoka jelentősen változhat az erőmű terheltségének függvényében. Az erőmű minimum teljesítményétől a maximum teljesítménye felé haladva az áramtermelés hatásfoka tipikusan nő, de csökkenő mértékben, ami így emelkedő határköltséget eredményez.

óta nem tudott lépést tartani a dinamikus növekvő fogyasztással. A szükséges új kapacitások kiépülését részben a piacnyitás okozta bizonytalanság, részben a rendkívül szigorú és hosszadalmas környezetvédelmi engedélyeztetési eljárások gátolták.

*Borenstein–Bushnell* [1999] olyan kompetitív szegéllyel kiterjesztett Cournot-versenyt alkalmaz a kaliforniai árampiac leírására, amelyben a szakmai befektető által irányított erőművállalatok<sup>7</sup> a Cournot-feltevés szerint, az önkormányzati tulajdonban lévő kisebb erőművállalatok és az importőrök pedig árelfogadóként viselkednek. A szomszédos államok villamosenergia-ipari vállalatai kapcsán a szerzők kifejtik, hogy azok egymagukban nem elég nagyok ahhoz, hogy képesek legyenek a piaci folyamatok befolyásolására Kaliforniában. A kompetitív szegéllyel kibővített oligopolpiacon a Cournot-versenyzők összesített reziduális kereslete a teljes piaci kereslet és a versenyző szegély aggregált kínálatának különbségével egyezik meg.

Az elméleti modell gyakorlati alkalmazásához a szerzőknek az erőművállalatok költségfüggvényeit és a fogyasztók keresleti függvényét kellett megbecsülniük. A vállalati szintű határköltség függvényeket erőművi szintű költségbecslésekből építették föl. Első lépésben az erőművi egységek szintjén konstansnak vett egyedi erőművi határköltségeket becsülték meg a historikus hatásfok- és tüzelőanyagköltség-adatok felhasználásával. Második lépésben az egyedi erőművi határköltségfüggvények aggregálásával előállították a (lépcsőzetesen emelkedő) vállalati határköltségfüggvényeket. A kompetitív szegély aggregált határköltséggörbójét is ezzel a módszerrel becsülték. Az áramfogyasztók aggregált keresletét a szerzők állandó árrugalmasságú keresleti függvénnyel reprezentálták. Az árrugalmasság értéke szerint három (0,1, 0,4 és 1), a keresleti állapotok tekintetében pedig összesen 24 forgatókönyvet (négy hónap hat-hat óráját) vizsgálták. A 24 keresleti állapothoz tartozó keresleti függvényt múltbeli fogyasztás/ár megfigyelések alapján horgonyozták le.

A számszerűsített Cournot-modell egyensúlyának meghatározására a szerzők iterációs eljárást alkalmaznak, amiben egyszerre mindig egy Cournot-vállalat profit-maximalizáló kibocsátását keresik, változatlanul hagyva a többi Cournot-vállalat outputdöntését. Ezt az eljárást addig ismétlik, ameddig meg nem találják azt outputoknak azt a kombinációját, ahonnan egyik vállalatnak sem érdemes eltérnie. A szerzők megjegyzik, hogy az általuk specifikált modellben a Nash-egyensúly egyértelműsége sajnos nem áll fenn. Ez a kompetitív szegély kínálatának lépcsőzetes alakjával magyarázható. Ez ugyanis vízszintes szakaszokat generál a Cournot-vállalatok reziduális keresleti függvényében, ami viszont szakadásokhoz vezet a Cournot-vállalatok határbevételi függvényében. A szerzők leírása szerint azokban a modellfuttatásokban, amelyek több Nash-egyensúlyi megoldáshoz vezettek, mindig volt Pareto-domináns

<sup>7</sup> Pacific Gas and Electric, Southern California Edison, és San Diego Gas and Electric.



megoldás.<sup>8</sup> Többszörös Nash-egyensúly esetén a szerzők a Pareto-domináns egyensúlyt választották előrejelzésként.

A modellszámítások eredményeit mind a keresleti szint nagysága, mind a kompetitív szegély kínálata, mind pedig a keresleti függvény választott ár rugalmassági értékei lényegesen befolyásolják. Egységnyi ár rugalmasság mellett a Cournot-vállalatok nagyon csekély piaci erővel rendelkeznek: a Cournot-egyensúlyhoz tartozó árak még a legmagasabb havi keresleti órákban sem szignifikánsan magasabbak a marginális termelő határkölségénél. Az áramkereslet rövid távú ár rugalmassága azonban ennél lényegesen kisebb, ezért az erőművek valóságos piaci erejének megítélése szempontjából inkább a 0,1 és 0,4 rugalmasságú értékekre kapott eredmények érdemelnek több figyelmet. Az alacsonyabb rugalmassági értékekkel végzett modellszámítások már vegyes képet mutatnak. A Cournot-verseny eredményeként kialakuló árak az alacsony keresleti órákban továbbra is nagyon közel esnek ahhoz az értékekhez, amit a tökéletesen verseny körülményei között kapnánk. Egészen más a helyzet viszont a havi fogyasztási csúcsok időszakában, amikor a Cournot-verseny eredményeként kialakuló ár a marginális termelő határkölségének 100-szorosát is elérheti. A csúcsidező órákban a Cournot-vállalatok piaci erejét nemcsak a magas kereslet, hanem a kompetitív szegély kínálatának ár rugalmatlansága is fokozza. Ezekben az órákban a versenyzői szegélyhez tartozó erőművek ugyanis kapacitásaik maximumán termelnek, vagyis már nem reagálnak az árak felfelé irányuló mozgására. Ellenben az alacsonyabb keresleti órákban a versenyzői szegély kínálata nem teljesen ár rugalmatlan, és ezért a Cournot-versenyzők számára jelentkező kereslet ár rugalmassága is nagyobb.

Az egyik legerősebb kritika a Cournot-moddal gyakorlati alkalmazásával szemben az, hogy az eredmények nagyon érzékenyek a kereslet ár rugalmasságára vonatkozó feltevésre. A Cournot-moddal ez a „gyengesége” *Borenstein–Bushnell* [1999] eredményeiben is visszatükröződik. Vegyük például a szeptemberi csúcsidezőt reprezentáló keresleti állapotot! Ebben a keresleti órában a kereslet ár rugalmasságának 0,1-ről 0,4-re való növelésével a modell árelőjelzése a megawattóránkénti 4900 dollárról 90 dollárra csökken. Erre reflektálva a szerzők maguk is fontosnak tartják megjegyezni, hogy az általuk végzett szimulációk főként kvalitatív következtetések levonására nyújtanak lehetőséget. Szerintük a Cournot-moddal alapuló piacelemzésre leginkább mint egy olyan „szűrőeszközre” érdemes tekinteni, ami segíthet azoknak a piaci helyzeteknek az azonosításában, amelyekben jó eséllyel számíthatunk a piaci erő megjelenésére.

A kaliforniai erőművek piacnyitás utáni versenyét vizsgáló *Borenstein–Bushnell* [1999] jól látta előre az erőművek piaci erejéből fakadó veszélyeket. A nagykeres-

<sup>8</sup> Érdemes megjegyezni, hogy ha a kompetitív szegély kínálati függvénye lépcsős, akkor a kompetitív szegéllyel kibővített Cournot-moddal nem garantálható a tiszta Nash-egyensúly létezése (*Paizs–Mészáros* [2003]).



kedelmi piac 1998-as deregulációját követő néhány évben a nagy erőművállalatok valóban rendszeresen visszaéltek a piaci erejükkel. Ennek piaci hatásai különösen az áramkereslet 2000 nyarán bekövetkező ugrásszerű növekedésével váltak súlyossá. Az árak átlagosan a korábbi árszintek ötszörösére nőttek, egyes órákban pedig elérték a megawattóránkénti 750 dolláros hatósági ársapkát is (*Puller* [2007]). Mindez annak ellenére következett be, hogy az erőművi szektor tulajdonosi struktúrájának 1998-ban és 1999-ben történő átalakításával a piac koncentrációja a *Borenstein–Bushnell* [1999] által vizsgált állapothoz képest jelentősen csökkent.<sup>9</sup>

*Borenstein–Bushnell* [1999] előretékintő elemzése mellett számos visszatekintő elemzés is készült a kaliforniai árampiaci eseményekről. A *Borenstein–Bushnell* [1999] módszerhez nagyon hasonló eljárást követve, *Puller* [2007] azt vizsgálta, hogy az 1998. július 1. és 2000. november 30. közötti napokon megfigyelt délután 5 és 6 óra közötti órás nagykereskedelmi árak melyik egyensúlyi modellel írhatók le jobban, a tökéletes vagy a Cournot-féle versennyel. Az oligopolárak szimulációjához *Puller* [2007] is egy kompetitív szegéllyel kiterjesztett Cournot-modellt alkalmazott, és az erőművi költségfüggvényeket is a referenciatanulmány módszeréhez hasonlóan becsülte meg, de természetesen ehhez nem előrejelzéseket, hanem tényadatokat használt. Ugyanakkor *Puller* [2007] tanulmányban az órás keresleti függvények tökéletesen rugalmatlanok az árra, azaz a Cournot-versenyzők összesített reziduális függvényének árrugalmassága kizárólag a versenyzői szegély kínálatának árrugalmasságából fakad. További eltérés, hogy a *Puller* [2007] által vizsgált modellben a piac fragmentáltabb: a stratégiaileg viselkedő vállalati szegmenst nem három, hanem öt vállalat alkotja, tükrözve a tulajdonosi struktúrában *Borenstein–Bushnell* [1999] tanulmányának keletkezése után bekövetkezett változásokat. A szerző azt találja, hogy a Cournot-modell alapján számolt árak átlagosan 3,28 dollárral, a tökéletes verseny alapján kalkulált árak pedig átlagosan 16,22 dollárral tértek el a megfigyelt áráktól. *Puller* eredményei azt mutatják tehát, hogy a Cournot-modell elég pontosan írta le a kaliforniai árampiac viselkedését a vizsgált időszakban. Az egyedi vállalati szinten azonban már nem volt ennyire egyértelmű a kép: egyes vállalatok viselkedése egybevágott a Cournot-modell előrejelzésével, másoké viszont nem. Lényegében ugyanazeket az eredményeket kapták a *Puller*éhoz hasonló elemzési módszert, de a vizsgálatához részben más megfigyeléseket<sup>10</sup> használó *Bushnell és szerzőtársai* [2008] is.

A fentiekén kívül számos olyan tanulmány említhető, amely egy-egy ország árampiacának viselkedését számszerűsített Cournot-moddellel vizsgálta. Például *Paizs–Mészáros* [2003] a magyar, *Moselle és szerzőtársai* [2006] holland, *Ahn–Niemeyer* [2007] pedig a koreai villamosenergia-piac viselkedését elemezték Cournot-moddellel. Ezeknek és a fentebb idézett tanulmányok közös vonása, hogy elméleti hátterüket

<sup>9</sup> A kaliforniai „áramválság” szélesebb összefüggéseiről lásd *Sugár* [2012] tanulmányát.

<sup>10</sup> *Bushnell és szerzőtársai* [2008] az összehasonlító elemzéshez az 1999. június 1. és szeptember 30. közötti órás nagykereskedelmi áradatokat használta.

egyországos modellek jelentik. Az egyországos modellezési keret hátránya, hogy az ilyen modellben a nemzetközi kereskedelem csak erősen leegyszerűsített módon vehető figyelembe. A szomszédos országok felől érkező áram kínálatát az alkalmazott árampiaci modellek többnyire a versenyzői szegély kínálatával analóg módon, azaz egy költségfüggvénnyel reprezentálják. Ez a megoldás olyan piacok esetében tekinthető elfogadhatónak, ahol a nemzetközi kereskedelem csekély szerepet játszik a belföldi piaci folyamatok alakításában (például az ország földrajzi elszigeteltségéből adódóan).

Amikor a szomszédos országok árampiacait jelentős távvezeték-összeköttetések és szoros kereskedelmi kapcsolatok fűzik egymáshoz, akkor az erőművek viselkedésének modellezésénél nem lehet eltekinteni a verseny regionális természetétől. Ennek leírásával foglalkoznak a többszágos árampiaci Cournot-modellek. Ezekben a modellekben a piacok földrajzi struktúráját csomópontokból és a csomópontokat összekötő vezetékekből álló hálózatként jelenítik meg. Az egy ország (vagy nagyobb régió) árampiacát reprezentáló csomópontokban elhelyezkedő termelők és fogyasztók szállítási korlátok nélkül kereskedhetnek. A csomópontok közötti kereskedelem volumene viszont nem haladhatja meg csomópontokat összekötő vezetékek szállítóképességét. A többszágos modellben a csomópontok egyensúlyi árai és a nemzetközi áramlások alakulása között szoros összefüggés van: a vezetékeken kialakuló torlódások az árak térbeli differenciálódásához vezetnek. A többszágos árampiaci Cournot-modellek matematikailag bonyolultak, megoldásuk az egyszerű egyországos modellekéhez képest jóval összetettebb problémát jelent. Ennek tárgyalása meghaladja a jelen írás kereteit. A többszágos árampiaci oligopóliummodellekkel kapcsolatos módszertani kérdésekről jó áttekintést nyújt *Neuhoff és szerzőtársai* [2005].

### Kínálatifüggvény-verseny alapú modellek

A legfőbb kritika a Cournot-verseny alapú árampiaci modellekkel szemben az, hogy a valós árampiacokon az erőművek viselkedését nem mennyiségi verseny jellemzi. Az azonnali áram értékesítésére szolgáló árveréseken a termelők ár–mennyiség kombinációk formájában nyújtják be a másnapra vonatkozó ajánlataikat. A rövid távú áramszállítások piacain az erőművek tehát nem mennyiségeket, hanem kínálati függvényeket állapítanak meg.

A kínálatifüggvény-verseny elmélet alapjait *Grossman* [1981], *Hart* [1985] és *Klemperer–Meyer* [1989] fektették le. Elsőként *Klemperer–Meyer* [1989] világított rá arra, hogy vannak olyan piaci helyzetek, amelyekben az oligopolisták jobban járnak, ha nem egy árat vagy mennyiséget, hanem inkább egy kínálati függvényt határoznak meg. A szerzők példának a bizonytalan piaci keresletet hozzák fel. Ha a piaci kereslet bizonytalan, akkor a vállalat reziduális keresleti görbéjének elhelyezkedését és vele együtt a profitmaximalizáló termelési mennyiségét a keresleti sokk mozgatja. Ezért,

ha a vállalat *ex ante* csak egy mennyiségről (vagy árról) dönthet, akkor a döntése *ex post* bizonyosan nem lesz optimális. Ellenben, ha a döntési változója egy függvény, akkor olyan ajánlati görbét konstruálhat, amely a keresleti sokk minden lehetséges értékéhez a profitot maximalizáló termékmennyiséget rendel. Ez azért kivitelezhető, mert a tiszta stratégiát játszó vállalatok ismerik egymás (egyensúlyi) ajánlati görbéit, és így a profitmaximalizáláshoz szükséges egyedi reziduális keresleti görbéjüket a keresleti sokk bármely értékére meg tudják határozni.

*Klemperer–Meyer* [1989] alapmodellje egy homogén termékes, lineáris keresletű, szimmetrikus oligopólium, lineáris határkölségű vállalatokkal. A sztochasztikus keresleti függvényben a sokk jelenlétét jelző változó additív módon jelenik meg. A szerzők bizonyítják, hogy amennyiben ez a változó tetszőlegesen nagy értéket vehet fel, akkor a játéknak egy tiszta Nash-egyensúlya van, ami szimmetrikus, és amelyet lineáris kínálati függvények valósítanak meg. A gyakorlati szempontból érdekesebb esetben, amikor a sokkot jelző változó értéke véges tartományban mozoghat, a játéknak végtelen sok szimmetrikus tiszta Nash-egyensúlya van. (A játéknak ebben az esetben sincsen aszimmetrikus egyensúlya.) A kínálatifüggvény-egyensúlyok valamely keresleti állapothoz tartozó egyensúlyi árai közül a legalacsonyabb megegyezik azzal, amit a Bertrand-verseny, a legmagasabb pedig azzal, amit a Cournot-verseny eredményezne abban az esetben, ha a vállalatok a keresleti állapot ismeretében a Bertrand-, illetve a Cournot-versenyt játszanák. Ha a vállalatok stratégiahalmazát a lineáris kínálati függvények halmazára korlátozzuk, akkor a játéknak egy tiszta Nash-egyensúlya van.

A kínálatifüggvény-verseny modelljében a végtelen sok Nash-egyensúly intuitív módon a következőképpen magyarázható. Az egyszerűség kedvéért vegyük azt az esetet, amikor a vállalatok határkölsége konstans. Ha a vállalat versenytársai vízszintes kínálati görbéket határoznak meg, azaz Bertrand-féle stratégiát követnek, akkor a vállalat számára jelentkező reziduális kereslet végtelenül rugalmas lesz, következésképpen a vállalat számára is a Bertrand-féle stratégia lesz optimális. Ugyanakkor, ha a versenytársak kínálati görbéi emelkedők, akkor a nem tökéletesen rugalmatlan reziduális keresleti görbével szembesülő vállalat is emelkedő kínálati görbével érhet el magasabb profitot.

A későbbi kutatások a fentínél általánosabb modellekben is jellemezni tudták a kínálatifüggvény-verseny egyensúlyát. A kínálatifüggvény-verseny modelljében a profitmaximalizálás elsőrendű feltételei differenciálegyenletek. Az egyensúly(ok) analitikus meghatározása a szimmetrikus esetekben általában nem okoz nehézséget. *Klemperer–Meyer* [1989] olyan szimmetrikus oligopólium egyensúlyaira közöl analitikus megoldást, ahol a vállalatok határkölségfüggvényei lineárisak. *Rudkevich és szerzőtársai* [1998] ezt meghaladva, általános alakú költségfüggvények mellett ad zárt alakú megoldást a kínálatifüggvény-verseny egyensúlyára. Analitikus megoldások olyan (részben) aszimmetrikus esetekre is léteznek, ahol a vállalatok kapacitáskorlátjaik tekintetében eltérnek, de a költségeik azonosak (*Genc–Reynolds*

[2004], *Holmberg* [2007], vagy amikor a költségeik tekintetében eltérnek, de nincsenek kapacitáskorlátaik (*Green* [1996], *Baldick és szerzőtársai* [2004]). A gyakorlati szempontból igazán érdekes példákat, vagyis amikor a vállalatok mind a kapacitáskorlátok, mind a költségek tekintetében különböznek, többnyire csak numerikus módszerekkel lehet megoldani (*Anderson–Hu* [2008], *Holmberg* [2009]).

A Klemperer–Meyer-szerzőpáros által prezentált modell egyik kellemetlen tulajdonsága, hogy véges nagyságú keresleti sokkok mellett végtelenül sok Nash-egyensúlyi megoldása van. A későbbi kutatások ugyanakkor bizonyították, hogy a termelői kapacitáskorlátok figyelembevételével a megoldások halmaza jelentősen szűkíthető. *Holmberg* [2008] például megmutatta, hogy amennyiben a kereslet bármely kis valószínűséggel meghaladja a termelői oldal egy híján összes kapacitásának összértékét, akkor a kínálatifüggvény-versenynek csak egy Nash-egyensúlya van.

Elsőként *Green–Newbery* [1992] alkalmazta a kínálatifüggvény-verseny modelljét a villamosenergia-piac viselkedésének jellemzésére. Hasonlóan a kaliforniai piacot vizsgáló Borenstein–Bushnell-szerzőpárhoz, az angol és walesi árampiacot vizsgáló *Green–Newbery-szerzőpárost* is a piacnyitás utáni villamosenergia-árak előrejelzése foglalkoztatta. A piacnyitás kezdetén a kaliforniai villamosenergia-piachoz hasonlóan az angol árampiacot is a termelői piac erős koncentrációja jellemezte. Az iparág átstrukturálása után a kínálati oldalt mindössze három nagy termelővállalat alkotta: a 47 százalékos piaci részesedésű National Power, a 30 százalékos részesedésű PowerGen és a 23 százalékos részesedésű Nuclear Energy.<sup>11</sup> A fizikai áramkereskedelem szervezésére, akárcsak később Kaliforniában, központosított (*pool* rendszerű) piacot hoztak létre. A félórás elszámolási időintervallumokkal működő Electricity Pool kereskedési rendszerében az erőműveknek egyetlen, a következő nap mind a 48 kereskedési időszakára érvényes ajánlatot kellett tenniük.

A kínálatifüggvény-verseny alkalmazására vonatkozó érvelését *Green–Newbery* [1992] azzal az észrevétellel indítja, hogy a kínálatifüggvény-egyensúlyi modell eredeti, egy időszakos és sztochasztikus keresletre kidolgozott változata matematikailag ekvivalens azzal a több időszakos, időben változó determinisztikus keresletű modellel, amelyben a termelők az összes időszakra vonatkozóan egy kínálati függvényt határoznak meg. A kínálatifüggvény-egyensúlyi modellnek ez az átfogalmazása azért hasznos, mert így már alkalmas az angol Electricity Poolon (az angol központosított piacon) folyó verseny modellezésére. Hiszen, ahogyan azt már említettük, a poolba értékesítő erőműveknek egyetlen ajánlatot kellett tenniük a következő nap mind a 48 félórás kereskedési periódusára, mégpedig ár–mennyiség kombinációkból álló lépcsős függvény formájában benyújtva, és a villamos energia iránti keresletet pedig valóban jelentős, de jól előre jelezhető elmozdulások jellemzik egy napon belül.

<sup>11</sup> Az első kettő, szénhidrogén-tüzelésű termelőegységeket üzemeltető vállalatot 1991-ben privatizálták. Az atomerőműveket működtető Nuclear Energy állami kézben maradt.

A szimulációs számításokhoz *Green–Newbery* [1992] egy szimmetrikus duopóliummodellt használ: a három erőművállalat közül csak a National Powerről és a PowerGenről feltételezve stratégiai viselkedést. A számszerűsített modellben a nullához közeli határkölségűnek tekintett atomerőművi áramtermelést (Nuclear Energy) a szerzők a piac keresleti oldalán veszik figyelembe oly módon, hogy a keresleti függvény lehorgonyzásához használt mennyiségeket a feltételezett nukleáris energiatermelés nagyságával csökkentik. A duopolisták szimmetriájára vonatkozó feltevést a modell matematikai kezelhetősége tette szükségessé.

A *Green–Newbery* [1992] által specifikált modellnek – a véges tartományban mozgó villamosenergia-fogyasztás miatt – végtelen sok (szimmetrikus) Nash-egyensúlyi megoldása van. A piaci kimenetek előrejelzését a szerzők arra az egyensúlyi kínálati függvényre alapozzák, amely a vállalatok számára a legmagasabb profitot eredményezi. *Green–Newbery* [1992] a villamos energia iránti keresletet lineáris függvénnyel reprezentálja. Az ár rugalmasság értéke szerint három (0,08, 0,21, 0,42),<sup>12</sup> és a keresleti állapotok tekintetében is három forgatókönyvet vizsgálnak (átlagos téli, nyári és „köztes időszaki” napok). Az ár rugalmassági együttható „manipulálása” a meredekségi paraméteren keresztül történik. A vállalatok határkölségfüggvényeinek előállítására hasonlóképpen történik, mint a Borenstein–Bushnell-tanulmányban. Azzal a különbséggel, hogy az egyedi erőművi határkölségbecslésekből felépített vállalati szintű lépcsős költségfüggvényre kvadratikusan függvényt illesztnek, és ezt a becslést használják a szimulációs számításokhoz.

A korábban bemutatott tanulmányokhoz hasonlóan a szimulált oligopolisztikus verseny teljesítményét *Green* és *Newbery* is a tökéletes versenypiac teljesítményével hasonlítja össze – a téli, a nyári és a köztes időszaki napokra számított eredmények összegzésével készített éves előrejelzések mentén. Az előrejelzett értékek között szerepel az átlagár, a termelés és a holtteher-veszteség nagysága. Az alapforgatókönyvnek tekintett középső ár rugalmassági érték mellett a kínálatfüggvény-verseny átlagosan dupla akkora árakhoz és 10 százalékkal alacsonyabb fogyasztáshoz vezetett, mint a tökéletes verseny.

*Green* és *Newbery* arra is kíváncsiak voltak, hogy a szimulált árak hogyan változnának meg, ha a piac koncentráció kisebb lenne. Ezért az angol árampiac kínálatfüggvény-egyensúlyát egy olyan tényellentétes forgatókönyvre is kiszámolták, ahol a fosszilis erőművek nem kettő, hanem öt egyforma nagyságú vállalat irányítása alatt működnek. Ebben a piacszerkezeti forgatókönyvben a kínálatfüggvény-verseny által generált árak csak 15 százalékkal haladták meg a tökéletes versenyben kialakuló árakat.

A piacnyitást követő években valóban jelentős áremelkedés volt tapasztalható az angol és walesi árampiacon, még ha annak mértéke el is maradt a *Green–Newbery* [1992] tanulmány által előre jelzettől. Bár az iparág koncentrációja – az inkumbensek

<sup>12</sup> A kereslet ár rugalmassága a keresleti görbe és az iparági határkölséggörbe metszéspontjában.

erőműeladásait és az új belépők megjelenését követően – az 1990-es évek folyamán folyamatosan mérséklődött, a két inkumbens vállalattal kapcsolatban a 1990-es évek elején sorozatosan felmerült a piaci erőfölénnyel való visszaélés gyanúja.

- ♦ Az ágazatot felügyelő szabályozó hatóság 1993-ban vizsgálatot indított annak feltárására, hogy az erőművek manipulálják-e az Electricity Pool árait, és megfenyegette a két inkumbenst, hogy akár a monopólium- és összefonódás-ellenőrzési bizottság (*Monopolies and Mergers Commission, MMC*) elé viszi az ügyet. A vizsgálat végül a hatóság és az erőművállalatok közötti megállapodással zárult, amelynek értelmében az erőművek az MMC-eljárás elkerülése érdekében vállalták, hogy kapacitásaik egy részét – összesen hat gigawatt nagyságú kapacitást – harmadik fél részére értékesítsenek. Ezt az ígéretet a két vállalat 1996 júniusáig teljesítette, amelynek eredményeként a National Power négy gigawatt, a PowerGen pedig két gigawatt kapacitást adott el az Eastern Electricitynek (a mai TXU-nak). A megegyezés részeként az erőműveknek az Electricity Poolra beadott árajánlataikat illetően éves átlagos limitek betartására is kötelezettséget kellett vállalniuk (*Evans–Green [2005]*).

A piac működésével kapcsolatos anomáliák miatt egyre erősebb nyomás helyeződött a kormányra és a szabályozó hatóságra (*The Office of Gas and Electricity Markets, Ofgem*), hogy a nagykereskedelmi piac működését új alapokra helyezték. Végül, a kormány és az Ofgem 2001-ben bevezette az Új Áramkereskedelmi Rendszert (New Electricity Trading Arrangements, NETA), amely a kötelező központosított piac (pool) modelljét az önkéntes kétoldalú kereskedelem/decentralizált piac modelljével cserélte le. Az Electricity Pool leváltása a NETA-ra nagy vitát váltott ki az energiagazdászok körében (Erről lásd *Newbery [2005]* cikkét). Az energiapiaci szakértők többsége nem értett egyet az Electricity Pool megszüntetésével, mert a problémák okát nem a kereskedési rendszerben, hanem a piac szerkezeti jellemzőiben látta. A villamosenergia-árak a NETA bevezetését követően azonban jelentősen estek, ami látszólag az új piacmodell támogatóinak véleményét erősítette.

*Evans–Green [2005]* középponti kérdése, hogy a kedvező piaci fordulat előidézésében mekkora szerepe volt az új kereskedési rendszernek, illetve mekkora azoknak a piac szerkezetét érintő változásoknak, amelyek a NETA bevezetésével egy időben történtek. A kérdés megválaszolásához a szerzők szimulációs vizsgálatot használnak. Módszerük lényege a következő. Elsőként specifikálják az angol és walesi árampiac kínálatifüggvény-verseny alapú szimulációs modelljét. Ellenőrzik, hogy a modell helyesen jelzi-e előre a nagykereskedelmi árak alakulását a NETA bevezetése előtti időszakban. Ha igen, akkor a modellel a NETA bevezetése utáni periódusra is előrejelzik a villamosenergia-árakat. Ezt követően pedig regressziós elemzéssel megnézik, hogy az aktuális és az előre jelzett árak közötti kapcsolat változik-e a két időszak között. Ha nem, akkor ez közvetett bizonyítéka annak, hogy a NETA semmilyen szerepet sem játszott a 2001 utáni árcsökkenésben.



A számszerűsített kínálatfüggvény-egyensúlyi modell felépítésekor *Evans–Green* [2005] is élnek azzal a leegyszerűsítő feltevessel, hogy a vállalatok szimmetrikusak. A vállalatok „számát” a szerzők a HHI index reciprokaként mérik, amit a stratégiai viselkedésűnek tekintett vállalatok aktuális piaci részesedései alapján havonként újraszámolnak a vizsgált mintaperiódusban [1997. március–2004. április].<sup>13</sup> A tört értékű vállalat-szám-változó azért nem okoz problémát, mert a vállalatok szimmetriája miatt az elemzés az aggregált kínálati függvény előrejelzésére irányul. A kereslet és a költségek becslésére használt eljárások nagy vonalakban megegyeznek a *Green–Newbery* [1992] tanulmányban alkalmazott módszerekkel.

A szimulációs modell teljesítményét a szerzők egy egyszerű regressziós modellel ellenőrizték. Az aktuális árat a szimulált árral magyarázó és a hibatag autókorrrelációját AR(1) korrekcióval kezelő modellben a korrigált  $R^2$  értéke 0,74, a szimulált árváltozó becslült együtthatója pedig 1,03-nak adódott. Az 1-től szignifikánsan nem különböző koefficiensbecslés és a viszonylag magas korrigált  $R^2$  azt bizonyítja, hogy a szimulált ár jól jelzi előre az aktuális árat, vagyis a szimulációs modell képes pontos előrejelzést adni a valós piaci árakra. Ezt követően az *Evans–Green*-szerzőpáros a strukturális törésre vonatkozó teszteket végeztek annak feltárására, hogy van-e bármiféle változásra utaló jel az aktuális és a szimulált árak közötti kapcsolatban. E vizsgálatok egyike sem mutatott ki törést a NETA bevezetése előtti és utáni 18 hónapban. Ez alapján a szerzők elvetették azt a hipotézist, hogy a NETA strukturális törést okozott volna az aktuális és az előre jelzett árak kapcsolatában, amivel egyúttal azt is kijelentették, hogy a NETA bevezetése nem játszott szerepet az angol nagykereskedelmi villamosenergia-árak 2001 utáni esésében.

*Evans* és *Green* természetesen kíváncsi volt arra, hogy ha nem a NETA, akkor milyen más tényezők csökkentették az erőművek piaci erejét. A háttérben lévő okok feltárásához a szimulációs modellt egy sor tényellentétes forgatókönyvre is lefuttatták. Vizsgálták többek között azt, hogy hogyan alakultak volna az árak, ha a kereskedelmi üzemüket 2001-ben megkezdő új erőművek mégsem épülnek meg, vagy ha az inkumbens vállalatok 1999-től megvalósuló erőműeladásaira nem kerül sor.

- Amikor 1998-ban a két inkumbens termelő részéről felmerült, hogy részesedést kívánnak szerezni a szektor kiskereskedelmi értékesítési szegmensében, akkor ennek engedélyezését a brit regulátor további erőművi leválasztások végrehajtásához kötötte. Ennek eredményeképpen, a PowerGen 1999-ben eladott 2 gigawatt szénerőművet az Edison-nak, a National Power pedig ugyanebben az évben 3,9 gigawatt kapacitást az AES-nek. A következő években emellett további önkéntes eladásokra is sor került. A National Power 1,9 gigawatt kapacitást értékesített a British Energynek (annak a vállalatnak,

<sup>13</sup> Az elemzéshez használt másnapi árak forrása: 1997 április és 2001 március között az Electricity Pool, 2001 április és 2004 március között pedig a UKPX, vagyis a NETA bevezetésével egy időben megalakuló angol áramtőzsdé.



amelyet a modernebb nukleáris egységek működtetésére hoztak létre 1996-ban) és 0,7 gigawatt zárt ciklusú gázturbinás kapacitást az NRG-nek 2000-ben. A PowerGen pedig összesen 2 gigawatt kapacitású széntüzelésű erőművet adott el az Edf-nek 2001-ben (*Evans–Green* [2005]).

A tényellentétes vizsgálatok eredményei alapján arra a következtetésre jutottak a szerzők, hogy az árcsökkenésben a fő szerepet az erőműeladások játszották, míg a kínálat bővülésének szerepe viszonylag csekély volt.

*Sioshani–Oren* [2006] tanulmánya a texasi árampiac erőműveinek szabályozó-energia-ajánlatain tesztelte a kínálatifüggvény-verseny modellt.<sup>14</sup> Fontos módszertani előrelépést jelent, hogy olyan modellben adtak előrejelzést a kínálatifüggvény-egyensúlyra, amely egyrészt nem tekint el a vállalatok aszimmetriájától, másrészt figyelembe veszi az erőművek szerződéses pozícióit. *Sioshansi–Oren* [2006] elemzése az elméletileg optimális és a megfigyelt kínálati görbék összehasonlításán alapul, ahol az egyensúlyi kínálati görbék számítása becsült költségadatokon nyugszik. Eredményei azt mutatják, hogy a nagy erőművállalatok esetében az a kínálatifüggvény-verseny viszonylag jó előrejelzést nyújt az erőművek ajánlatadási viselkedésére.

### Az árampiac aukciós modelljei

Az erőművi viselkedés játékelméleti modelljeinek harmadik nagy csoportját az aukciós modellek jelentik. A szakirodalom az aukciós árampiaci modelleket a kínálatifüggvény-verseny alapú modellekkel szokta szembeállítani. A két megközelítés között egyetlen lényeges különbség van, a licitfüggvény alakja. Míg a kínálatifüggvény-versenyben a termelők folytonos licitfüggvényeket határoznak meg, addig az aukciós modellekben véges számú ár–mennyiség kombinációból álló ajánlatot nyújtanak be, ami effektíve egy lépcsős alakú licitfüggvénynek felel meg. Az előbbi megközelítés legnagyobb előnye az, hogy analitikusan jól kezelhető reziduális keresleti függvényeket generál. Ugyanakkor, az utóbbi megközelítés a valóságos piaci mechanizmust jobban leképező modellt eredményez, hiszen az áramtőzsdékre benyújtott ajánlatok valóban csak véges számú licitet tartalmazhatnak. Az egykori angol Electricity Pool például ötben maximálta az erőművi egységenként benyújtható licitek számát.<sup>15</sup>

<sup>14</sup> A szabályozóenergia-piac a villamosenergia-szektor speciális részpiaca, amelyen a rendszerirányító rövid – akár perces – határidőre képes energiát vásárolni és eladni. A szabályozó energiát a rendszerirányító arra használja, hogy a napon belüli nagykereskedelmi ügyletek lezárulása után az energiatermelés és a -fogyasztás között jelentkező eltéréseket kiegyenlítsse.

<sup>15</sup> A spanyol áramtőzsde szintén 5 licitet enged meg erőművenként. A licitek számát ajánlattevőnként korlátozó skandináv Nord Poolban egy ajánlat maximálisan 64, a magyar áramtőzsdén (HUPX) pedig maximálisan 256 ár–mennyiség kombinációt tartalmazhat.

Az aukcióelmélet sajátos területét képező árampiaci aukciós modellek főbb vonásai a következők. Először is, ezek a modellek nem eladási, hanem beszerzési problémával foglalkoznak. Bár a beszerzési probléma lényeges vonásait tekintve megegyezik az eladási feladattal, az árverésekkel kapcsolatos eredmények csak bizonyos feltételek fennállása esetén ültethetők át a beszerzési szituációra.<sup>16</sup> A standard árampiaci aukciós modellek további, az aukcióelméleti irodalom fősodrától is megkülönböztető jellegzetessége, hogy tökéletes informáltságot feltételeznek<sup>17</sup>. Végül fontos megjegyezni, hogy az árampiaci aukciós modellek elsősorban a piaci erő kérdésre fókuszálnak, és kevésbé foglalkoznak az aukcióelmélet által hagyományosan vizsgált jelenségekkel.

Az árampiaci első aukcióelméleti modellje von der Fehr és Harbord nevéhez fűződik. 1993-ban megjelenő cikkükben azt javasolják, hogy az angol és walesi árampiacot egy egyenáras, zárt ajánlattételű, többegységes aukciós modell segítségével modellezzük. Alapmodelljükben két – kapacitásaik és költségeik tekintetében is eltérő – vállalat versenyez a piac kiszolgálásáért determinisztikus és tökéletesen rugalmatlan kereslet mellett. A két vállalatnak egy-egy termelőegysége van, amelyek határkölsége konstans. A modell teljes informáltságot feltételez, azaz a vállalatok ismerik egymás költségeit és kapacitásait. A vállalatok egyetlen – a teljes erőművi kapacitásukat lefedő – árajánlatot tesznek. Az ajánlati ár nem haladhatja meg a piacszervező által meghatározott ármaximumot.<sup>18</sup> A kereslet kielégítését a piacszervező az alacsonyabb árat ajánló vállalat kapacitásának igénybevételével kezdi. Ha ez nem elégséges a teljes kereslet fedezéséhez, akkor a hiányzó mennyiség erejéig a magasabb árajánlatot tevő vállalat kapacitását is igénybe veszi. Az elszámolás egyenáras, a piacszervező a terheléshez hozzájutó vállalatok mindegyikével a még elfogadott legmagasabb megajánlott árnak megfelelő egységáron számol el.

*Von der Fehr–Harbord* [1993] megmutatja, hogy a fenti játékban a kereslet szintjétől függően kétféle egyensúly jöhet létre. Ha a kereslet alacsonyabb egy bizonyos küszöbértéknél, akkor a versenynek egy tiszta Nash-egyensúlya van: mindkét termelő a magasabb határkölségű termelő határkölségével egyező árat licitál. Ha a kereslet magasabb ennél a küszöbértéknél, akkor a versenynek a modell paramétereitől függően egy vagy két aszimmetrikus Nash-egyensúlya van. Az aszimmetrikus egyensúlyok mindegyike olyan, hogy az egyik szereplő a maximálisan megszabható – vagyis az ársapkának megfelelő – árat licitálja, míg a másik szereplő ennél egy

<sup>16</sup> Az eladási és beszerzési probléma különbségeiről lásd *Eső* [1997] tanulmányát.

<sup>17</sup> Az aukcióelmélet általában olyan helyzeteket vizsgál, ahol a szereplők nem ismerik a többiek értékeléseit (költségeit). Annak indokairól, hogy az árampiaci egyensúlyi modellek esetében miért általános az a feltevés, hogy a vállalatok ismerik egymás termelési költségeit, lásd a fejezet bevezető részét.

<sup>18</sup> Ez a villamosenergia-piacokon gyakran alkalmazott árplafon intézményét hivatott megjeleníteni. Az Electricity Poolban a beadható árajánlatok felső határa 2500 £/MWh volt. A HUPX-en az árplafon 3000 €/MWh.

szigorúan kisebb árat. A modell paramétereit határozzák meg, hogy az egyensúlyi stratégiák felcserélhetőek-e a két szereplő között vagy sem – az előbbi esetben kettő, az utóbbiban pedig egy tiszta Nash-egyensúly van a játéknak.

Az alacsony keresleti szintek mellett a vállalatok azért nem képesek az árat a versenyzői szint fölé emelni, mert mindkét vállalat számára nagyobb haszonnal kecsegtet a másikkal való alávágás, mint a maradék kereslet kielégítése. A magas keresleti szinteket jellemző aszimmetrikus egyensúly a következőképpen magyarázható. Az alacsonyan árazó szereplő profitját nem befolyásolja a saját ajánlata, hiszen az elszámolási árat a magasan árazó szereplő határozza meg. Az alacsony árazást pusztán az motiválja, hogy ezzel elriassa a másik termelőt az aláárazástól. Az egyensúlyban az alacsonyan árazó termelő a teljes kapacitását, a maximális áron árazó termelő viszont csak kapacitása egy részét értékesítheti. *Von der Fehr–Harbord* [1993] aukciós modelljében az egyensúlyi ár tehát minden alacsony keresleti szint mellett a kevésbé hatékony termelő határkölségével és minden magas keresleti szint mellett az árplafonnal lesz egyenlő. Érdekes módon a kapacitások vállalatok közötti eloszlása (a kapacitásaszimmetria mértéke) csak közvetett módon – a keresleti küszöbérték változtatásán keresztül – befolyásolja az aukción kialakuló egyensúlyi árat.<sup>19</sup>

A fentiek alapján megállapíthatjuk, hogy a villamosenergia-piac aukciós modellje súlyos piachatalmi problémákat jelez előre a magas keresletű időszakokra. Ezekben az egyensúlyokban ráadásul a termelés hatékonysága sem biztosított. Ha ugyanis az egyensúly az árajánlatok olyan kombinációja mellett valósul meg, amelyben a magasabb hatásfokú termelő ajánlati ára a magasabb, akkor a termelés összetétele társadalmilag nem lesz optimális.

Az alapmodell mellett *von der Fehr-Harbord* [1993] azt az esetet is megvizsgálja, amikor a piaci kereslet bizonytalan, és pozitív valószínűséggel alacsony és magas értékeket is felvehet. A szerzőpáros bebizonyítja, hogy sztochasztikus kereslet mellett a játéknak egyetlen kevert Nash-egyensúly van. Levezeti az árazáshoz használt egyensúlyi eloszlásfüggvényeket, és megmutatja, hogy a legkisebb pozitív valószínűséggel licitált ár szigorúan magasabb a versenyzői árnál. Azt is igazolja, hogy szimmetrikus kapacitások mellett a magasabb határkölségű termelő áreloszlásfüggvénye első rendben sztochasztikusan dominálja az alacsonyabb határkölségű termelő áreloszlásfüggvényét, vagyis nagy átlagban a magas határkölségű termelő fog ma-

<sup>19</sup> A keresleti szintek alacsony és magas tartományait elválasztó küszöbérték nagysága szorosan összefügg a piacon lévő termelőkapacitások nagyságával. Ha a két vállalat közül az alacsonyabb határkölségű egyben a kisebb kapacitású is, akkor az egyensúly típusát meghatározó keresleti küszöbérték a kisebb vállalat kapacitásával egyenlő. Ebben az esetben tehát már a kisebb vállalat kulcsszereplővé válása elégséges ahhoz, hogy a két vállalat az árakat a versenyzői szint fölé tudja hajtani. Fordított esetben, amikor az alacsonyabb határkölségű termelőnek van nagyobb kapacitása, a küszöbérték a kisebb vállalat kapacitásánál magasabb, de a nagyobb vállalat kapacitásánál alacsonyabb lesz (konkrét nagyságát a kapacitásértékek mellett az árplafon értéke és a vállalatok határkölségei együttesen határozzák meg).

gasabb árakat licitálni. A termelés költséghatékonysága azonban nem garantált, mert kisebb előfordulási gyakorisággal ugyan, de lesznek olyan egyensúlyi helyzetek is, amelyekben a magasabb határkölségű termelő licitálja az alacsonyabb árat.

Az árampiaci aukciókra vonatkozó kutatásaik újabb eredményeit a szerzők egy 2006-ban publikált tanulmányban mutatják be (*Fabra és szerzőtársai* [2006]). Elemzésük kiindulópontját ugyanaz a modell jelenti, mint amit von der Fehr és Harbord az 1993-as tanulmányában használ. Két kérdésre összpontosítanak, az egyenáras és ajánlati áras aukciók teljesítményének összehasonlítására, és von der Fehr–Harbord [1993] eredményeinek általánosítására. Az utóbbi érdekében a szerzők az alapmodell különböző irányú kiterjesztéseit vizsgálják, köztük a többlépcsős licitálás lehetőségét, az árrugalmas keresletet és az oligopolisztikus piacstruktúrát. Igazolják, hogy von der Fehr–Harbord [1993] fő következtetései a gyengébb feltevések mellett is érvényesek maradnak. A termelők által beadható licitek száma semmilyen módon nem befolyásolja a verseny kimenetét. A kereslet árrugalmasságának növelése egyszerre csökkenti a licitált árak átlagos szintjét a magas keresleti szintek mellett, illetve a keresleti szinteknek azt a tartományát, amely mellett a vállalatok a piaci ár felhajtására képesek. A kereslet árrugalmasságának növekedése tehát pozitívan hat az aukciós mechanizmus teljesítményére. Végül, bizonyítják, hogy a játéknak kettőnél nagyobb számú vállalat esetén is mindig van tiszta Nash-egyensúly. A szimmetrikus esetre azt is igazolják, hogy a koncentráció mérséklődése – a vállalatok számának növekedése – csökkenti a nem versenyző egyensúlyok kialakulásának esélyét, hiszen a piaci részesedések zsugorodásával szűkül a keresleti szinteknek az a tartománya, amely mellett az ajánlattevők képesek az árak felhajtására.

Olyan empirikus tanulmányt, amelyben az árampiaci aukciós modellek előrejelzései szolgálnak a vizsgálat keretében, mindössze hármat találtunk. Az angol és walesi Electricity Poolba 1992 és 1994 között benyújtott erőművi ajánlatokat elemző *Wolfram* [1998] erős bizonyítékot talál arra nézve, hogy a két nagy inkumbens közül a kisebb erőműparkkal rendelkező PowerGen folytatott agresszívabb árazást. Hasonló eredményekre jut *Crawford és szerzőtársai* [2007], s ezen túlmenően azt is megmutatja, hogy a nem ármeghatározó szereplő többé-kevésbé határkölség-alapú árazást követ. Ez összhangban áll az aukciós modell aszimmetrikus egyensúlyra vonatkozó hipotézisével. *Mullins és szerzőtársai* [2010] pedig arra használja az aukciós modellt, hogy megbecsülje az árfelhajtó magatartást kiváltó keresleti küszöbérték nagyságát az ausztrál villamosenergia-piacon. A szerzők igazolják, hogy az elméleti modell által számolt keresleti küszöbértékek viszonylag jól jelzik előre az árampiaci ártüskék kialakulásának időszakait.

## ZÁRÓ GONDOLATOK

A tanulmányban betekintést nyújtottunk az árampiacok viselkedésével foglalkozó piac- és aukcióelméleti irodalomba. Vázlatosan ismertettük az erőművek viselkedésének Cournot-versenyen és kínálatfüggvény-versenyen alapuló, illetve aukcióelméleti modelljeit. Felhívtuk a figyelmet az egyes megközelítések előnyeire és hátrányaira, és röviden áttekintettük az idevágó empirikus kutatások tapasztalatait is.

Az elemzési módszerek fejlődése ellenére az árampiaci modellek versenyhatósági eljárásokban történő alkalmazására mind a mai napig kevés példa akad. Ebből a szempontból érdekes tanulságokkal szolgál az az eset, amikor a holland versenyhatóság (NMa) egy fúziós szimuláció eredményei alapján hozott döntést egy erőművi felvásárlásról. Az esetről beszámoló *Bishop–Walker* [2011] leírja, hogy a tervezett felvásárlást az NMa csak úgy engedélyezte volna, ha a fúziót követően a felvásárlást megvalósító vállalat kapacitásainak egy jelentős részét virtuális árverésen értékesíti. Az érintett cég azonban fellebbezett a döntés ellen a rotterdami bíróságon, amely úgy döntött, hogy az NMa vizsgálata nem támasztotta alá megfelelően a döntést. A bíróság több ponton is kifogást emelt a kínálatfüggvény-verseny alapú modellel végzett elemzéssel szemben. Egyrészt nem találta megnyugtatónak a modell validálását, mert úgy látta, hogy a fúziót megelőző piaci egyensúlyra vonatkozó szimuláció eredményei nem álltak összhangban a valósággal. Másrészt azt is kifogásolta, hogy a modellben több Nash-egyensúly is kialakulhat, s emiatt a modell nem képes egyértelmű előrejelzést adni fúzió hatásaira. S végül, a bíróság az egyensúlyok azonosítására használt numerikus eljárás megbízhatóságával szemben is kételyeket támasztott.

## IRODALOM

- AHN, N.–NIEMEYER, V. [2007]: Modeling market power in Korea's emerging power market. *Energy Policy*, Vol. 35. No. 2. 899–906. o.
- ANDERSON, E. J.–HU, X. [2008]: Finding Supply Function Equilibria with Asymmetric Firms. *Operations Research*, Vol. 56. No. 3. 697–711. o.
- BALDICK, R.–GRANT, R.–KAHN, E. [2004]: Theory and application of linear supply function equilibrium in electricity markets. *Journal of Regulatory Economics*, Vol. 25. No. 2. 143–167. o.
- BISHOP, S.–WALKER, M. [2011]: Az európai közösségi versenyjog közgazdaságtana. Alapfogalmak, alkalmazások és mérési módszerek. Gazdasági Versenyhivatal Versenykultúra Központ, Budapest.
- BORENSTEIN, S.–BUSHNELL, J. [1999]: An empirical analysis of the potential for market power in California's electricity industry. *Journal of Industrial Economics*, Vol. 47. No. 3. 285–323. o.
- BUSHNELL, J.–MANSUR, E. T.–SARAVIA, C. [2008] Vertical Arrangements, Market Structure, and Competition: An Analysis of Restructured US Electricity Markets. *American Economic Review*, Vol. 98. No. 1. 237–266. o.
- CRAWFORD, G.S.–CRESPO, J.–TAUCHEN, H. [2007]: Bidding asymmetries in multi-unit auctions: implications of bid function equilibria in the British spot market for electricity. *International Journal of Industrial Organization*, Vol. 25. No. 6. 1233–1268. o.
- CRESPO J. [2001]: Bidding asymmetries in multi-unit auctions: implications of bid functions equilibria in the British spot market for electricity. PhD Dissertation, University of North Carolina.
- ESŐ PÉTER [1997]: Árverés és verseny a közbeszerzésben. *Közgazdasági Szemle*, 47. évf. 7–8. 597–611. o.
- EVANS, J.–GREEN, R. [2005]: Why Did British Electricity Prices Fall after 1998? Department of Economics Working Paper, 05-13, Department of Economics, University of Birmingham.
- FABRA, N.–VON DER FEHR, N. H.–HARBORD, D. [2006]: Designing electricity auctions. *RAND Journal of Economics*, vol. 37. No. 1. 23–46. o.
- GENC, T.–REYNOLDS, S. [2004]: Supply function equilibria with pivotal electricity suppliers. Eller College Working Paper, No.1001-04. University of Arizona.
- GREEN, R. J. [1996]: Increasing Competition in the British Electricity Spot Market. *Journal of Industrial Economics*, Vol. 44. No. 1. 205–216. o.
- GREEN, R.–NEWBERY, D. [1992] Competition in the British Electricity Spot Market. *Journal of Political Economy*, Vol. 100. No. 5. 929–953. o.
- GROSSMAN, S. [1981]: Nash Equilibrium and the Industrial Organization of Markets with Large Fixed Costs. *Econometrica*, Vol. 49. No. 5. 1149–1172. o.
- HART, O. [1985]: Imperfect Competition in General Equilibrium: An Overview of Recent Work. Megjelent: *Arrow, K.–Honkapohja S. (szerk.): Frontiers of Economics*. Basil Blackwell, Oxford.
- HOLMBERG, P. [2007]: Supply function equilibrium with asymmetric capacities and constant marginal costs. *The Energy Journal*, Vol. 28. No. 2. 55–82. o.
- HOLMBERG, P. [2008]: Unique supply function equilibrium with capacity constraints. *Energy Economics*, Vol. 30. No. 1. 148–172. o.

- HOLMBERG, P. [2009]: Numerical calculation of asymmetric supply function equilibrium with capacity constraints. *European Journal of Operational Research*, Vol. 199. No. 1. 285–295. o.
- HU, S.–KAPUSCINSKI, R.–LOVEJOY, W. S. [2010]: Bertrand-Edgeworth Bidding Game with Asymmetric Suppliers: Theory and Applications. Social Science Research Network Working Paper Series. [http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=1659996](http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1659996).
- KLEMPERER, P. D.–MEYER, M. A. 1989]: Supply function equilibria in oligopoly under uncertainty. *Econometrica*, Vol. 57. No. 6. 1243–1277. o.
- LI, G.–SHI, J.–QU, X. [2011]: Modeling methods for GenCo bidding strategy optimization in the liberalized electricity spot market: A state-of-the-art review. *Energy*, Vol. 36. No. 8. 4686–4700. o.
- MOSELLE, B.–NEWBERRY, D.–HARRIS, D. [2006]: Factors Affecting Geographic Market Definition and Merger Control for the Dutch Electricity Sector. The Brattle Group, Brüsszel.
- MULLINS, J.–WAGNER, L. D.–FOSTER, J. [2010]: Price Spikes in Electricity Markets: A Strategic Perspective, Energy Economics and Management Group Working Papers, School of Economics, University of Queensland, Ausztrália
- NEUHOFF, K.–BARQUIN, J.–BOOTS, M. G.–EHRENMANN, A.–HOBBS, B. F.–RIJKERS, F. A. M.–VÁZQUEZ, M. [2005]: Network-constrained Cournot models of liberalized electricity markets: the devil is in the details. *Energy Economics*, Vol. 27. No. 3. 495–525. o.
- NEWBERRY, D. M. [1998]: Competition, contracts and entry in the electricity spot market. *Rand Journal of Economics*, Vol. 29. No. 4. 726–749. o.
- NEWBERRY, D. M. [2005]: Electricity liberalization in Britain: the quest for a wholesale market design. *Energy Journal*, Vol. 26. Special Issue on European Electricity Liberalization, 43–70. o.
- PAIZS LÁSZLÓ–MÉSZÁROS MÁTYÁS TAMÁS [2003]: Piachatalmi problémák modellezése a dereguláció utáni magyar áramtermelő piacon. *Közgazdasági Szemle*, 53. évf. 9. sz. 735–764. o.
- PULLER, S. L. [2007]: Pricing and Firm Conduct in California's Deregulated Electricity Market. *Review of Economics and Statistics*, Vol. 89. No. 1. 75–87. o.
- RUDKEVICH, A.–DUCKWORTH, M.–ROSEN, R. [1998]: Modeling electricity pricing in a deregulated generation industry: the potential for oligopoly pricing in poolco. *The Energy Journal*, Vol. 19. 3. 19–48. o.
- SIOSHANSI, R.–OREN, S. [2007]: How good are supply function equilibrium models: an empirical analysis of the ERCOT balancing market. *Journal of Regulatory Economics*, 31. 1–35. o.
- SUGÁR ANDRÁS [2011] A piacsabályozás elméleti és gyakorlati aspektusai a közszolgáltató szektorokban, elsősorban az energiaszektor ársabályozása példáján. PhD-értekezés, Budapesti Corvinus Egyetem, [http://phd.lib.uni-corvinus.hu/570/1/Sugar\\_Andras.pdf](http://phd.lib.uni-corvinus.hu/570/1/Sugar_Andras.pdf)
- VENTOSA, M.–BAÍLLO, A.–RAMOS, A.–RIVIER, M. [2005]: Electricity market modeling trends. *Energy Policy*, Vol. 33. No. 7. 897–913. o.
- VON DER FEHR, N.-H.–HARBORD, D. [1993]: Spot Market Competition in the UK Electricity Industry, *Economic Journal*, Vol. 103. No. 418. 531–546. o.
- WOLFRAM, C. D. [1998]: Strategic Bidding in a Multiunit Auction: An Empirical Analysis of Bids to Supply Electricity in England and Wales. *RAND Journal of Economics*, Vol. 29. No. 4. 703–25. o.