

## **Erőmű-beruházások és hosszútávú hatásaik a hazai villamosenergia-piacra**

***Hackel Kristóf***

*PhD hallgató*

*BME Villamos Energetika Tanszék*

*Villamos Művek Csoport*

*hackel.kristof@vet.bme.hu*

*Kulcsszavak: hosszútávú modellezés, erőművi beruházás, magyar villamosenergia-piac*

### **1. Bevezetés**

A villamosenergia-piac liberalizációjának következtében a centralizált döntéshozatalt decentralizált váltotta fel. A hagyományos, centralizált villamosenergia-piacot a monopólium, a befektetéseket az ellátásbiztonság fenntartása jellemezte. A decentralizációval a szabad piaci verseny nyert utat, a befektetési döntéseket már privát energiaipari vállalatok hozzák. A piacon kialakuló árak az ösztönzők a befektetések megindítására, a beruházók elsődleges célja pedig saját profitjuk maximalizálása. Így a hangsúly a fogyasztói igény vagy kereslet kielégítéséről áttolódott az egyéni cégek haszonmaximalizálására. Ez magában hordozza a veszélyt, hogy megfelelő nagyságú árak hiányában az új befektetések elmaradásának következtében a beépített kapacitások a későbbiekben nem lesznek elegendők a jelentkező fogyasztói szükségletek kielégítésére.

A piac új struktúrája tehát olyan alapvető kérdések felvetését igényli, mint pl. hogy a decentralizált döntéshozatal vajon biztosítja-e hosszútávon a stabil és kellően alacsony villamosenergia-árakat, illetve az ellátás egy megfelelő szintű biztonságát. Emiatt szükségessé válik olyan modellek kialakítása, amelyek a villamosenergia-rendszerbe való befektetés hatásait és a piac hosszútávú működését modellezik, szimulálják. Ennek okán készítettem el egy, a villamosenergia-piac dinamikus változásainak leképezésén alapuló szimulációs modellt Matlab programozási környezetben.

A szimulációs modell a magyar villamosenergia-piacra jellemző adatokkal kerül feltöltésre és lefuttatásra. A modell segítségével az egyes termelési technológiák jövőbeli elterjedése nyomon követhető, illetve tetszőleges scenáriók hatásainak elemzése válik lehetővé, aminek a hasznossága kiemelten fontos a közelmúlt (és jelen) különösen bizonytalan gazdasági körülményei között.

## 2. A szimulációs modell működése

A modell egy többszörösen visszacsatolt, késleltetéseket is tartalmazó nemlineáris rendszer. Működésének lényege:

- az új kapacitáskiépítések és erőműkivonások következtében megváltozott kínálat hatására kialakuló villamosenergia-árak és kereslet kiszámítása, illetve
- az árak és kereslet változásainak az új beruházási döntésekre gyakorolt hatásának meghatározása.

A modell tehát a kereslet-kínálat dinamikus változásainak leképezésével készít becslést a villamosenergia-piac jövőben várható fejlődésére. A modell éves időbeni felbontásban vizsgálja a piacot, szabadpiaci körülményeket feltételezve és szabadpiaci éves átlagárakkal dolgozva. A megfelelő piaci környezet esetén meghozott beruházási döntések minden év elején születnek.

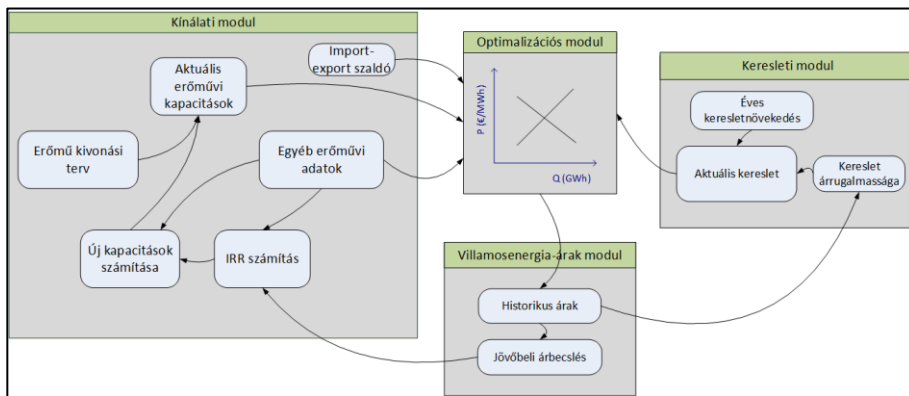
A villamosenergia-piacon kialakult árak a kereslet-kínálat egymáshoz képesti viszonyát tükrözik. Ha a kínálat növekszik, vagyis kapacitáskiépítés történik, akkor a kínálati görbe eltolódása következtében az árak csökkenni fognak. E csökkent árak csökkentik a további befektetési hajlandóságot. Az alacsony árak hosszútávon képesek megváltoztatni a fogyasztási szokásokat, így a kereslet növekedésével és a korszerűtlen erőművek leépítésével az árak emelkedésnek indulnak, ami új befektetőket vonz a piacra.

Azt, hogy a befektetők milyen technológiával működő erőműbe ruháznak be, az szabja meg hogy milyen az adott technológia jövedelmezőképessége. Ez az erőmű jövőben várható pénzáramlásaitól és beruházási költségétől függ. A befektetők jövőbeli pénzáramlásaik számításának céljából próbálják megbecsülni a jövőben kialakuló villamosenergia-árakat, és azt felhasználva döntést hoznak. Beruházási döntésükkel az adott erőmű felépítését követően hatást gyakorolnak a piac egészére, és így az árakra is. A megváltozott árak megváltoztatják nemcsak a keresletet, hanem a jövőbeli villamosenergia-ár előrejelzéseket is, ami befolyásolja a további befektetési döntéseket. A modellem ezt a dinamikus viselkedést követi nyomon és képezi le.

Az elkészített modell négy különböző modulból épül fel: a kínálati és keresleti modulból, az optimalizációs modulból és a villamosenergia-árak modulból. Az 1. ábra mutatja a modell egyszerűsített felépítését és a modell elemei közötti főbb kapcsolatokat.

A modellben definiált különböző erőműtípusok technológiájuknak megfelelően eltérő tulajdonságokkal rendelkeznek. Ilyen tulajdonságuk például a termelési, beruházási költségük, a kiépíthető minimális és maximális kapacitásuk, a felépítésükhöz szükséges idejük, stb. A befektetők a múltbeli villamosenergia-árakból becslést tesznek a jövőbeliekre, amely becslésből számítható az egyes erőművek megtérülése. Amennyiben ez meghalad egy minimális szintet, úgy megkezdődik az erőmű építése. Az építendő erőmű kapacitását az határozza meg, hogy mennyire jövedelmező a költségei és a várt

villamosenergia-árak alapján. Az építési időt követően a kínálat kibővül a felépített kapacitásoknak megfelelően, illetve csökken az abban az adott évben esedékes erőmű kivonások kapacitásával. A kereslet folyamatos változását az árra való reagálás, illetve a folyamatos évenkénti keresletnövekedés határozza meg. E két összefüggő folyamat (kínálat és kereslet változása) eredményeként alakul ki minden egyes évben az egyensúlyi ár, amely ezután részét képezi majd a jövőbeli árbecslés alapjául szolgáló múltbeli adatoknak, és a folyamat újraindul.



1. ábra: A modell felépítése: modulok és a leglényegesebb kapcsolataik

## Villamosenergia-árak modul

Ahhoz, hogy a különböző típusú erőművek megtérülését számítani lehessen (ami a későbbiekben alapul szolgál a kapacitáskiépítések mértékének meghatározásához) elengedhetetlen a jövőbeli villamosenergia-árak becslése. A modell ezt a becslést a múltbeli árakat felhasználva Holt lineáris trend modelljének [1] segítségével végzi. E becslési eljárás a közelmúlt árait nagyobb súllyal veszi figyelembe és a trendhatásoknak megfelelően tesz előrejelzést. A becslés egy csillapítási tényezővel is kiegészítésre került, hogy a távolabbi (10-20 év) évekre készült előrejelzés a trendhatásokat követve ne váljon túlzóvá, vagyis a modellt ne becsüljön túl. A becslési eljárás matematikai leírását az (1) egyenlet mutatja.

$$\begin{aligned} \hat{p}_{t+h|t} &= l_t + (\phi + \phi^2 + \dots + \phi^h) \cdot b_t \\ l_t &= \alpha \cdot y_t + (1 - \alpha) \cdot (l_{t-1} + \phi \cdot b_{t-1}) \\ b_t &= \beta \cdot (l_t - l_{t-1}) + (1 - \beta) \cdot \phi \cdot b_{t-1}, \end{aligned} \quad (1)$$

ahol  $\hat{p}_t$  a  $t$ . évre becsült ár,  $h$  a becsült évek száma,  $l_t$  a  $t$ . év árának becsült szintje,  $b_t$  a  $t$ . év becsült meredeksége,  $\alpha$  és  $\beta$  simítási konstansok és  $\phi$  a csillapítási faktor.

A modell futtatásához bemeneti változóként definiálni szükséges az elérhető múltbeli villamosenergia-árakat. A szimuláció minden egyes ciklusában a múltbeli árak adatbázisa az adott évi kereslet-kínálat által meghatározott egyensúlyi árral bővül, amelynek köszönhetően a következő ciklusban más villamosenergia-árak kerülnek majd becslésre.

## Kínálati modul

Az előrejelzett villamosenergia-árakkal, valamint az egyes technológiákra jellemző beruházási és változóköstségekkel egy erőmű belső megtérülési rátája (IRR- Internal Rate of Return) számolható. A belső megtérülési ráta egy jövedelmezőségi mutató, és értéke az a kamatláb, amely mellett a beruházás nettó jelenértéke egyenlő nullával ((2) egyenlet). Nagyobb belső megtérülési ráta nagyobb jövedelmezőséget jelent.

$$NPV = C_0 + \frac{C_1}{1 + IRR} + \dots + \frac{C_t}{(1 + IRR)^t} = 0, \quad (2)$$

ahol  $NPV$  a nettó jelenérték,  $C_0$  a beruházási költség,  $C_t$  a  $t$ . évi nettó cash flow,  $IRR$  pedig a belső megtérülési ráta.

Különböző erőműtípusok eltérő költségekkel, építési idővel és átlagos kihasználtsággal rendelkeznek, így belső megtérülési rátájuk is különbözik. Ezek a megtérülési ráták minden évben változnak az előrejelzett villamosenergia-árak miatt.

Befektetési döntések az egyes erőműtípusok jövedelmezősége alapján születnek. Minél jövedelmezőbb egy technológia, annál több kapacitás kiépítésébe ruháznak be a befektetők. Minden erőműtípushoz definiálásra kerül egy minimális és egy maximális belső megtérülési ráta szint és a hozzá tartozó kiépíthető kapacitás. Ha egy erőmű belső megtérülési rátája egy adott évben a minimális szint alatt van, akkor nem történik kapacitáskiépítés, ha a maximális szint feletti, akkor a kínálat az erőműtípushoz tartozó maximális kiépíthető kapacitással fog bővülni. Közbülső belső megtérülési ráta esetén a minimális és maximális kiépíthető kapacitási érték közötti lineáris függvénynek megfelelő kapacitással történik a bővítés.

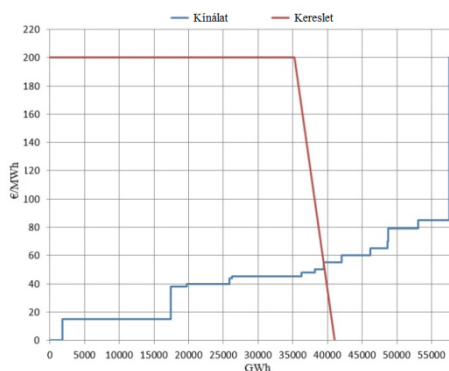
Az aktuális kapacitással, az egyes technológiákhoz tartozó átlagos kihasználtsággal és határköstségekkel előállítható a kínálat görbéje (2. ábra). Az egyes lépcsők az egyes erőműtípusokat reprezentálják a hozzájuk tartozó határköstséggel.

## Keresleti modul

A kereslet leképezése a kínálathoz képest aggregáltabb formában történik. Ennek oka, hogy az egyes fogyasztói szegmenseket jóval nehezebb elkülöníteni egymástól, mint a különböző termelési technológiákat. Ezen kívül a fogyasztók döntő többségét rövidtávú árrugalmatlanság jellemzi, ami azt jelenti, hogy fogyasztási szokásaikat nem képesek egyik pillanatról a másikra megváltoztatni. Természetesen hosszútávú árrugalmassággal minden fogyasztó rendelkezik, hiszen hosszabb távon megváltozhat a villamosenergia-fogyasztási szokásuk, illetve az ipari fogyasztók beruházhatnak olyan berendezésekbe, amelyek lehetővé teszik más energiaforrás használatát. Minél nagyobb mértékben változik meg a villamos energia ára, annál nagyobb lesz a fogyasztásban bekövetkező változás is. A várható hosszútávú keresletnövekedés leképezésére egy exogén változóként definiált növekedési ütemmel az aktuális kereslet évenként növekszik. A kereslet görbéje megfigyelhető a 2. ábrán.

## Optimalizációs modul

Az optimalizáció lényege a társadalmi jólét (fogyasztói és a termelői többlet) maximalizálása, és célja az egyensúlyi ár meghatározása. Az optimalizáció során a változó költségek határköltségként jelennek meg tökéletes versenyt feltételezve. Az egyensúlyi ár grafikusán a kínálati és keresleti görbe metszéspontjánál alakul ki, ahogyan az a 2. ábrán megfigyelhető.



2. ábra: Keresleti és kínálati görbe

### 3. Specifikáció a magyar villamosenergia-piacra

A villamosenergia-árak modul historikus adatai az 1996-os évektől kerültek feltöltésre. 2010 óta rendelkezésre álltak szabadpiaci éves átlagárak a HUPX megalakulása révén. 2004 és 2010 között az árak a kapacitás aukciók [2] szerint kerültek megválasztásra, amelyek szabadpiaci áraknak tekinthetők. 1996 és 2004 között csak végfelhasználói árak álltak rendelkezésre, így azokból közelítőleg számítottam a fiktív szabadpiaci átlagárakat, figyelembe véve az ÁFA változását is.

A kínálati oldal adatait a jelenleg üzemelő magyar erőművek adatai alapján töltöttem fel. A befektetők által választható erőműtípusok megfelelnek a Magyarországon üzemelő 50 MW-nál nagyobb teljesítményű erőműveknek, valamint a különböző technológiák szerint működő kiserőműveknek. Minden év végén az azonos technológiával üzemelő épített erőművek kapacitása összegzésre kerül a magyar villamosenergia-piac fejlődésének elemezhetősége érdekében. Az egyes erőművek főbb paraméterei láthatók az 1. táblázatban. Az átlagos kihasználtságot a [3] és [4] szerint választottam meg, valamint a határköltségeket az [5] és [6] alapján definiáltam. A megújuló források határköltsége nulla értékkel van figyelembe véve, hiszen rájuk kötelező átvétel vonatkozik. Az építési időket [7] alapján választottam meg. Az erőműkivonási-tervet a [4] szerint implementáltam. Megjegyzésre érdemes, hogy a 400 MW-nál nagyobb kapacitásleépítéseket a modell figyelmen kívül hagyja, hiszen e blokkok, erőművek stratégiai fontossággal bírnak és leépítésükről, valamint pótlásukról nem csupán gazdasági mechanizmusok szerint döntenek, hanem az energiapolitikai érdekeket és egyéb szabályozásokat is szem előtt tartva. Ez a Paksi Atomerőművet, valamint a Mátrai Erőmű két blokkját érinti.

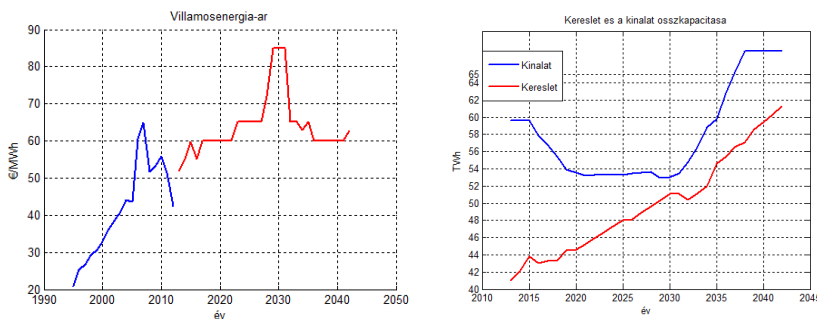
1. táblázat: Erőművek Magyarországon

Erőmű	Teljesítmény (MW)	Átlagos kihasználtság (óra/év)	Határköltség (€/MWh)	Technológia	Erőmű	Teljesítmény (MW)	Átlagos kihasználtság (óra/év)	Határköltség (€/MWh)	Technológia
<b>Alaperőművek</b>					<b>Hőszolgáltató</b>				
Paks	2000	7800	15	nukleáris	Budapest	410	4000	48	CCGT (fűtőszeszanos)
Mátra	950	6500	40	szén-lignit	Debrecen	95	3500	48	CCGT (fűtőszeszanos)
Oroszlány	240	5500	50	szén-lignit	Pécs+Ajka	174	2000	44	biomassza
<b>Menetrendtartó erőművek</b>					ISD Power	65	2000	60	CCGT
Dunamenti gáz	860	1000	79	gas	<b>Kiserőművek</b>				
Dunamenti CCGT	826	3000	60	CCGT	Cáz	750	3000	38	gáz
Gönyű	440	3500	60	CCGT	Szél	330	2000	0	szél
Bakonyi	120	1000	70	OCGT	Nap	10	1300	0	nap
GTER	410	30	120	OCGT (olaj)	Egyéb	260	4500	0	víz, biomassza, fölgáz, stb.

## 4. Eredmények

### A villamosenergia-árak és a kereslet-kínálat fejlődése

A 3. és 4. ábra mutatja a villamosenergia-árak és kereslet-összkínálat változását 2014 és 2043 között. Előbbi ábrán a kék szín a tény adatokat jelöli, míg a piros a modell által számoltakat. Utóbbi ábrán a kék szín az összkínálatot jelenti, vagyis a kiépült kapacitások által megtermelhető energia mennyiségét, míg a piros a keresletet jelöli. A termelt és fogyasztott energia mindig egyenlő.

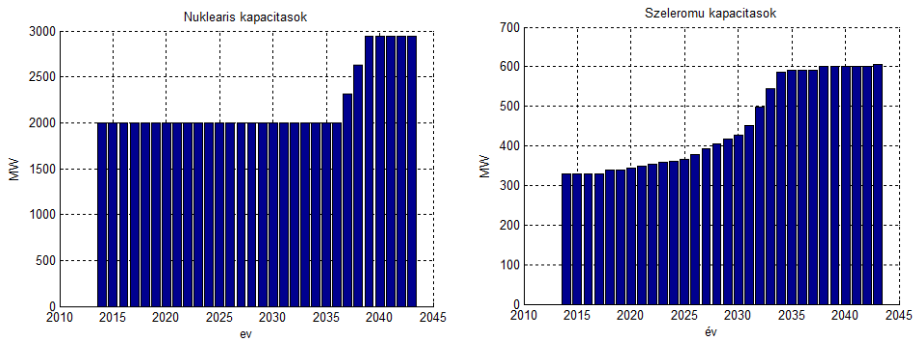


3. és 4. ábra: Villamosenergia-ár, illetve a kereslet- összkínálat alakulása

2014-től kezdve az árak nem elegendően magasak új kapacitáskiépítések ösztönzéséhez. Az erőműlépítéseknek köszönhetően 2015-től 2021-ig folyamatos kapacitáscsökkenés figyelhető meg. Ezzel párhuzamosan a kereslet növekszik az éves növekedési faktor mértékével. A villamosenergia-árak enyhén emelkednek. 2031-ben a maximálisan nyújtható (importot is figyelembe véve) kínálat és a kereslet között a legkisebb a különbség, így az árak ugrásszerűen megnövekednek. Az ár meredek növekedésének köszönhetően a villamosenergia-ár előrejelzések is kedvezőbbek befektetői oldalról, így megindulnak a kapacitáskiépítések, amelynek következtében a kínálat folyamatosan növekszik, és visszaszorítja az árakat. Megjegyzésre érdemes a 2032-ben tapasztalható kereslet visszaesés, amely a megnövekedett árakra való fogyasztói reakció következménye.

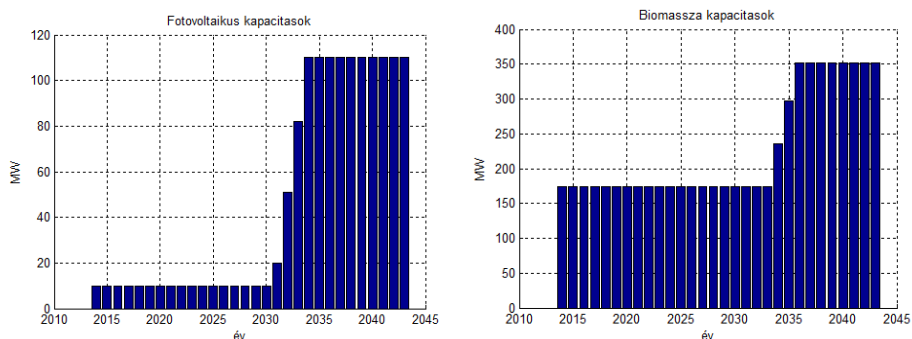
### A termelési technológiák fejlődése

A 5. ábra illusztrálja a nukleáris kapacitások várható változásait. A modell szerint 2030-ban történik beruházási döntés, aminek következtében az építési időt követően a 2000 MW-os kapacitás fokozatosan 3000 MW-ra bővül. Megjegyzésre érdemes, hogy Magyarországon jelenleg tervezik a Paksi Atomerőmű bővítését 1200 MW-tal 2025-ig, amely a modell kimenetével nagyságrendileg összhangban van.



5. és 6. ábra: Nukleáris és szelerőműi kapacitások

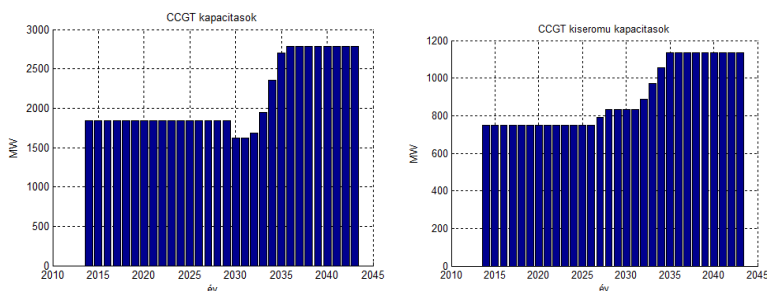
A 6-8-as ábrák a megújulók terjedését mutatják be. A szelerőművi, fotovoltaikus és biomassza kapacitások is bővülnek, habár a penetráció mértéke mérsékelt. Magyarországon a jelenleg engedélyezett 330 MW-nyi szelerőművi kapacitás korlátjával a modell nem számol.



7. és 8. ábra: Fotovoltaikus és biomassza kapacitások

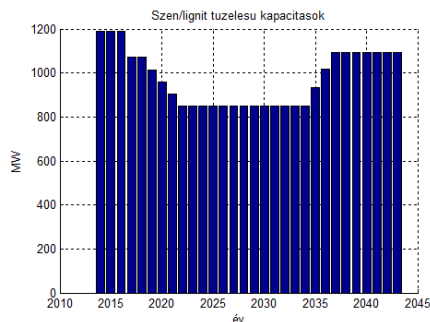
A 9. és 10. ábrák a kombinált ciklusú gázturbinák (CCGT) elterjedését mutatják. Jelenleg ez az egyik legmodernebb technológia, így a modell alapján becsülhető kapacitásuk a jövőben is számottevő lesz.





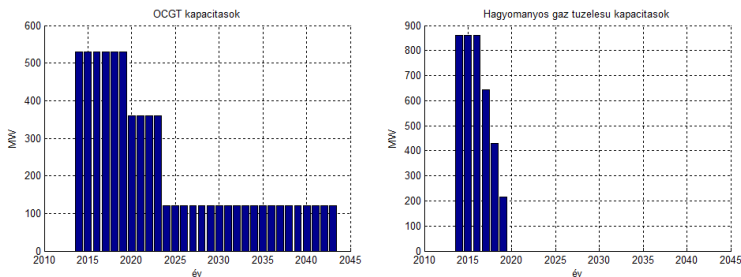
9. és 10. ábra: CCGT kapacitások

A szén/lignit tüzelésű erőművi kapacitások alakulása látható a 11. ábrán. A kezdeti erőműlépítések a későbbiekben pótlásra kerülnek, így stagnáló technológiaként lehet rá tekinteni. Ez természetes is, hiszen mint alaperőművek kulcsfontosságú szerepet töltenek be a villamosenergia-rendszerben, így rájuk várhatóan a jövőben is szükség lesz.



11. ábra: Szén/lignit tüzelésű kapacitások

A 12. és 13. ábrák mutatják a nyílt ciklusú (OCGT) és a hagyományos gáztüzelésű kapacitások alakulását. Megfigyelhető, hogy mindkettő hanyatló technológia, elavult, nem elegendően gazdaságos termelési technológia, és ennek következtében a jövőben várhatóan csökkenni fog a kapacitásuk a villamosenergia-rendszerben.



12. és 13. ábra: OCGT és hagyományos gáztüzelésű kapacitások

## 5. Összefoglalás

Az elkészített szimulációs modell a villamosenergia-piac hosszútávú fejlődését képes bemutatni a kereslet-kínálat dinamikus változásainak leképezésével. A modellt a magyar villamosenergia-piacra specifikáltam az exogén változók megfelelő megválasztásával. Bemutattam a kapott eredményeket és az egyes technológiákat megkülönböztettem terjedő, stagnáló vagy hanyatló fejlődésük szerint. A modell segítségével különböző scenáriók elemzése válik lehetővé, például elemezni lehet a megújulók elterjedésének hatását az árakra, illetve az egyéb technológiákba történő beruházási hajlandóság változására. Fontos megjegyezni, hogy a modell csak nyilvánosan hozzáférhető, nem validált adatok alapján készült, továbbá elhanyagolásokat tartalmaz, így stratégiai döntések meghozatalához jelen formájában nem szolgálhat alapul. A modell további fejlesztési lehetőségei például a felbontási idő növelése, szezonális hatások figyelembe vétele, illetve sztochasztikus változók bevonása.

## Hivatkozások

- [1] Rob J. Hyndman (2002, Aug): „Forecasting based on state space models for exponential smoothing”. [Online]  
Elérhető: <http://peerforecaster.com/downloads/pegels.pdf>
- [2] MVM Kapacitás aukció [Online]  
Elérhető: <http://www.mvm.hu/hu/hirek/SitePages/newsType.aspx?Type=Trade>
- [3] Dr. A. Stróbl, GTTSZ: Hazai energiaforrásaink és lehetőségeik, „A hazai erőműépítés helyzete és távlatai”, előadás, Hungexpo, Budapest, 2010. május 4.
- [4] Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító ZRt., Rendszerirányítási Igazgatóság, Rendszerszintű Tervezési és Elemzési Osztály, „A Magyar Villamosenergia-rendszer közép- és hosszútávú forrásoldali kapacitásfejlesztése 2012.”, Budapest, 2012
- [5] Regionális Energiagazdasági Kutatóközpont (REKK), „A kapcsolt hő- és villamosenergia-termelés versenyképessége és szabályozási kérdései Magyarországon”, Budapesti Corvinus Egyetem, 2010, 69. oldal
- [6] Energiakutató Intézet (EKI Kft.)- REKK, „A hazai végső energia-felhasználás és a villamosenergia-ár prognózisának elkészítése 2020-ig”, Budapest, 2009, 38. oldal
- [7] GKI Energiakutató és Tanácsadó Kft, „Erőműfejlesztések az EU-ban és a hazai alternatívák”, Energiapolitikai Füzetek XVI. szám, Budapest, 2009, 13. oldal
- [8] European Committee, „A Bizottság jelentése a Tanácsnak és az Európai Parlamentnek a villamosenergia-ellátás biztonságát és az infrastrukturális beruházások védelmét célzó intézkedések előrehaladásáról” 52010DC0330, Brussels, 2010
- [9] GKI Energiakutató és Tanácsadó Kft., „Az állam szerepe a villamosenergia-szektorban”, Energiapolitikai Füzetek I. szám: Budapest, 2005, 23. oldal