



KÖZGAZDASÁGI ÉS
GAZDASÁGINFORMATIKAI DOKTORI ISKOLA

TÉZISGYŰJTEMÉNY

Pocsarovszky Károly

**Villamosenergia-piaci szereplők csoportosulása a
kiegyenlítési percepcióik mentén**

Témavezető: Dr. Kő Andrea

Budapest, 2026

ADATELEMZÉS ÉS INFORMATIKA INTÉZET

Tézisgyűjtemény

Pocsarovszky Károly

**Villamosenergia-piaci szereplők csoportosulása a
kiegyenlítési percepcióik mentén**

című doktori értekezéshez

Témavezető: Dr. Kő Andrea

© Pocsarovszky Károly

Tartalom

1	Kutatási előzmények, téma indokoltsága	4
2	Felhasznált módszerek	8
3	Értekezés tudományos eredményei.....	11
4	Főbb hivatkozások.....	17
5	Témában született saját publikációk	19

1 Kutatási előzmények, téma indokoltsága

Kutatásomban azt vizsgálom, hogy a villamosenergia-piaci szereplők saját menetrendi eltéréseikről alkotott vélekedései hogyan alakítják a piaci döntéseiket, és ezek mentén milyen feltételek mellett érdemes közösen fellépniük. A kérdést az energiaközösségek lehetséges gazdasági alapjainak feltárása szempontjából közelítem meg. Nem egy előzetesen meghatározott közösség működéséből indulok ki, hanem azt keresem, hogy a szereplők egyéni érdekei és döntései alapján milyen csoportosulások kialakulása magyarázható.

A villamosenergia-piacon a kereskedelmi megállapodások a tényleges szállítást megelőzően jönnek létre. A megvalósuló fogyasztás és termelés azonban eltérhet az előzetesen vállalt mennyiségektől. A szereplőknek az eltérés várható irányáról és mértékéről előzetesen csak vélekedésük lehet, amelyet a kutatásban kiegyenlítési percepciónak nevezek. Ez nem feltétlenül egyezik meg a később megvalósuló eltéréssel, ugyanakkor már a megállapodások megkötésekor befolyásolhatja a vállalt mennyiségeket, a szerződéses feltételeket és az árakat. A

kiegyenlítetlenség ezért nem kizárólag utólagos elszámolási kérdés, hanem a szállítást megelőző döntések egyik meghatározó szempontja is lehet.

A kutatásban a másnapi és a kiegyenlítő piacok összefüggéseit egységes modellkeretben elemezem. Arra keresem a választ, hogy a szereplők kiegyenlítési percepciói és azok egymáshoz való igazodása alapján kialakíthatók-e a tagok számára gazdaságilag előnyös csoportok. Ehhez kapcsolódóan vizsgálom a pénzügyi ösztönzők döntési és árhatásait, valamint azt, hogy a tagok egyéni érdekeiből levezetett közös célfüggvény megegyezik-e a mérlegkört szervező kereskedő célfüggvényével. A formálisan leírt összefüggéseket egyensúlyi modellek és ágensalapú szimulációk összekapcsolásával vizsgálom.

A villamosenergia-piac liberalizációja, a megújuló termelés térnyerése és a digitalizáció fejlődése jelentősen átalakították a szereplők lehetőségeit. A fogyasztók termelőként is megjelenhetnek, tárolási és szabályozási képességekkel rendelkezhetnek, valamint közösen is részt vehetnek a piaci folyamatokban. Ezzel párhuzamosan az

energiaközösségek létrehozását szabályozási keretek és pénzügyi ösztönzők támogatják. Attól azonban, hogy a közös fellépés jogilag lehetséges, még nem következik, hogy az a résztvevők számára gazdaságilag is előnyös. Hasonlóan, egy megújuló beruházás létrejötte önmagában még nem mutatja meg, milyen többletet ad a közösségi szerveződés.

Éppen ezért nemcsak azt szükséges megérteni, hogyan működjön egy már létrehozott energiaközösség, hanem azt is, hogy mely szereplőknek, milyen érdekeik mentén érdemes közösségbe szerveződni. A közös fellépés előnye függhet a csoport összetételétől, a tagok várakozásaitól, valamint attól, hogy a menetrendi eltérések következményeit milyen módon viselik. A mérlegkörökhöz való szervezeti hasonlóság sem ad önmagában választ erre a kérdésre: attól, hogy mindkét konstrukció szereplőket tömörít, még nem feltétlenül ugyanazt a döntési problémát oldja meg.

Tudományos szempontból a kutatást az indokolja, hogy az áttekintett szakirodalomban nem azonosítottam olyan megközelítést, amely a csoportképzést a szereplők eltérő

kiegyenlítési percepcióira és egyéni gazdasági érdekeire együttesen alapozná. A percepciók figyelembevétele lehetőséget ad arra, hogy a közösségek kialakulását ne előzetesen rögzített szervezeti keretként, hanem a szereplők alkalmazkodásából következő folyamatként vizsgáljam.

A téma gyakorlati jelentőségét az adja, hogy a közösségek támogatása és működésük kialakítása során a szereplők döntéseit és a piac alkalmazkodását együttesen szükséges értékelni. Egy kedvezmény megváltoztathatja a keresletet, ezen keresztül pedig az egyensúlyi árakat is. A kutatással ezért nem az energiaközösségek általános előnyösségét kívánom igazolni, hanem azokat a gazdasági összefüggéseket kívánom feltárni, amelyek mentén a közös piaci fellépés előnyei és korlátai megérthetők.

2 Felhasznált módszerek

A kutatás során saját, egymásra épülő modellekből álló új modellrendszert alkotok, amely kialakításában a villamosenergia-piac működéséről rendelkezésre álló ismeretekre és a szektorban szerzett több mint tizenöt éves tapasztalatomra is támaszkodom. A piaci működés feltárása így nem pusztán a kutatás háttérét adja, hanem a modellezés része is. A szereplők lehetőségeit, érdekeit, információit, valamint a kereskedelmi és elszámolási szabályokat olyan formában építem be a modellekbe, hogy azok a valós működés lényeges összefüggéseit minél közelebbről leképezhessék.

A modellalkotás során a kereslet, a kínálat és a piaci egyensúly alapösszefüggéseiből indulok ki. A kezdeti egyszerűsített leírást lépésenként bővítem a fogyasztói tudatosság, a kiegyenlítési percepciók, a kereskedő közvetítő szerepe, a termelési korlátok és a szereplők egymáshoz igazodásának figyelembevételével. A másnapi és a kiegyenlítő piacot a szereplők döntései és elszámolásai révén kapcsolom össze. Ezzel olyan modellcsalád jön létre, amelyben az egyes tényezők hatása

külön-külön, ugyanakkor a korábban bevezetett összefüggésekkel együtt is vizsgálható.

A vizsgálatokban az egyensúlyelméleti megközelítést numerikus optimalizálással és ágensalapú szimulációval alkalmazom. Az analitikus levezetéseket addig alkalmazom, amíg azok az összefüggések feltárását és értelmezését segítik. A modellek összetettségének növekedésével az egyensúlyi megoldásokat már numerikus eljárásokkal számítom ki. Az ágensalapú szimulációban a szereplők saját kiegyenlítési percepcióikat meghatározott követési szabályok mentén igazítják más szereplőkéhez, míg az ezekből következő árakat és mennyiségeket továbbra is az egyensúlyi modell határozza meg. Így a csoportosulás folyamata és annak a piac egészére gyakorolt hatása együttesen követhető nyomon.

A numerikus számításokat, a szimulációkat és az eredmények megjelenítését saját fejlesztésű MATLAB-környezetben végzem. A MATLAB-ot programozási keretként alkalmazom, az egyensúlykeresés és az ágensalapú szimuláció kidolgozása, valamint szoftveres

megvalósítása is a kutatás részét képezi. Különböző keresleti függvények és paraméteregyüttesek mellett vizsgálom, hogy a bevezetett feltételek változása hogyan alakítja a szereplők döntéseit, és hogyan befolyásolja a kialakuló egyensúlyt.

A modellek validálása matematikai ellenőrzések, ismételt szimulációs vizsgálatok és szakértői konzultációk nyomán történt. A matematikai vizsgálatokkal a leírt összefüggések következetességét ellenőriztem, az ismételt szimulációkkal pedig azt tártam fel, hogy a kapott eredmények különböző kiinduló feltételek mellett mennyiben maradnak fenn. A szakértői konzultációk során a modellfeltevéseket és az eredmények gyakorlati értelmezését a piaci tapasztalatokkal vetettem össze. Mindez nem jelenti a valóság teljes körű leírását, de segíti annak ellenőrzését, hogy az egyszerűsítések mellett megmaradnak-e azok a kapcsolatok, amelyekre a kutatás következtetései épülnek.

3 Értekezés tudományos eredményei

Az első kutatási kérdés mentén azt vizsgáltam, hogy a szereplők saját kiegyenlítési percepciói alapján kialakíthatók-e közös piaci fellépésre alkalmas csoportok. Ehhez olyan követési eljárást vezettem be, amelyben a szereplők egymáshoz igazítják a várható menetrendi eltérésükről alkotott vélekedésüket. A szimulációkban különböző keresleti függvények mellett is létrejöttek olyan csoportosulások, amelyek együttes keresleti függvénnyel jeleníthetők meg a piac többi szereplője felé. A vizsgált esetekben a percepciók közeledése és az egyensúlyi árak viszonylagos stabilitása akkor is fennmaradt, amikor maga a menetrendi eltérés változott. Sikerült olyan csoportképzést bemutatni, amely nem előzetes szervezeti lehatárolásból, hanem a szereplők alkalmazkodásából következik.

A második kutatási kérdésben a pénzügyi ösztönzők hatását vizsgáltam. A támogatásokat a keresleti függvények módosításán keresztül vezettem be, majd az így megváltozott döntések mellett számítottam ki a piaci egyensúlyt. A szimulációk megmutatták, hogy az

ösztönzők hatása nem független a menetrendi eltérésektől és azok figyelembevételétől: bizonyos feltételek mellett a támogatás révén bővülő kereslet magasabb beszerzési árat eredményezett. Éppen ezért a nyújtott kedvezmény önmagában nem mutatja meg a támogatás gazdasági következményét. A fogyasztók megváltozó döntéseit és az ezekből kialakuló árakat együtt szükséges értékelni. Ez nem azt jelenti, hogy a támogatások általában eredménytelenek, hanem azt, hogy a hatásuk megítélésében a piac alkalmazkodása nem hagyható figyelmen kívül.

A harmadik kutatási kérdés mentén a tagok saját érdekeiből kiinduló csoportosulást hasonlítottam össze a mérlegkört szervező kereskedő döntési rendszerével. A kereskedőt tartalmazó modellben a menetrendi eltérés pénzügyi következményét a kereskedő kezeli, és annak várható költségét az árképzésében veszi figyelembe. A csoportképzés során ugyanakkor a tagok saját keresleti függvényei és kiegyenlítési percepcióik maradnak a döntések alapjai. A különbség tehát nem pusztán abban keresendő, hogy ki szervezi a közös piaci megjelenést,

hanem abban is, hogy milyen érdekek és döntési összefüggések mentén teszi azt. Attól, hogy a mérlegkör és a csoport egyaránt szereplőket tömörít, még nem következik a célfüggvényeik egyenértékűsége. A kutatás során sikerült rámutatni a célfüggvények modell szerinti eltérésére, ahogyan a kereskedő az egyensúlyban profit alapú egyenlettel jelent meg a kínálat felé, amely redukálta a keresletből eredő hasznosság alapú megközelítés hatását a teljes piacra nézve. Ez a torzulás a piaci árak és a többletek átrendeződése nyomán volt tetten érhető.

A disszertáció modell alapú kiemelt megállapításai:

Alacsony DA piaci áron nőhet és csökkenthet is a kiegyenlítő termelő által a DA piacra vitt mennyiség. A menetrendezési eltérés növekedése és a DA piac összefüggése nem írható le tendenciózus relációként.

Alacsony kiegyenlítő piaci ár mellett a DA piaci egyensúlyi ár tudatos fogyasztók esetén növekszik, ahogy a menetrendezési hiba nő.

A fogyasztó alacsonyabb menetrend eltérési percepciója a kiegyenlítő szereplőhöz képest a DA piaci árak emelkedésére hat.

A fogyasztó a kereskedő megjelenésével elveszíti a tudatosságát, ezt a szerepet kereskedő veszi át, azonban a profit cél önmagában nem adaptív, a fogyasztónál és a kereskedőnél a menetredezési hiba fundamentálisan másképp jelenik meg. Előbbi hasznosságként, utóbbi lineáris költségelemként.

A kereskedő termék hasznosság helyett pénz hasznosság alapú egyenlettel rendelkezik, ami markánsan eltérő megközelítést jelent az piaci egyensúly szempontjából.

A kapacitás korlátok figyelembevétele már a fogyasztási/termelési függvények leírásánál implicit módon megtörténik, modell szintű kezelésük csak kiemelt esetben indokolt.

A szimuláció segítségével megmutattam, hogy egy véletlenszerű fogyasztói halmazban létezik olyan konvergens csoportosítási eljárás, amely

konstruktív, és amellyel a csoport szereplői kereskedő közbeiktatása nélkül együttesen képesek megjelenni, és fogyasztói többletet elérni.

Szimuláció segítségével igazolható, hogy különböző fogyasztási függvényformák esetén is a piac egésze szempontjából konvergens csoportosulások képesek létrejönni a megalkotott konstruktív eljárással, amely csoportok tagjai együtt tudnak megjelenni a piac egésze felé.

Ha az egyes szereplők a percepciójában közelítenek egymáshoz, az a kialakuló piaci egyensúlyt stabilizálásában egy erősebb tényező, mint az a tény, hogy a percepciójuk tévedése folyamatosan változik.

Pénzügyi ösztönzők révén elért addicionális villamosenergia-fogyasztás a menetrendezési hiba függvényében drágulást, a piaci árak emelkedését képes okozni. Önmagában az RHD beavatkozás, de a CAPEX jellegű beruházás ösztönző sem minden esetben segít a villamosenergia piac szereplőinek.

Az energiaközösségek definiálhatók az előző modellek alapján jól körvonalazott, szükséges és endogén módon kibontható szereplőkként is, amelyek nincsenek átfedésben korábban már létező entitásokkal: A célfüggvényrendszer nem egyezik meg egyik másik korábban definiált szereplő célfüggvényével sem. Jelenléte segíti a piaci egyensúly stabilitásának kialakulását.

4 Főbb hivatkozások

- Abada, I., Ehrenmann, A., & Lambin, X. (2020). On the viability of energy communities. *The Energy Journal*, 41(1), 113-150.
- Botterud, A., Korpas, M., Vogstad, K., & Wangensteen, I. (2002, June). A dynamic simulation model for long-term analysis of the power market. In *Proceedings 14th Power Systems Computation Conference*.
- Bowden, N., & Payne, J. E. (2008). Short term forecasting of electricity prices for MISO hubs: Evidence from ARIMA-EGARCH models. *Energy economics*, 30(6), 3186-3197.
- Bower, J., & Bunn, D. W. (2000). Model-based comparisons of pool and bilateral markets for electricity. *The energy journal*, 21(3), 1-29.
- Bukovszki, V., Magyari, A., Braun, M. K., Párdi, K., & Reith, A. (2020). Energy modelling as a trigger for energy communities: A joint socio-technical perspective. *Energies*, 13(9), 2274.
- Cuisinier, E., Bourasseau, C., Ruby, A., Lemaire, P., & Penz, B. (2021). Techno-economic planning of local energy systems through optimization models: a survey of current methods. *International Journal of Energy Research*, 45(4), 4888-4931.
- Day, C. J., & Bunn, D. W. (2001). Divestiture of generation assets in the electricity pool of England and Wales: A computational approach to analyzing market power. *Journal of Regulatory Economics*, 19(2), 123-141.
- Graf, C. (2025). Simplified short-term electricity market designs: Evidence from Europe. *The Electricity Journal*, 107486.

- Hobbs, B. E. (2001). Linear complementarity models of Nash-Cournot competition in bilateral and POOLCO power markets. *IEEE Transactions on power systems*, 16(2), 194-202.
- Kahn, E. P. (1998). Numerical techniques for analyzing market power in electricity. *The Electricity Journal*, 11(6), 34-43.
- Karakatsani, N. V., & Bunn, D. W. (2008). Forecasting electricity prices: The impact of fundamentals and time-varying coefficients. *International Journal of Forecasting*, 24(4), 764-785.
- Kell, A. J., McGough, A. S., & Forshaw, M. (2022, December). A systematic literature review on machine learning for electricity market agent-based models. In *2022 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)* (pp. 4503-4512). IEEE.
- Möst, D., & Keles, D. (2010). A survey of stochastic modelling approaches for liberalised electricity markets. *European Journal of Operational Research*, 207(2), 543-556.
- Otero-Novas, I., Meseguer, C., Batlle, C., & Alba, J. J. (2000). A simulation model for a competitive generation market. *IEEE transactions on power systems*, 15(1), 250-256.
- Petrichenko, L., Sauhats, A., Diahovchenko, I., & Segeda, I. (2022). Economic viability of energy communities versus distributed prosumers. *Sustainability*, 14(8), 4634.
- Pineda, S., & Morales, J. M. (2016). Capacity expansion of stochastic power generation under two-stage electricity markets. *Computers & Operations Research*, 70, 101-114.

- Ringler, P., Keles, D., & Fichtner, W. (2016). Agent-based modelling and simulation of smart electricity grids and markets—a literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 205-215.
- Schmöller, H. K. (2005). *Modellierung von Unsicherheiten bei der mittelfristigen Stromerzeugungs-und Handelsplanung*. Klinkenberg.
- Shinde, P., & Amelin, M. (2019). *Agent-based models in electricity markets: A literature review* (pp. 3026-3031). IEEE.
- Ventosa, M., Baillo, A., Ramos, A., & Rivier, M. (2005). Electricity market modeling trends. *Energy policy*, 33(7), 897-913.

5 Témában született saját publikációk

SZERZŐ TÉMÁBAN SZÜLETETT FOLYÓIRAT PUBLIKÁCIÓI:

- Cavalcanti, J. H., Kovacs, T., Ko, A., & Pocsarovszky, K. (2024). Production system efficiency optimization through application of a hybrid artificial intelligence solution. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 37(6), 790-807.
- Nick, G., Zeleny, K., Kovács, T., Járvas, T., Pocsarovszky, K., & Kö, A. (2024). Artificial intelligence enriched industry 4.0 readiness in manufacturing: the extended CCMS2.0e maturity model. *Production & Manufacturing Research*, 12(1), 2357683. <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/21693277.2024.2357683>

SZERZŐ TÉMÁBAN TARTOTT ELŐADÁSAI:

- Pocsarovszky K.: Energiaközösségek a hazai gyakorlatban, Az energiaközösségek szerepe az energiaátmenetben - MTVSZ konferencia, 2023. december 7., Budapest
- Pocsarovszky K.: Day-ahead scheduling models of renewable powerplants, OGIK Konferencia, 2022. november 11., Salgótarján
- Pocsarovszky K.: Simulation-based optimization in warehouse problems, Conference of the Doctoral School of Economics, Business and Informatics, 2021. november 18., Budapest
- Pocsarovszky K.: Improvement opportunities on The National Business Information System (SNIA), Chamber of Commerce and Industry of Romania (CCIR), 2021. október 19, Románia, Bukarest
- Dr. Benedek G., Pocsarovszky K.: Szimulációs módszerek alkalmazása az üzleti döntéstámogatásban, IQSymposium, 2011. április 14., Budapest
- Biró P., Pocsarovszky K.: The effects of EU climate legislation on business cycles, 30th CIRET Conference, 2010. október 13-16, USA, New York
- Pocsarovszky K.: Business Cycle and Crisis in the Hungarian Industry, CIRET: „Workshop on Sentiment Indicators and the current Crisis”, 2009. november 9-10., Budapest