



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Villamos Energetika Tanszék

Hackel Kristóf

**Erőművi befektetések és hatásaik modellezése a  
villamosenergia-piac hosszútávú fejlődésének elemzéséhez**

Tudományos Diákköri Dolgozat

Konzulens  
Divényi Dániel

Budapest, 2013

## Tartalom

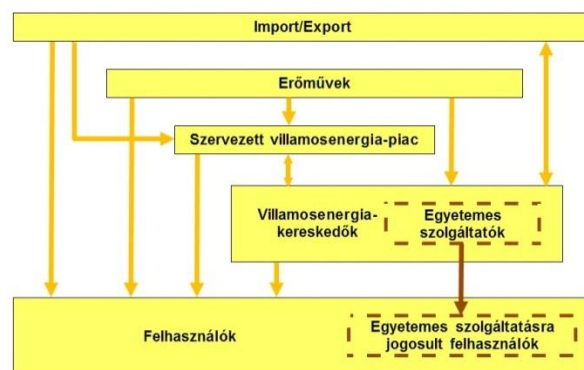
1	Bevezetés.....	3
1.1	Témakör ismertetése .....	3
1.2	Szimulációs, optimalizációs és ökonometriai modellek .....	4
1.3	A TDK dolgozatom célja.....	6
1.4	A dolgozat felépítése .....	7
2	Háttérismeretek .....	7
2.1	A szabad piac mechanizmusai .....	7
2.2	Egyensúlyi-ár és optimalizáció.....	9
2.3	Jövőbeli árbecslések, előrejelzések .....	10
2.3.1	Exponenciális simítás.....	11
2.3.2	Holt lineáris trend modellje .....	11
2.3.3	Csillapodással kiegészített lineáris trend modell.....	12
2.4	Jelenérték-számítás és belső megtérülési ráta .....	12
3	A szimulációs modell működésének bemutatása .....	14
3.1	A modell működésének magas szintű leírása.....	15
3.2	Villamosenergia-árak modul .....	16
3.3	Kínálat modul .....	18
3.4	Keresleti modul .....	20
3.5	Optimalizációs modul.....	21
3.6	Exogén változók összefoglalása.....	23
4	A modell magyar villamosenergia-piacra való specifikációja .....	24
4.1	Villamosenergia-ár modul .....	24
4.2	Kínálati modul.....	25
4.3	Keresleti modul .....	30
5	A szimulációs modell futtatása.....	32
5.1	Első scenárió: Alapeset .....	33
5.2	Második scenárió: Megújulók.....	38
5.3	Harmadik scenárió: Havária esemény .....	40
6	ÖSSZEFOGLALÁS .....	43
7	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS .....	45
8	IRODALOMJEGYZÉK .....	46

9	ÁBRAJEGYZÉK .....	49
10	TÁBLÁZATJEGYZÉK.....	50

# 1 Bevezetés

## 1.1 Témakör ismertetése

Az elmúlt időszakban a villamosenergia-piac nagy változásokon ment keresztül szerte Európában. A piac liberalizációja Magyarországon 2003. január elsejével kezdődött meg, és folyamatosan valósult meg. Jelenleg a felhasználók már szabadpiaci körülmények között szerezhetik be a villamos energiát, 2010 nyarán pedig elkezdte működését a magyar áramtőzsde - a HUPX -, amely jelenleg a másnapi kereskedési időtávon már a cseh és szlovák piaccal összekapcsolva működik. Továbbá kezdeményezések és kötelező érvényű határozatok megszülettek az Egységes Európai Villamosenergia-piac létrehozására (tervezetten 2014 végére). A liberalizáció célja a kompetitív piac megteremtése, a termelői oldal gazdaságosabb és hatékonyabb működésének kikényszerítése és ennek köszönhetően a végfelhasználói árak csökkenésének elérése. A különböző régiók piac-összekapcsolásával az ellátásbiztonság növelhető, a kereskedés likviditása nagyobbá, az árak stabilabbá válhatnak.



1-1. ábra Liberalizált villamosenergia-piac Magyarországon, forrás: mekh.hu

A liberalizáció következtében a centralizált döntéshozatalt decentralizált váltotta fel. 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, elsődleges céljuk pedig saját profitjuk maximalizálása. Vagyis 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 továbbá nem lesznek elegendőek a jelentkező fogyasztói szükségletek

kielégítésére. A piac új struktúrája tehát olyan alapvető kérdések felvetését igényli, minthogy a decentralizált döntéshozatal vajon biztosítja-e hosszútávon a stabil és kellően alacsony villamosenergia-árakat, illetve az ellátás egy megfelelő szintű biztonságát. Ez alatt pedig a szükséges nagyságú és ütemezésű új erőművi kapacitásokba való befektetéseket értem.

Ennek okán szükségessé válnak olyan modellek kialakítása, amelyek a villamosenergia-rendszerbe való befektetés hatásait és a villamosenergia-piac hosszútávú működését modellezik, szimulálják.

Ezek a modellek egyik oldalról az energiaipari cégek befektetési döntéseit támogatják azáltal, hogy alátámasztják vagy megcáfolják a beruházási döntés indokoltságát, esetleg meghatározzák az optimális befektetés időpontját. E vállalatok hosszútávú eredményessége nagyban függ attól, hogy mennyire sikeresen képesek előre jelezni a villamosenergia-piacon adódó változásokat, illetve milyen stratégiával reagálnak a piacon bekövetkező fluktuációkra. A piac szimulálása e stratégiák kialakításához, a változásokra való felkészüléshez is nyújthat segítséget.

Másik oldalról e modellek a piac hosszútávú működésének és dinamikájának leképezésével a szabályozó hatóságoknak szolgálnak útmutatásul, hogy mikor, mekkora és milyen típusú támogatások szükségesek a beruházási hajlandóság növelésére abban az esetben, ha a kiépített kapacitások nem elegendően nagyok. Továbbá a piac működésének szimulálása segíthet megelőzni az olyan nem kívánt mellékhatásokat, amelyeket hibás hatósági döntések idéznének elő, ezáltal csökkentve a befektetők bizalmát a szabályozóhatósági szervezetben és magában a piacban.

## **1.2 Szimulációs, optimalizációs és ökonometriai modellek**

John D. Sterman [1] szerint általánosságban a modelleknek alapvetően három főbb csoportja létezik. Ezek az:

- optimalizációs modellek,
- ökonometria modellek,
- és a szimulációs modellek.

Ezeken belül pedig a modellek lehetnek statikusak vagy dinamikusak, matematikai vagy fizikai, illetve determinisztikus vagy sztochasztikus modellek.

Az *optimalizációs* modellek arra adnak választ, hogy egy bizonyos helyzetben mi a teendő, hogy annak a legjobb, legkedvezőbb kimenete legyen, arra azonban nem, hogy egy adott szituációban mi is fog történni. E modellekhez szükséges bemeneti adatok a célfüggvény, a döntési változók, illetve a korlátok definiálása. Jellemzően e modellekben nincsenek visszacsatolások, hiszen az ennek köszönhető bonyolultság és nemlinearitás miatt könnyen megoldhatatlanná válna a probléma.

Az ilyen modellek elsősorban a villamosenergia-ipari vállalatoknak adnak útmutatást arra, hogy bizonyos szituációkban miként viselkedjenek. Például a szervezett villamosenergia-piacon milyen stratégiával határozzák meg az ajánlattételeket [2], vagy hogy egy befektetőnek adott piaci körülmények között érdemes-e beruházni [3].

Az *ökonometriai* modellek sokban hasonlítanak a szimulációsakhoz, mert mindkettő a jövőt próbálja előre jelezni, csak különböző technikákkal. Az utóbbi a fizikai valóság leképezésével, míg előbbi múltbeli adatokból statisztikai módszerek segítségével. Ebből következik egyik legnagyobb gyengesége is: a múltban nem tapasztalt jelenségekhez nem tud iránymutatást adni. Az ökonometriai modellek három fő részből épülnek fel: a specifikációból, vagyis a modell struktúrájának leírásából, becslésből, ahol a modell paramétereit múltbeli adatok segítségével közelítik, illetve az előrejelzésből, amely megbecsüli a valós rendszer viselkedését a jövőben. Ez az előrejelzés jellemzően rövidtávú.

Ökonometria modelleket elsősorban a villamosenergia-árak modellezésénél használnak, annak statisztikai módszerekkel történő előrejelzéséhez, illetve más energiahordozókkal való korrelációjának meghatározásához. A villamosenergia-árakat három különösen fontos tulajdonság jellemzi: a szezonális, a változékonyság, illetve az átlaghoz való visszatérés („mean reversion”) [4]. E paraméterek számszerűsítéséhez és mértékének meghatározásához használhatóak az ilyen típusú modellek, mint az látható a [5] [6] [7]. Az ökonometria modellek továbbá az [8] alapján nagy segítséget nyújthatnak a reálopció elméleten alapuló beruházási értékeléseknél.

A *szimulációs* modellek célja valóságos rendszerek működésének leképezése, ezáltal azok viselkedésének tanulmányozhatóvá tétele. Ezek a modellek nem arra keresnek választ, hogy mit kéne tenni egy bizonyos cél elérése érdekében, hanem hogy egy bizonyos szituációban adott körülmények között előreláthatólag mi fog történni. Ezért a szimulációs modelleket

szokás „what if”, vagyis „mi történne, ha” modelleknek is hívni. A valóság leképezéséhez elengedhetetlen a tanulmányozni kívánt probléma szempontjából releváns fizikai világ, valamint a döntéshozási szabályok definiálása. E modellek gyakran tartalmaznak ún. „soft” változókat [1], amelyek olyan exogén változók, amelyek nem konkrét tényadatok, hanem becsült, közelített értékek. Azért szükséges őket közelíteni, mert vagy semmilyen statisztikai adat nem áll rendelkezésre, vagy még inkább azért, mert olyan tulajdonságot próbálunk meg a változóval leírni, ami nem mérhető. Ha például egy modell szemléltetni próbálja az emberi tényezőkből fakadó, időnként nem racionális döntéshozatalt, akkor az a döntést befolyásoló sztochasztikus változók segítségével megtehető, azonban a változékonyságának mértékét csak becsléssel lehet közelíteni.

Ezek a szimulációs modellek teszik lehetővé a villamosenergia-piac hosszútávú fejlődésének vizsgálatát. Fontos hangsúlyozni a befektetők és a piac közötti visszacsatolást, kölcsönös egymásra hatást: a piacon kialakuló árak motiválják a befektetőket erőművi beruházások megvalósítására. Egy-egy ilyen beruházás a kapacitás kiépülése után akár önállóan is képes befolyásolni a piacon kialakuló árakat. Ezek a visszacsatolások és késleltetések adják a modell dinamikus voltát. A nemzetközi szakirodalomban hasonló modellekkel foglalkozott és dolgozott ki [9] és [10].

### **1.3 A TDK dolgozatom célja**

A TDK dolgozatom célja egy olyan szimulációs modell megtervezése, dokumentálása és megvalósítása Matlab környezetben, amely a villamosenergia-piac hosszútávú fejlődését képes bemutatni. E fejlődés a villamos energia kereslet és kínálat folyamatos változásának következménye.

A dolgozat kiemelt figyelmet szentel a kínálati oldalon az új erőművi kapacitáskiépüléseknek és hatásaiknak. Az elkészült 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, amely hasznossága kiemelten fontos a közelmúlt különösen bizonytalan gazdasági körülményei között.

Hasonló, a villamosenergia-piac működését szimuláló modellek a magyar szakirodalomban nincsenek publikálva, így e téren hiánypótlásként is szolgál.

## 1.4 A dolgozat felépítése

- TDK dolgozatom első fejezetében ismertetem az alapvető piaci mechanizmusokat, a modell elkészítése során használt alapfogalmakat, illetve a modell működésének megértéséhez hasznos elméleti háttérrel.
- A második fejezetben a modell felépítését mutatom be, és leírom annak pontos működését.
- A dolgozatom harmadik fejezetében az elkészült szimulációs modellel a magyar villamosenergia-piacra jellemző adatokkal és sajátosságaival specifikálom.
- Végül az elkészült és specifikált szimulációt lefuttatom, annak eredményeit ismertetem és különböző elméleti scenáriókat vizsgálom.

## 2 Háttérismeretek

### 2.1 A szabad piac mechanizmusai

A piac Chikán Attila definíciója alapján „valamely jószágnak vagy szolgáltatásnak azokból a tényleges és potenciális vevőiből és eladóiból tevődik össze, akik csere céljából kerülnek egymással kapcsolatba” [11]

Ez alapján minden piac, így a villamosenergia-piac is egy keresleti és egy kínálati oldallal írható le. A villamos energia potenciális vevői a fogyasztók, potenciális eladói pedig hagyományos megközelítés szerint az erőművek, vagyis a termelők. A liberalizált villamosenergia-piac miatt természetesen már nem csak ők lehetnek az eladók, hanem a kereskedők is, azonban végső soron ők is termelőktől vásárolják meg az értékesített energiát. Mind a keresleti, mind a kínálati oldal magatartása leírható mikroökonómiai eszközök segítségével keresleti és kínálati görbéként.

A keresleti görbe kifejezi az egyes fogyasztók adott rezervációs ár melletti számát. Hal R. Varian [12] alapján rezervációs árnak nevezzük azt a maximális összeget, amelyet egy adott személy hajlandó kifizetni egy jószágért, esetünkben a villamos-energiáért. Más szavakkal a rezervációs ár mellett a vásárlónak közömbös, hogy megveszi-e az adott jószágot, vagy sem. A keresleti görbe egy-egy pontja tehát az egyes fogyasztók rezervációs árát mutatja.

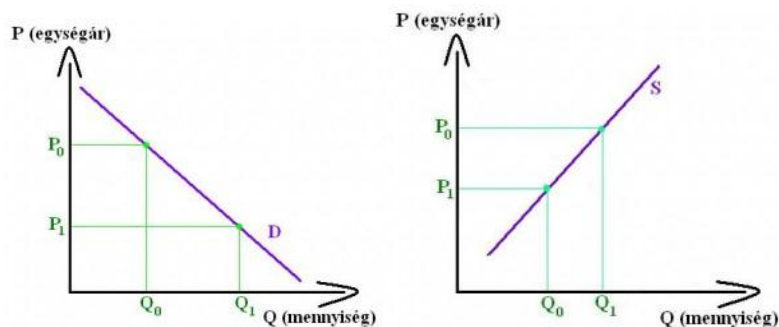


Ilyen keresleti görbe látható az 2-1. ábra bal oldalán.

Egy adott  $P$  ár mellett annyi fogyasztó kíván vásárolni, amennyinek a rezervációs ára nagyobb vagy egyenlő, mint  $P$ . Az ábrán  $P_0$  ár mellett  $Q_0$ , míg  $P_1$  mellett  $Q_1$  fogyasztó vásárol.

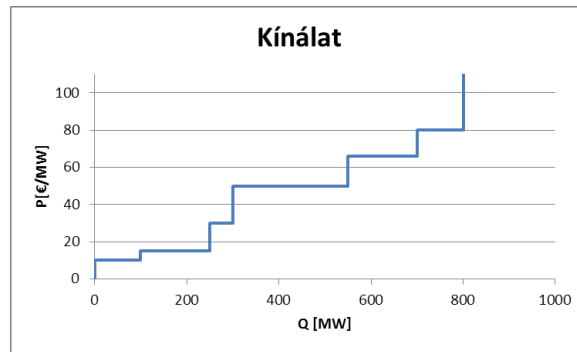
Ugyanez más megfogalmazásban azt jelenti, hogy egy adott  $P$  ár mellett mekkora  $Q$  mennyiségű termékre van kereslet, vagyis villamos energia esetében adott  $P$  ár mellett hány  $MWh$  vagy  $GWh$  energiára van kereslet. Általánosságban minél drágább egy termék, annál alacsonyabb a hozzá tartozó kereslet. Azonban a villamos energia, mint speciális termék esetén annak árrugalmatlansága miatt nagyobb árnövekedés hatására is igen kismértékű a kereslet csökkenése, hiszen rövidtávon a fogyasztási szokások nem képesek megváltozni. Ennek megfelelően a villamos energia keresletének görbéje közel vízszintes vonalként modellezhető.

A kínálati oldal görbéje hasonló megfontolások alapján képezhető le. A kínálati görbe megmutatja, hogy adott  $P$  ár mellett összesen mennyi  $Q$  jószágot (hány  $MWh$  vagy  $GWh$  villamos energiát) hajlandóak értékesíteni a termelők. Versenyző piacon a kínálati görbe mindig növekvő függvény, vagyis pozitív meredekségű. Az egyes árak a termelők határkölségeit fejezik ki, ez alatti ár esetén az kínálati oldal résztvevőinek jobban megéri egyáltalán nem termelni. Egy tipikus kínálati görbét ábrázol az 2-1. ábra jobb oldali görbéje.



2-1. ábra Keresleti és kínálati függvény

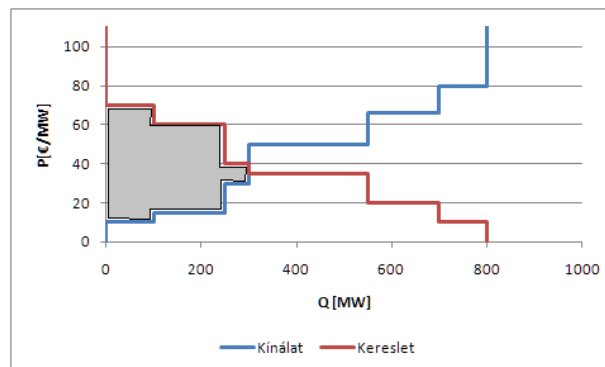
A villamosenergia-piacra a lépcsős kínálati görbék jellemzőek, ahol az egyes lépcsők az egyes erőműtípusokra vagy technológiákra jellemző határkölségek szerint változnak. Ilyen lépcsős függvény látható az 2-2. ábra:



2-2. ábra Lépcsős kínálati függvény

## 2.2 Egyensúlyi-ár és optimalizáció

A keresleti és kínálati görbék metszéspontjában alakul ki az egyensúlyi ár. Azok az erőművek fognak termelni, amelyek határköltése kisebb vagy egyenlő, mint az egyensúlyi ár, illetve azok a fogyasztók vásárolnak villamos energiát, akiknek rezervációs ára magasabb ennél. A két görbe által közrezárt terület (vagyis a fogyasztói és termelői többlet összege) határozza meg a piac által realizált össznyereséget, vagyis az általa előidézett társadalmi jólétet.



2-3. ábra Társadalmi jólét

Az egyensúlyi ár pontos meghatározása során a cél annak az árnak a megtalálása, amely mellett ez az össznyereség a maximális lesz. Ehhez tehát optimalizáció szükséges. Mint minden optimalizációnál (lásd bevezetőben) ebben az esetben is szükséges definiálni a célfüggvényt, a döntési változókat és a korlátokat. Egyszerű lépcsős függvények esetén lineáris változókat feltételezve egyszerűen lineáris programozással vagy optimalizálással megoldható a probléma.

E lineáris probléma matematikai leírása a következő kanonikus formában lehetséges:

$$\begin{aligned} \mathbf{Ax} &\leq \mathbf{b} \\ \mathbf{x} &\geq \mathbf{0} \quad [13] \\ \mathbf{c}^T \mathbf{x} &\rightarrow \max \end{aligned}$$

,ahol  $\mathbf{x}$  a meghatározni kívánt változók vektora (egyes erőműtípusok termelési mennyiségei),  $\mathbf{A}$  együtthatómátrix és  $\mathbf{b}$  vektor segítségével egyenlőtlenségi korlátok beállíthatók, míg  $\mathbf{c}^T \mathbf{x}$  maga a maximalizálandó célfüggvény.

Hasonló mechanizmusok játszódnak le a szervezett villamosenergia-piacon is, ahol az egyensúlyi (vagy klíring) árat szintén egy optimalizációs folyamat során határozzák meg. Azonban a fő különbséget az ott megtalálható blokk termékek jelentik (ami több egymást követő órán keresztül azonos mennyiségű, fix áron történő energiaszolgáltatást (vagy vételezést) ajánl), amelyek ún. fill-or-kill tulajdonsággal rendelkeznek. Ez azt jelenti, hogy vagy minden órában el kell őket fogadni, vagy az egészet el kell utasítani. Emiatt bonyolultabb problémákat kezelni tudó (négyzetes célfüggvényű, egészértékű változókat alkalmazó) optimalizációs algoritmusra van szükség, így például a magyar áramtőzsde, a HUPX egy speciális COSMOS algoritmusnak nevezett optimalizációs programot használ. [14]

## 2.3 Jövőbeli árbecslések, előrejelzések

A hosszútávú befektetések világában a megalapozott döntés meghozatalához elengedhetetlen különböző változók jövőbeli értékének megbecslése. Ennek az előrejelzésnek az alapja többnyire a változók múltban felvett értékei. A villamosenergia-piaci befektetések értékelésekor tehát az egyik legfontosabb feladat a jövőbeli árak becslése, hiszen attól fog függni az erőmű megtérülése. A villamosenergia-ár, mint idősor rendelkezik éveken átnyúló trendhatással, éven belüli szezonalitással és a napokat/heteket jellemző ciklikussággal. A villamosenergia-ár e tulajdonságai jó alapot adnak különböző becslések elvégzéséhez. E tulajdonságok modellezése és számszerűsítése ökonometria módszerekkel megvalósítható. Az ezekhez és az előrejelzéshez szükséges információk, idősorok a szervezett villamosenergia-piacok másnapi és határidős adatsoraiból kinyerhetők, illetve ennek hiányában hasonló karakterisztikával rendelkező régiók piacairól megszerezhető.

A hosszútávú tervezés szempontjából a legfontosabb tulajdonsága az áraknak a trendhatás, vagyis az, hogy az átlagos árak a jövőben várhatóan merre és milyen mértékben mozognak.

### 2.3.1 Exponenciális simítás

Az exponenciális simítás módszerével történő előrejelzés úgy működik, hogy az idősor következő elemét mindig az előtte lévő összes elem súlyozott átlagaként számolja a modell. Az egyes értékek súlyai a régebbi adatok felé exponenciálisan csökken, ezáltal kifejezve a közelmúltbeli értékek nagyobb hatását az aktuális árra.

Matematikai leírása [15] alapján a következő:

$$\begin{aligned}\hat{y}_{t+1|t} &= l_t \\ l_t &= \alpha y_t + (1 - \alpha)l_{t-1}\end{aligned}\quad [15]$$

, ahol  $\alpha$  az egyes értékek súlyozási mértéke,  $l_t$  a  $t$ . elem súlyozott szintje,  $Y_{t+1}$  a sorban következő elem becsült értéke.

A súlyozás mértéke exogén paraméter, ami 0 és 1 közötti értéket vehet fel. Amennyiben e mértéke 1-hez közeli, úgy leginkább a meghatározni kívánt értéket az azt megelőző értékkel közelíti. Minél kisebbre választjuk, annál nagyobb súllyal szerepelnek a múltbeli adatok is a becslésben. E módszer nem kezeli a trendhatásokat és a szezonalitást sem, így az  $x$  darab értékből álló adatsor  $(x+1)$ . elemének becslését követően minden további érték azonos lesz vele.

### 2.3.2 Holt lineáris trend modellje [16]

Holt 1957-ben fejlesztette tovább az exponenciális simítású előrejelzés modelljét, amellyel lehetővé tette a trendekkel rendelkező idősorok jövőbeli adatainak becslését.

A kibővített modell egy új változóval és egy új egyenlettel bővült, amivel már a korábbi értékek változási meredeksége is figyelembe van véve. Ezáltal az korábbi időszakok meredekségének súlyozott átlaga fogja adni a következő érték meredekségét. A  $\beta$  súlyozási paraméter megadja, hogy milyen arányba vegye a modell figyelme a közelmúltban kialakult meredekségeket a régebbiekhez viszonyítva. Ennek matematikai leírása:

$$\begin{aligned}\text{Level} & \quad l_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)(l_{t-1} + b_{t-1}), \\ \text{Trend} & \quad b_t = \beta(l_t - l_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1}, \\ \text{Forecast:} & \quad Y_t(h) = l_t + b_t h.\end{aligned}\quad [16]$$

, ahol  $\alpha$  az egyes értékek súlyozási mértéke,  $l_t$  a  $t$ . elem súlyozott szintje,  $Y_{t+1}$  a sorban következő elem becsült értéke,  $\beta$  a meredekség súlyozási mértéke,  $b_t$  a  $t$ . időszak becsült meredeksége,  $h$  pedig az előre jelezni kívánt év sorszáma.

E modell már figyelembe veszi a trendhatásokat, így a jövőbeli villamosenergia-árak becsülhetőek a segítségével, azonban pozitív trendhatás esetén az árak a végtelenbe tartanak.

### 2.3.3 Csillapodással kiegészített lineáris trend modell

E modell az előző kiegészítése egy csillapodási faktoral, aminek hatására a változók növekedési üteme az idő haladtával egyre csökken egészen a 0 értékig. Emiatt a végtelenbe tartó árak helyett a jövőben egy konstans szinten stabilizálódnak az értékek. Minél nagyobb a csillapodási faktor, annál lassabban éri el a változó a konstans értéket. Matematikai leírása:

$$\begin{aligned}\hat{y}_{t+h|t} &= l_t + (\phi + \phi^2 + \dots + \phi^h)b_t \\ l_t &= \alpha y_t + (1 - \alpha)(l_{t-1} + \phi b_{t-1}) \\ b_t &= \beta^*(l_t - l_{t-1}) + (1 - \beta^*)\phi b_{t-1}.\end{aligned}\quad [16]$$

, ahol  $\alpha$  az egyes értékek súlyozási mértéke,  $l_t$  a  $t$ . elem súlyozott szintje,  $y_{t+1}$  a sorban következő elem becsült értéke,  $\beta$  a meredekség súlyozási mértéke,  $b_t$  a  $t$ . időszak becsült meredeksége,  $h$  az előre jelezni kívánt év sorszáma,  $\Phi$  pedig a csillapodási faktor.

## 2.4 Jelenérték-számítás és belső megtérülési ráta

A jövőbeli árak és költségek ismeretében számolhatóak a jövőbeli becsült pénzáramlások, más néven cash flow-k, amelyből meghatározható az egyes befektetések jövedelmezőképessége, illetve várható profitja.

A jövőben várható bevételek és kiadások a jelen pillanatban is rendelkeznek bizonyos értékkel, attól függetlenül, hogy a jelenben még nem kézzelfoghatóak. Ennek meghatározása oly módon történik, hogy azt a jelenben szükséges pénzmennyiséget kell meghatározni, amelyet teljes egészében kockázatmentes állampapírokba fektetve az értéke a jövőbeli pénzáramlás esedékességekor megegyezik a jövőben várt bevétel összegével. Egy jövőbeli pénzáramlás jelenértékének kiszámolását diszkontálásnak nevezik. Számolása a következő egyenlet alapján történik:

$$PV = \sum \frac{CF_t}{(1+r)^t}$$

,ahol  $PV$  a jelenérték,  $CF_t$  a  $t$ . évben várható cash-flow (a  $t$ . év bevételeinek és költségeinek eredője),  $r$  pedig a kockázatmentes kamatláb.

A befektetések értékelésekor az egyik leggyakrabban előforduló fogalom a nettó jelenérték (NPV). Ez a beruházási költségnek és a jövőben történő pénzmozgások jelenértékei összegének a különbsége. Ez alapján egy befektetést érdemes megvalósítani, ha nettó jelenértéke nagyobb, mint 0.

Minél nagyobb egy beruházás nettó jelenértéke, annál inkább jövedelmező az investíció. Azonban a jövedelmezőség kifejezésére elterjedtebben használják a belső megtérülési ráta (IRR) fogalmát. Egy beruházás belső megtérülési rátája az a kamatláb, amely mellett a nettó jelenérték éppen nullával egyenlő.

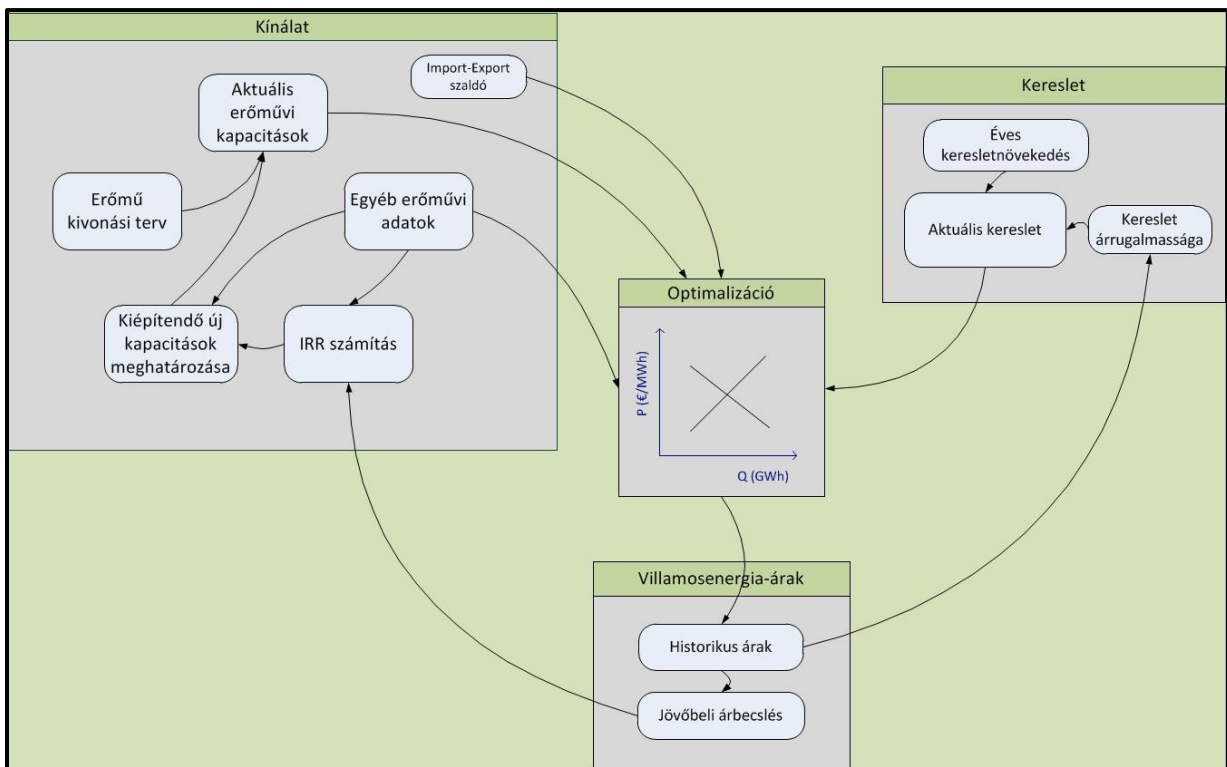
$$NPV = C_0 + \frac{C_1}{1+IRR} + \frac{C_2}{(1+IRR)^2} + \dots + \frac{C_T}{(1+IRR)^T} = 0 \quad [17]$$

,ahol  $NPV$  a nettó jelenérték,  $C_t$  a  $t$ . évben esedékes cash-flow,  $IRR$  pedig a belső megtérülési ráta. Ebből az egyenletből csupán  $IRR$  ismeretlen, így az meghatározható. A belső megtérülési ráta alapján egy beruházás akkor érdemes megvalósításra, ha annak értéke magasabb, mint a kockázatmentes kamatláb. Ebből eredően minél magasabb az adott  $IRR$ , annál jövedelmezőbb a befektetés.

### 3 A szimulációs modell működésének bemutatása

A villamosenergia-piacot szimuláló modelletem Matlab környezetben programoztam le. 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 számolása, illetve fordítva, az árak és kereslet változásainak az új beruházási döntésekre gyakorolt hatásának meghatározása. A modell éves időbeni felbontásban vizsgálja a piacot, szabadpiaci körülményeket feltételezve és szabadpiaci éves átlagárakkal dolgozva. Megfelelő piaci környezet esetén meghozott beruházási döntések minden év legelején születnek. A modell hosszútávra, akár 30-40 távon sávban képes szimulálni a piac működését.

A modell egyszerűsített blokkvázlata látható az 3-1 ábrán:



3-1. A modell egyszerűsített blokkvázlata

A modell négy fő egységből áll össze: a villamosenergia-árakat kezelő blokkból, a kínálatot, illetve a keresletet leíró modulból, illetve a kereslet-kínálat által meghatározott egyensúlyi árat számoló optimalizációs algoritmusból.

### 3.1 A modell működésének magas szintű leírása

A villamosenergia-piacon kialakuló ár a kereslet-kínálat egymáshoz való viszonyát tükrözi. Amennyiben megnő a kínálat, vagyis túl sok erőmű épül, úgy az ár le fog esni, ami meggátolja a további befektetők belépését a piacra, hiszen alacsony árak esetén nem fog megtérülni a beruházás. Az alacsony árakhoz hozzászokva a fogyasztók több villamos energiát használnak fel, így a kereslet lassankénti növekedése az árak emelkedését idézi elő, ami újból megteremti az indokot a következő beruházási hullámra.

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, amely befolyásolja a további befektetési döntéseket.

A modellem ezt a dinamikus viselkedést követi nyomon és képezi le.

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, amelyből kiszámítható az egyes erőművek megtérülése. Amennyiben ez meghalad egy a hozzájuk rendelt 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.



A továbbiakban a modell működését az egyes egységek részletesebb leírásán keresztül ismertetem.

## 3.2 Villamosenergia-árak modul

### *Historikus adatok*

A múltbeli villamosenergia-árakat tartalmazza. A szimuláció első évében a leképezni kívánt régió korábbi éveiben kialakuló éves átlagos szabadpiaci árait foglalja magába, mint bemeneti adat. A második évtől kezdve a megelőző években az optimalizáció által kiszámolt egyensúlyi árakkal kerül feltöltésre. Egyrészt ebből az adatsorból kerülnek majd becslésre az egyes termelők által feltételezett jövőbeli villamosenergia-árak, másrészt az utolsó években tapasztalt árváltozások által előidézett keresletváltozás (kereslet hosszútávú ár rugalmassága) is ezekből az adatokból kerül meghatározásra.

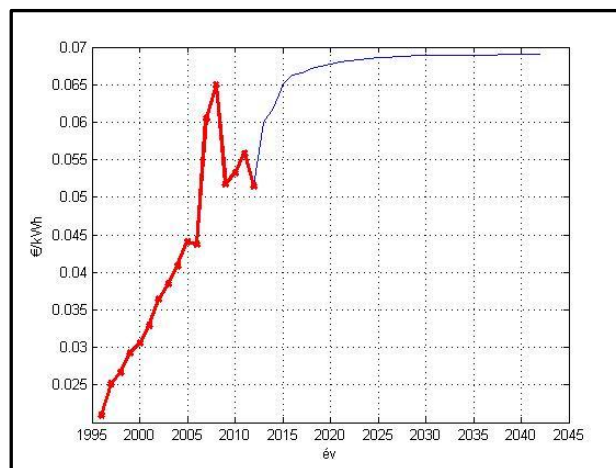
### *Jövőbeli árbecslés*

A múltbeli villamosenergia-árakból matematikai módszerrel kerülnek becslésre a jövőbeli várt árak, amit a különböző technológiatípusokat képviselő befektetők érzékelnek. Az időhorizont, amilyen messzire a modul becsül megegyezik az építeni kívánt technológiájú erőmű várható hasznos élettartamával, hiszen ez az a releváns időszak, amelyből az erőmű megtérülése és jövedelmezősége számítható. A matematikai előrejelzés alap gondolata, hogy a korábbi években kialakult árak súlyozott átlaga adja a következő évi becsült átlagos árat, ahol a súlyozás mértéke exponenciális csökken a jelentől a múlt felé távolodva. Majd ezt visszatöltve az eredeti adathalmaz végére újból indul a folyamat egészen addig, ameddig az évek száma el nem éri az erőmű várható hasznos élettartamát. A matematika modell kiegészítésre került Holt lineáris trend modelljével [15], hiszen az exponenciális súlyozás nem vesz figyelembe trendhatásokat, míg a villamosenergia-árgörbék rendelkeznek ezzel a tulajdonsággal. Továbbá elkerülve a trendhatás azt a nem várt következményét, hogy végtelen időtávban az árak a végtelenbe tartanak, egy csillapítási faktorról is ki lett bővítve, ami a növekedés ütemét fokozatosan nullára

csökkenti. A matematikai modell pontos leírását a dolgozatom első felében ismerttettem.

A nemzetközi szakirodalomban több modell is egyszerű lineáris növekedési ütemet feltételez a jövőre nézve a villamosenergia-áraknak, és ez alapján számolják a befektetések megtérülését, azonban a szabadpiaci verseny épp ellenkező hatással van az árakra. A verseny erősödése az árak csökkenésével jár, hiszen a működési hatékonyság növelését kényszeríti ki a piaci résztvevőktől. Továbbá a modellemben kizárólag reálárakat használok, emiatt az infláció sem indokolná az árak biztos növekedését. Ezek miatt indokolatlannak tartottam egyszerű lineáris növekedést használó megoldást választani.

A modellem ötödik évében készült befektetők által várt villamosenergia-árak jövőbeli alakulása az 3-2. ábra-n látható. Az ábrán piros színnel jelzett árak 1997-től 2012-ig a magyar villamosenergia-piac elmúlt 17 évének szabadpiaci<sup>1</sup> átlagárai. A múltbeli adatok forrásait és meghatározásait a dolgozatom következő fejezetében mutatom be.



3-2. ábra Villamosenergia-ár előrejelzés

<sup>1</sup> Tény- és számolt adatok alapján. Némely évben ez egy fiktív ár, hiszen az árak nem szabadpiaci körülmények között születtek. Lsd. következő fejezetben.

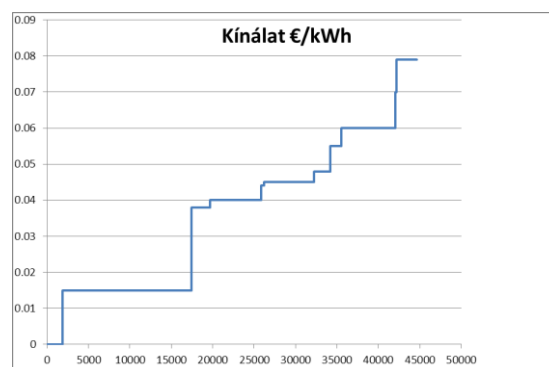
### 3.3 Kínálat modul

#### *Aktuális erőművi kapacitások*

Tartalmazza az adott évben beépített összkapacitásokat minden erőműtípusra MW mértékegységben. Az optimalizációs modulba azonban nem teljesítmény, hanem energiaértékek kerülnek be, ezért az optimalizáció előtt minden erőműtípus beszorzásra kerül a hozzá tartozó átlagos kapacitásfaktorial (óra/év). Különböző technológiákra különböző átlagos kapacitásfaktoral jellemzőek.

#### *Egyéb erőművi adatok*

Az egyéb erőművi adatokban van tárolva az egyes erőműtípusokhoz tartozó, technológiájukból fakadó sajátosságok. Ilyen sajátosságok például, hogy beruházási döntés esetén megközelítőleg hány év szükséges az erőmű felépítéséhez és üzembe helyezéséhez (nyilvánvalóan egy nukleáris erőmű létesítése jóval időigényesebb, mint egy gázturbina megépítése), mekkora az adott erőműtípus jellemző hasznos élettartama, mekkora a jellemző kapacitásfaktoral, milyen változó és beruházási költségek jellemzőek rá. Ezek mind exogén változók, a modell bemeneti adatként kezeli őket. Az egyes erőműtípusokhoz tartozó változó költségek kerülnek az optimalizációs modulba, ahol is tökéletes versenyt feltételezve határkölségként jelennek meg.



3-3. ábra Erőműtípusok határkölségei

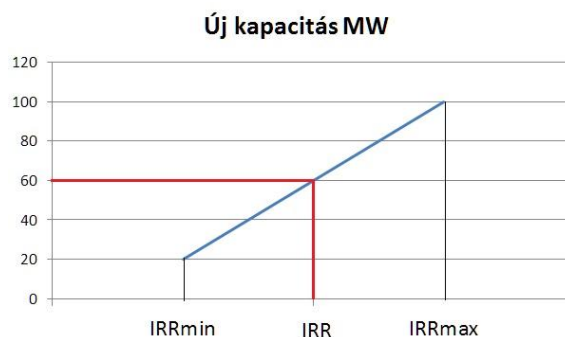
#### *IRR számítás*

Ez a modul minden évben kiszámolja az egyes erőműtípusokhoz tartozó belső megtérülési rátát (IRR-t). Ennek értéke kifejezi, hogy abban az adott évben a korábban már meghatározott következő 30-40 évre szóló villamosenergia-ár

előrejelzés, a fajlagos változó és beruházási költségek alapján mennyire jövedelmező a technológiába befektetni. Minél nagyobb ez az érték annál kifizetődőbb, tehát annál nagyobb volumenű befektetés indokolt. Egy bizonyos szint alatt viszont egyáltalán nem érdemes befektetni, hiszen a kockázathoz mérten túl alacsony vagy nulla profit várható. A befektetés mértékének számolása a modul következő elemének feladata.

### *Kiépítendő új kapacitások meghatározása*

Befektetési döntés esetén a beruházás mértékét az határozza meg, hogy mennyire is jövedelmező az adott évben az adott típusú erőmű megépítése. A modell úgy becsüli meg ezt a mértéket, hogy ha egy minimális szint alatti a megtérülési ráta, akkor egyáltalán nem történik befektetési döntés, ha egy előre meghatározott felső szint feletti, akkor egy szintén előre meghatározott maximálisan kiépíthető kapacitással történik a mérték beállítása, illetve ha a kettő közötti, akkor lineárisan a minimálisan és a maximálisan kiépíthető kapacitásoknak megfelelően fog változni a mennyiség. Ebből következően további négy elemet kell minden erőműtípushoz definiálni az „Egyéb erőművi adatok” blokkba: minimálisan és maximálisan telepíthető új kapacitás, illetve minimális és maximális megtérülési ráták. Minimálisan telepíthető új kapacitásra azért van szükség, hogy ne fordulhasson az elő, hogy például nukleáris erőmű esetén, ha a belső megtérülési ráta éppen egy kicsivel nagyobb, mint a minimális megtérülési ráta, akkor 1 MW mértékig terjedő beruházási döntés szülessen, ami nyilvánvalóan nem lenne valóságközeli esemény.



**3-4. ábra** Kiépítendő kapacitás meghatározása

Az adott évben meghozott kapacitáskiépítési döntések késleltetve jelennek meg az „Aktuális erőművi kapacitások” adatsorban az adott típusú erőmű építési idejének megfelelően, ezzel szimulálva az engedélyezési és üzembe helyezési folyamatokat.

#### *Erőmű kivonási terv*

A modell futtatása előtt tudható, hogy a szimulálni kívánt régióban a már felépített és működő erőművek meddig fognak a jövőben üzemelni. Ha ezen leállásokat nem venné figyelembe, akkor nem képezné le megfelelően a valóságot, helytelenül becsülné a jövőbeli állapotokat. A kereslet várható növekedése végett természetesen a kiesett kapacitásokat pótolnák, de az erőművek modellben történő kiejtése teszi azt lehetővé, hogy a gazdaságtalanul működő erőművek vagy technológiák helyett a hatékonyabban működőek vegyék át a helyüket, terjedjenek el. Ezért a modell adott erőműtípus esetén a várható kivonási időpont és a kivonandó kapacitás megadásával képes ezt kezelni. Ezek a mennyiségek a megfelelő időpontban levonásra kerülnek az „Aktuális erőművi kapacitások” adatsorból.

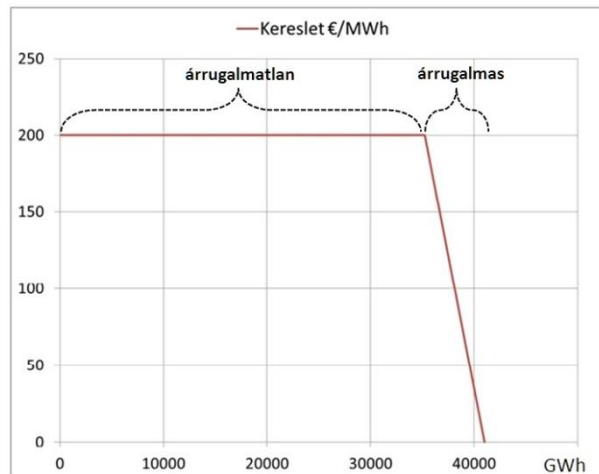
#### *Import- Export szaldó*

A modell az import és export villamos energiát nem külön-külön, hanem összevontan, nettósítva kezeli. Annak megfelelően kerül a kínálati vagy keresleti oldalra, hogy melyik irányú energiaáramlás a jellemzőbb. Import esetén különböző energiamennyiségeket különböző árak mellett lehetséges vásárolni, tehát az import önmagában több termelői csoportként jelenik meg az optimalizációban.

### **3.4 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. Amennyiben megemelkedik a végfelhasználói ár, úgy villamos energia fogyasztásukat nem képesek rövidtávon csökkenteni, hiszen jellemzően nincs alternatívájuk más energiaforrással helyettesíteni azt. Ennek folyamán a modell a keresletet két részre bontja: egy rövidtávon árrugalmatlan és egy rövidtávon árrugalmas

részre. Ennek kezelése úgy valósul meg, hogy bemeneti adat a régióra jellemző össz fogyasztás, és ennek csupán egy meghatározott százaléka az árrugalmas. Ez a százalék nem túl nagy, körülbelül az össz fogyasztás 10%-ra tehető. Ez a rövidtávú árrugalmasság más szavakkal azt jelenti, hogy egy fogyasztó például képes fűtési rendszerét villamosról gázfűtésűre átkapcsolni, amennyiben túl magasak a villamosenergia-árak [10].



3-5. ábra Kereslet felépítése

Természetesen hosszútávú árrugalmassággal minden fogyasztó rendelkezik, hiszen hosszabb távon képes megváltozni a villamosenergia-fogyasztási szokásuk, illetve az ipari fogyasztók beruházásokat eszközölhetnek olyan berendezésekbe, amelyek lehetővé teszik más energiaforrás használatát. Minél nagyobb mértékben változik meg a villamosenergia-ára, annál nagyobb lesz a fogyasztásban bekövetkező változás is. A hosszútávú árrugalmasság megmutatja, hogy 1%-os árnövekedés hatására hány százalékkal csökken a fogyasztás. A modell az ár megváltozásának mértékét a „Historikus árak” blokk adatsorának utolsó elemeiből számolja, és az „Aktuális kereslet” adatsorból meghatározható idővel késleltetve (ezzel szimulálva a szokások átalakulásának időigényét) levonásra kerülnek a meghatározott fogyasztásmennyiség-változások.

A várható hosszútávú keresletnövekedés leképezésére egy exogén változóként definiált növekedési ütemmel az aktuális kereslet évenként növekszik.

### 3.5 Optimalizációs modul

Az optimalizálást végző modulba a kínálati-keresleti oldal termelési-fogyasztási mennyiségei GWh-ban és árai €/MWh-ban kerülnek be.

Az optimalizációba ideális esetben az egyes erőműtípusok kiépült kapacitásából eredő össztermelési képességének, vagyis a kapacitás mennyiség és az erőművi rendelkezésre állás szorzatának kéne bekerülnie, ugyanis ez fejezné ki megfelelően az energiatermelési képességét. Ez alapján a valóságban csupán a legolcsóbban termelő erőműveknek kéne termelnie közel maximális kapacitáson, míg a drágábban üzemelő erőművek egyáltalán nem mennének. Nyilvánvalóan nem ez a helyzet, ugyanis a villamosenergia-rendszer egyensúlyának fenntartásához szükséges a rendszer teljesítményszabályozása, amelynek következtében egy olcsóbban termelő erőmű kiesésekor a teljesítményt drágábban működőek bekapcsolásával szükséges kompenzálni. Ezen felül a valóságban a szerződések meghatározó része nem szabadpiaci körülmények között a szervezett villamosenergia-piacon kötöttek, hanem bilaterális szerződések formájában. Ezeknek lehet a következménye, hogy jelenleg kevésbé hatékonyan működő erőművek továbbra is termelnek, amikor a szabadpiaci mechanizmusok ezt nem indokolnák. E folyamatok végeredményeként az erőművek éves energiatermelése jellemezhető egy kihasználtsági szinttel, vagy kapacitás faktorról. Ez a kihasználtsági szint megmutatja, hogy egy erőmű adott évben összesen hány órán át üzemelt. Ez többnyire jelentősen eltér az erőmű rendelkezésre állási idejétől. Az erőművek kihasználtsági szintje évről évre változik ugyan, de az egyes technológiákhoz vagy erőműtípusokhoz meghatározható, hozzárendelhető egy rájuk jellemző átlagos szint. A szimulációs modellemmel a célokat nem egy ideális helyzet, hanem a valóság minél realisztikusabb módon történő leképezése, ezért az erőművek termelési képességeit jellemzően a kihasználtsági szintjükkel, nem pedig a rendelkezésre állásukkal közelíttem.

Az optimalizáció folyamata a dolgozat első részében kifejtésre került módon történik, a kereslet és a kínálat görbéi által meghatározott terület maximalizálásával.

Az optimalizáció eredményeként adódik az egyensúlyi árhoz tartozó termelési-fogyasztási mennyiség, amelyből visszaszámolva meghatározható az egyensúlyi ár. Ez az egyensúlyi ár betöltésre kerül a „Historikus árak” blokk adatsorába, ahol ezután a modell átlép a következő ciklusba, és újrakezdődnek a leírt folyamatok.

### 3.6 Exogén változók összefoglalása

Összefoglalás a modell exogén változóiról 3-1. táblázat:

	<b>Exogén változók</b>	<b>M.e.</b>
<b>Villamosenergia-árak</b>	Múltbeli villamosenergia-árak	€/kWh
	Villamosenergia-ár becslő függvény paraméterei	-
<b>Kínálat<sup>2</sup></b>	Kezdeti beépített kapacitások	MW
	Építési idő	év
	Hasznos élettartam	év
	Kapacitásfaktor	óra/év
	Fajlagos változó költség	€/kWh
	Fajlagos beruházási költség	€/kWh
	Minimálisan kiépíthető kapacitás	MW
	Maximálisan kiépíthető kapacitás	MW
	Minimális megtérülési ráta	%
	Maximális megtérülési ráta	%
	Erőművek kivonási terve: év, kapacitás	év, MW
	Import mennyiség	GWh
	Import ár	€/kWh
<b>Kereslet</b>	Kiinduló kereslet	GWh
	Éves keresletnövekedés	%
	Kereslet hosszútávú ár rugalmassága	%
	Rövidtávon rugalmatlan fogyasztók aránya	%
	Rövidtávon rugalmatlan fogyasztás keresleti ára	€/kWh
<b>Optimalizáció</b>	-	-

3-1. táblázat Modell exogén változói

<sup>2</sup> Import kivételével minden egyes erőműtípusra



## 4 A modell magyar villamosenergia-piacra való specifikációja

A TDK dolgozatom ezen fejezetében ismertetem a szimulációs modell magyar villamosenergia-piacra történt specifikációját. A specifikáció a modell működésén nem változtat, csupán az exogén változók magyar piacra jellemző adatokkal való feltöltését jelenti. Az adatok megválasztása során törekedtem minél több tényadat felkutatására, azonban e hiányában némely esetben becslésre került sor.

Az adatok ismertetése során nem térek ki minden egyes változóra, csupán az általam legfontosabbnak ítélt paramétereket és meghatározásait mutatom be.

### 4.1 Villamosenergia-ár modul

A modell az adott régióra jellemző múltbeli villamosenergia-árakból tesz becslést a jövőbeliekre, emiatt kiemelt fontosságú a lehető legpontosabb múltbeli árak meghatározása. Az árak nem forintban, hanem a magyar szervezett villamosenergia-piacra jellemző mértékegységben, €-ban kerültek értelmezésre. Továbbá a modell szabadpiaci árakkal, egészen pontosan éves átlagos zsinórárakkal dolgozik és számol, ezért a múltbeli adatoknak is szabadpiacihoz közeli értékeknek kell lennie.

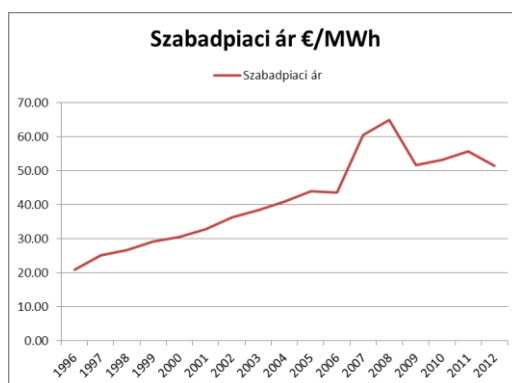
Magyarországon a HUPX 2010-ben kezdte meg a működését, emiatt ilyen árak csupán 2010-től léteznek itthon. A korábbi időszak árainak meghatározásához felhasználtam a 2004 és 2008 közötti időszakban lezajlott MVM kapacitásaukciókon kialakuló, szabadpiacnak tekinthető árakat [18], illetve az 1996-tól 2012-ig terjedő végfelhasználói árakat [19]. Az árak meghatározásának alap gondolata, hogy a végfelhasználói áraknak egy bizonyos százaléka a szabadpiaci ár. 2010-től 2012-ig rendelkezésre állnak mind a végfelhasználói, mind a HUPX-en kialakult egyensúlyi árak [20] [21] [22], így ebből a kettőből számolható egy arány, amellyel a korábbi évek felhasználói árait beszorozva meghatározhatóak a becsült szabadpiaci árak. A végfelhasználói árak €-ba történő átváltását az MNB honlapján fellelhető éves átlagos árfolyamon [23] végeztem. A villamosenergia-ár ÁFA tartamának folyamatos növekedése az árak meghatározásánál figyelembe lett véve, és annak megfelelően korrigálva lettek. A korrekció során feltettem, hogy a végfelhasználói ár három fő komponensből áll: az energia díjből, a rendszerhasználati díjből, valamint az ÁFA-ból, továbbá hogy az évek és az

ÁFA változásával az energia díj és a rendszerhasználati díj egymáshoz képesti aránya nem változik. Az arányosítás elvégzése után közel azonos eredmény jött ki a 2004-től 2006-ig tartó időszakban az MVM kapacitásaukción kialakuló árakkal, így ott az arányosított árakat meghagytam. 2007 és 2008-ban jelentősen magasabb árak voltak tapasztalhatóak az aukción. 2009-ben a válság hatására az árak esni kezdtek, amely a 2010-es áramtőzsde nyitásának is köszönhetően alacsonyan maradtak.

A számolt és tényárak láthatóak a 4-1. táblázatban, valamint az azt követő 4-1 grafikonon.

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
<b>Szabadpiaci ár (€/MWh)</b>	20.95	25.15	26.65	29.26	30.53	32.89	36.38	38.43	40.85
<b>Meghatározása</b>	arányosítással	arány.	arány.	arány.	arány.	arány.	arány.	arány.	arány.
<b>ÁFA tartalom (%)</b>	12	12	12	12	12	12	12	12	25
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
<b>Szabadpiaci ár (€/MWh)</b>	44.05	43.71	60.54	65.00	51.74	53.20	55.81	51.49	-
<b>Meghatározása</b>	arány.	arány.	MVM kapacitása aukció	MVM kapacitása aukció	arány.	HUPX	HUPX	HUPX	-
<b>ÁFA tartalom (%)</b>	25	20	20	20	25	25	25	27	-

4-1. táblázat Szabadpiaci villamosenergia-árak



4-1. Szabadpiaci árak

## 4.2 Kínálati modul

A kínálati modul adatainak ismertetését elsősorban táblázatos formában mutatom be (a források megjelölésével) a terjedelmi korlátok betartása és az átláthatóság megtartása végett. A szükséges megjegyzéseket az egyes táblázatok után teszem meg.

A kínálati modul erőműtípusait a Magyarországon valósan üzemelő 50MW-nál nagyobb erőművekkel, illetve aggregáltan a különböző típusú kiserőművekkel töltöttem fel. Az erőműtípusokként definiált valós erőművek a következő táblázatban láthatóak (4-2. táblázat):

Alaperőművek		Hőszolgáltató erőművek	
	Paks		Budapest
	Mátra		Debrecen
	Oroszlány		Pécs + Ajka
<b>Menetrendtartó erőművek</b>			ISD Power
	Dunamenti sima gáz	<b>Kiserőművek</b>	
	Dunamenti CCGT		gáz
	Gönyű		szél
	Bakonyi		nap
	GTER (Lőrinc, Litér, Sajószöged)		egyéb (víz, biomassa, biogáz, stb)

4-2. táblázat Erőműtípusok

A Dunamenti Hőerőmű két csoportra lett bontva különböző technológiáinak megfelelően. A Lőrinci, Litéri és Sajószöged gázturbinák egy típusként lettek definiálva, ugyanis technológiában és kihasználtságban is közel azonosak. Hasonló megfontolások alapján a Pécsi és Ajkai Hőerőmű is azonos csoportba került. A Budapesti és Debreceni erőművek technológiája megegyezik, azonban különböző kihasználtságuk miatt nem kerültek összevonásra.[24]

E felosztásnak megfelelően minden egyes erőműtípusra definiálni szükséges a rájuk jellemző exogén változókat. Megjegyzendő, hogy több fenti erőműtípus is azonos technológiával működik, azonban az egyes csoportok némely tulajdonságaikban eltérnek egymástól (pl. építési időigény). A szimulációs modell ezen csoportok kapacitásainak alakulását vizsgálja, ilyen jellemzőkkel rendelkező (típusú) erőművekbe lehetséges befektetni a modell jelenlegi állapota szerint. Az eredmény értelmezésénél fontos hangsúlyozni tehát, hogy amennyiben 2020-ban például beruházási döntés születik 150MW kapacitás kiépítésére az Oroszlányi Erőmű (Vértess) által definiált tulajdonságokkal rendelkező erőműtípusba, az nem feltétlen a Bakonyi Erőmű bővítését jelenti (főleg, hogy a Bakonyi Erőmű tervezetten 2015-ben leáll, amit a modell figyelembe is vesz), hanem egy vele teljesen azonos paraméterekkel rendelkező erőmű építését. A dolgozatom további részében a csoportokra „erőműtípus” megnevezéssel fogok hivatkozni.

Az egyes erőműtípusok kiinduló beépített teljesítményeit, az alkalmazott technológiát, illetve a hasonló erőművek építési idejét összefoglalja a következő 4-3. táblázat:

		Teljesítmény (MW) [25]	Technológia [26]	Építési idő (év) [27]
<b>Alaperőművek</b>				
	Paks	2000	nukleáris	6
	Mátra	950	szén-lignit	4
	Oroszlány	240	szén-lignit	3
<b>Menetrendtartó erőművek</b>				
	Dunamenti sima gáz	860	gáz (hagyományos)	3
	Dunamenti CCGT	826	CCGT	3
	Gönyű	440	CCGT	3
	Bakonyi	120	OCGT	2
	GTER (Lőrinc, Litér, Sajószöged)	410	OCGT (olaj)	2
<b>Hőszolgáltató erőművek</b>				
	Budapest	410	CCGT fűtésszezonos	3
	Debrecen	95	CCGT fűtésszezonos	2
	Pécs + Ajka	174	biomassza	3
	ISD Power	65	CCGT	2
<b>Kiserőművek</b>				
	gáz	750	gáz	2
	szél	330	szél	1
	nap	10	nap	1
	egyéb	260	víz,biomassza,biogáz,stb	2
	<b>Szumma</b>	<b>7940</b>		

4-3. táblázat Erőműtípusok jellemzői 1

A CCGT a kombinált ciklusú gázturbinát, az OCGT pedig a hagyományos, nyílt ciklusú turbinákat jelöli. A technológiában a fűtésszezonos megjegyzés arra utal, hogy az erőműnek jellemzően csak az év hidegebb felében éri meg működni, amikor a hőtermelését is értékesíteni tudja. Ez a kihasználtsági óraszámában jelenik meg.

A fentiek alapján a modell 7940 MW kiinduló összkapacitással számol, ez megközelítőleg megegyezik a 2012-ben a magyar villamosenergia-rendszerben rendelkezésre álló kapacitások összegével, amely [28] alapján 8307MW volt. Eszerint a valóság 95%-os pontossággal került leképezésre.

Az alábbi 4-4. táblázat az egyes erőműtípusok átlagos kihasználtságát és határkölségeit összesíti:

	Átlagos kihasználtság (óra/év) [25]	Határkölség (€/MWh)	Technológia
<b>Alaperőművek</b>			
Paks	7800	15 [29]	nukleáris
Mátra	6500	40 [30]	szén-lignit
Oroszlány	5500 [24]	50 [29]	szén-lignit
<b>Menetrendtartó erőművek</b>			
Dunamenti sima gáz	1000 [24]	79 [29]	gáz (hagyományos)
Dunamenti CCGT	3000	60 [29]	CCGT
Gönyű	3500	60 [29]	CCGT
Bakonyi	1000	70 [30]	OCGT
GTER (Lőrinc, Litér, Sajószöged)	30	120	OCGT (olaj)
<b>Hőszolgáltató erőművek</b>			
Budapest	4000	48 [29]	CCGT fűtэsszezonos
Debrecen	3500	48 [29]	CCGT fűtэsszezonos
Pécs + Ajka	2000	44	biomassza
ISD Power	2000	60 [29]	CCGT
<b>Kiserőművek</b>			
gáz	3000	38	gáz
szél	2000	0	szél
nap	1300	0	nap
egyéb	4500	0	víz,biomassza,biogáz,stb

4-4. táblázat Erőműtípusok jellemzői 2

Az [25] forrás alapján a gázmotoros és gázturbinás kiserőműveknek a becsült kihasználtsága 5000 óra/év, de mivel 2011-ben döntő többségük kikerült a KÁT alól, ezért jellemzően már csak akkor termelnek, ha van hőoldali igény is. Emiatt kihasználtsági szintjüket kisebbnek választottam, 3000 óra/év becsült értékre. Az egyéb kategóriába sorolt kiserőművek kihasználtsági szintje szintén egy közelítés a kategóriába tartozó technológiák átlagos működési idejéből.

A Dunamenti Hőerőmű régi, nem gázturbinás („F”) blokkjainak kihasználtsága 1000 óra/év, azonban a modell futtatása során ezt magasabb értékre fogom választani. Ennek oka, hogy ez a legdrágábban üzemelő jelentősebb teljesítménnyel rendelkező erőmű, így amennyiben a kereslet fejlődése meghaladná a kínálatét és az ár rohamos növekedésnek indulna, a Dunamenti Hőerőmű pótlólagos termelésével kiegyenlítené a kereslet igényét és korlátozná az elfajuló árakat. A valóságban az erőmű azért csak 1000 óra/év-es kihasználtsággal üzemel, mert nagyon költséges a termelése, így ha az árak kellően megnőnének, a valóságban is indokolt lenne a többlettermelés.

A határkölségek megállapításakor az [29] és [30] forrásokat használtam fel. A GTER erőművek határkölsége közelítőlegesen, csupán azt akarja kifejezni, hogy nagyon magas árak

mellett éri meg termelnie. A biomassza erőművek határkölsége szintén becslés megfelelő forrás hiányának okán. Költségük a szén-lignit tüzelésű erőműveknél némileg olcsóbb, hiszen szén-dioxid költségek kibocsátásuk hiányában nem terhelik őket. A gázturbinás kiserőművek határkölsége a hőoldali támogatásuk miatt lett alacsonyra beállítva. A megújulók határkölsége a garantált átvétel miatt lett 0 €/MWh-ra választva.

A belső megtérülési ráta számolásához szükséges meghatározni a fajlagos változó és beruházási költségeket. A fajlagos változókölség megegyezik az egyes erőműtípusok határkölségével a tökéletes verseny feltételezése miatt. Az egyes változó költségek aránya a termelési költségben (fajlagos változó+beruházási költség) [31] és [32] alapján: szén-lignit technológia és biomassza esetében 0.65, OCGT és CCGT esetén 0.75, atomerőmű esetén 0.3.

Az erőművek kivonási terve [25] alapján:

		Teljesítmény (MW)	Erőmű kivonási terv [25]
<b>Alaperőművek</b>			
	Paks	2000	<b>2032: 500MW, 2033: 500MW, 2035: 500MW, 2036: 500MW</b>
	Mátra	950	<b>2017: 200MW, 2022: 220MW, 2025: 530MW</b>
	Oroszlány	240	<b>2015: 240MW</b>
<b>Menetrendtartó erőművek</b>			
	Dunamenti sima gáz	860	<b>2017: 860MW</b>
	Dunamenti CCGT	826	<b>2015: 145MW, 2030: 241MW</b>
	Gönyű	440	következő 30 évben nem vonják ki
	Bakonyi	120	következő 30 évben nem vonják ki
	GTER (Lőrinc, Litér, Sajószöged)	410	<b>2020: 170MW, 2024: 240MW</b>
<b>Hőszolgáltató erőművek</b>			
	Budapest	410	következő 30 évben nem vonják ki
	Debrecen	95	<b>2030: 95MW</b>
	Pécs + Ajka	174	következő 30 évben nem vonják ki
	ISD Power	65	következő 30 évben nem vonják ki
<b>Kiserőművek</b>			
	gáz	750	következő 30 évben nem vonják ki
	szél	330	következő 30 évben nem vonják ki
	nap	10	következő 30 évben nem vonják ki
	egyéb	260	következő 30 évben nem vonják ki

4-5. táblázat Erőmű kivonási terv

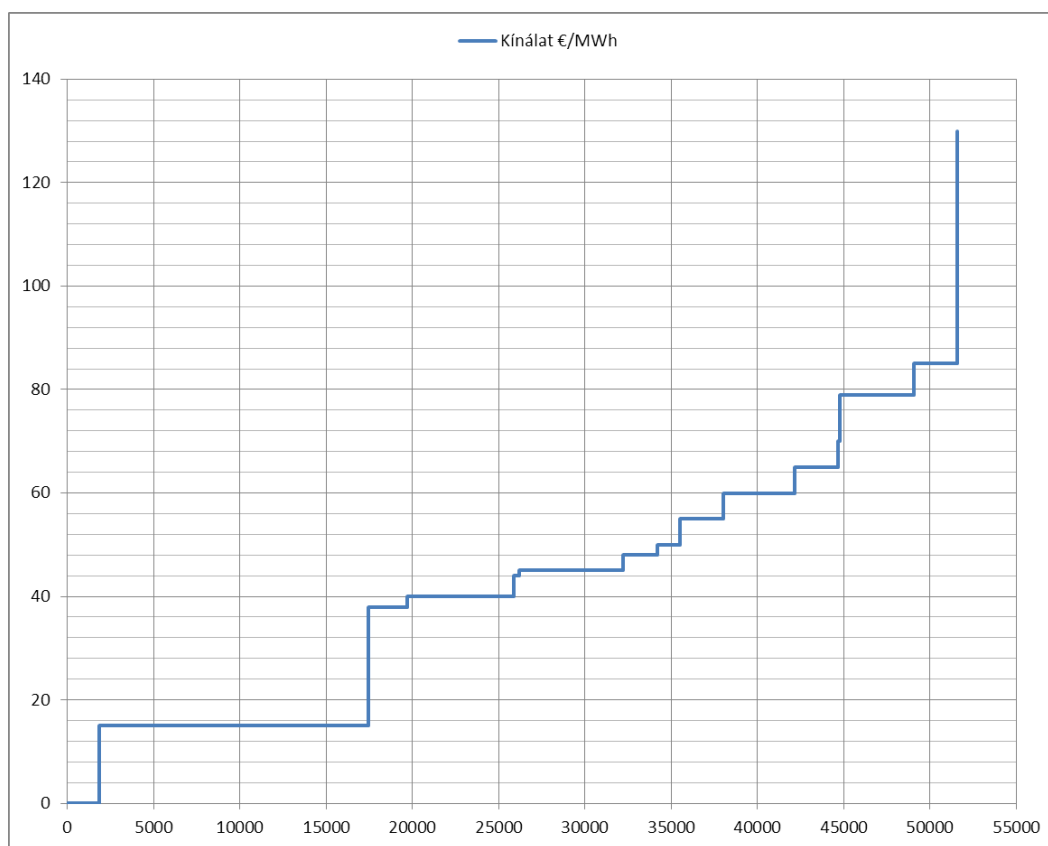
A magyarországi import mértékének változása az elmúlt években [33] alapján a következőképp alakult (4-6. táblázat):

év\GWh	nettó termelés	imp-exp szaldó	összes felhasználás	bruttó fogyasztás	hálózati veszteség
2009	35 909	5 513	41 422	38 858	2 564
2010	37 371	5195	42 566	39 808	2 758
2011	35 984	6642	42 626	40 142	2 484
2012	34 409	7 966	42 375	39 875	2500

4-6. táblázat Import mértékének változása 2009-12

A modellben a villamos energia behozatal különböző termelői lépcsőkként jelenik meg. Jelen piaci árak mellett nagyjából 8000 GWh villamos energia import történt. Ennek megfelelően a modellben lehetséges behozatali mennyiségek és árak: 6000 GWh 45€/MWh áron, 2500 GWh 55, 65 és 85 €/MWh ár mellett.

Ezek alapján a termelői oldal kínálati függvénye (vagy más néven „merit order”) a következőképpen néz ki:

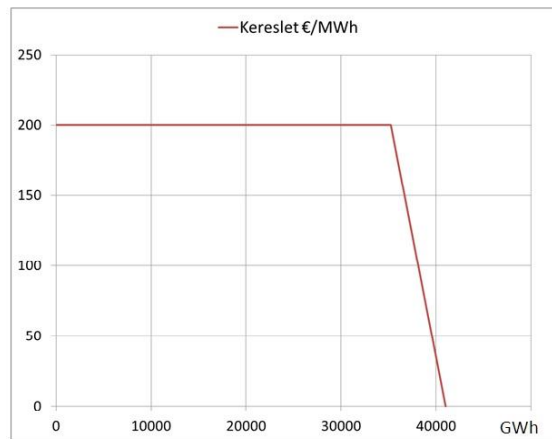


4-2. ábra Termelői oldal kínálati függvénye

### 4.3 Keresleti modul

A bruttó fogyasztás az 4-6. táblázat alapján megközelítőleg 40000 GWh. Ennek megfelelően az összes fogyasztói igényt 41000 GWh-ra választottam, hiszen ennek egy (kis) hányada az egyensúlyi ár mellett nem fog vásárolni.

A rövidtávon rugalmas fogyasztók arányát az összes fogyasztói igényen belül 14%-ra választottam az [10] alapján. A kereslet várható éves növekedési üteme [34] szerint 1,5%, továbbá a hosszútávú árrugalmasság -0,15% [35] mintájára, amely a fogyasztói szokások befolyásolásán keresztül 2 év alatt gyakorol hatást a keresletre.



4-3. ábra Kereslet görbéje



## 5 A szimulációs modell futtatása

A dolgozatomban e fejezetben az elkészített program futtatását, és az eredményeket ismertetem. A modell segítségével különböző scenáriók elemzése válik lehetővé, ezekre példákat mutatok be.

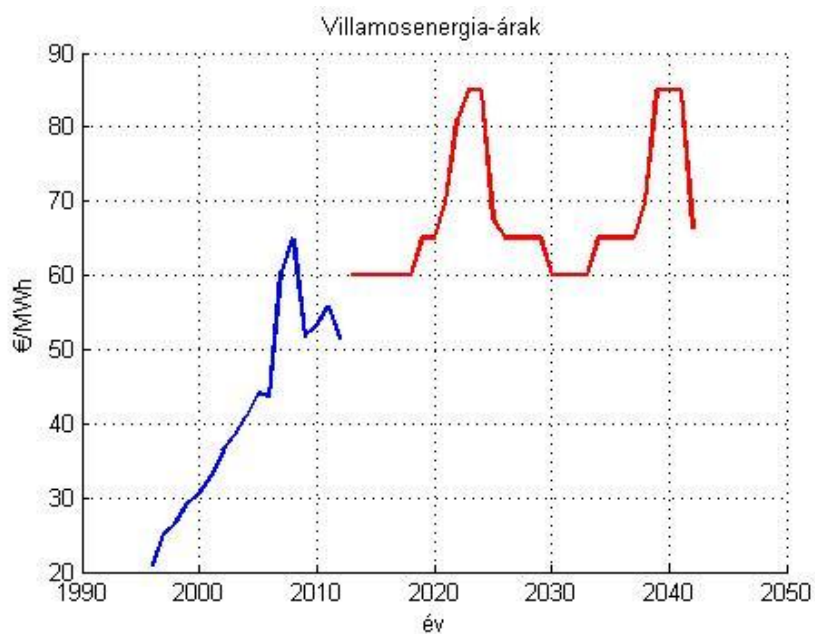
A modell futtatása előtt néhány megfontolást tettem, amelyek elengedhetetlenek a modell futtatása szempontjából. Ez elsősorban az előző fejezetben ismertetett erőmű kivonási tervet érinti. A valóságban az egyes erőművek leállítását tervezik, a kieső kapacitás teljesítményének pótlásáról gondoskodnak, ha másként nem drága erőművek felszabályozásával, vagy import behozattal. A modell kezeli az erőműkieséseket, a befektetők azonban nem terveznek vele. Ennek köszönhetően például Paks egyik blokkjának 2035-ben tervezett leállítása 500MW kapacitás kiesést eredményezne. Ennek következtében a kínálat hirtelen csökkenése miatt az árak irreálisan megugranának, aminek következményeként irreálisan sok befektetés történne. Ennek elkerülése végett a nagy, 400 MW feletti kapacitás kiesésekkel nem számolok. Ez a Paksi Atomerőmű négy blokkjának, illetve a Mátrai Erőmű két blokkjának 2025-ben esedékes kiesését érinti. Azonban ez a feltételezés nem áll messze a valóságtól: ezek az erőművek a magyar villamosenergia-piac szempontjából stratégiai fontossággal bírnak, kiesésük hatása pedig határokon át nyúlna. Ennek megfelelően a modelltől történő kiejtésük azt jelentené, hogy valami havária esemény következtében véglegesen működésképtelenné válnak. A modell segítségével ennek az eseménynek a piacra gyakorolt hatása szimulálható. Továbbá ezen erőművek pótlásáról stratégiai fontosságuk miatt nem csupán gazdasági érvek, hanem politikai érdekek szerint is döntenek. Ennek megfelelően kapacitásaik kivonásának elhagyása indokolt lehet. A 400 MW-nál kisebb volumenű forráskivonások nem egyszerre, hanem mértéküktől függően 2-4 év alatt fokozatosan csökkentve történik a kivonás esedékességének időpontjáig. Ez a valóságban lezajló folyamatoknak megfelel.

A szimulációs modell futtatásakor a következő 30 évet vizsgálom 2013-as évtől kezdve.

## 5.1 Első scenárió: Alapeset

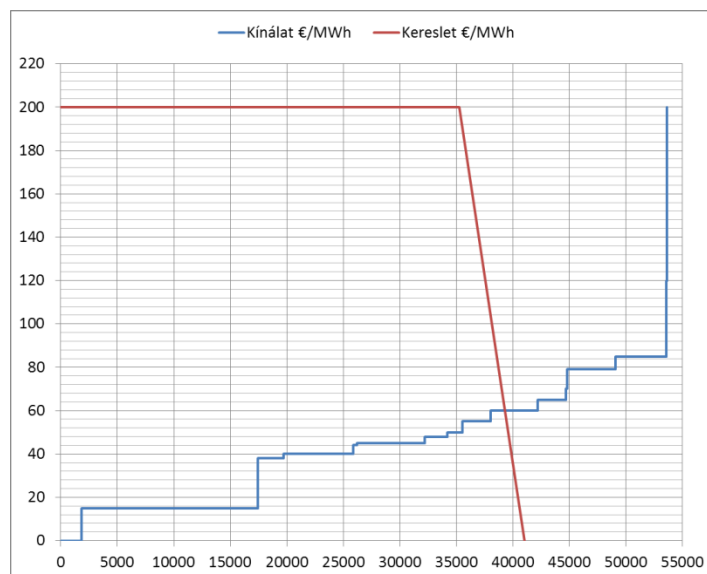
Az alapeset a magyar villamosenergia-piacra jellemző adatokkal történő, az erőművek kivonását (tekintettel a korábban tett megfontolásokra) figyelembe vevő modell lefuttatása, minden speciális befolyásoló körülmény nélkül. Az első, alapszenárió ismertetésekor az összes technológia változására kitérek, a későbbiekben pedig csupán azokra, amelyekben lényeges változás történik.

A modell futtatásával a jövőbeli villamosenergia-árak hosszútávú alakulására a következő eredmény adódott:



5-1. ábra Alapeset: Villamosenergia-árak

Az 5-1. ábra-n kék színnel vannak ábrázolva a múltbeli szabadpiaci árak, piros színnel pedig a modell által becsült értékek. Az árak minden évben a kereslet-kínálat által meghatározott egyensúlyi pontban alakulnak ki. Ennek szemléltetésére az első évben kialakult egyensúlyi ár meghatározását szemléltetem:

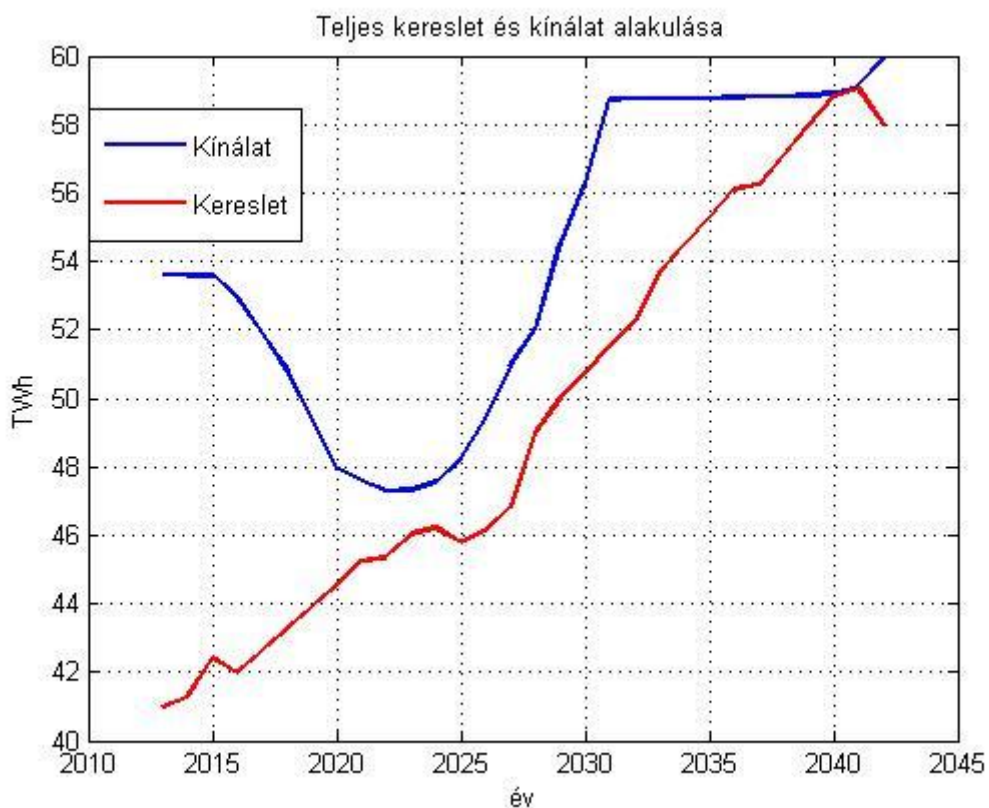


5-2. ábra Alapeset: Egyensúlyi-ár

### A szimuláció eredménye:

2018-ig a modell nem vár jelentősebb beruházási döntéseket, az árak stabil 60€/MWh értéket vesznek fel, amelyet a CCGT-vel működő erőművek határkölsége állít be. Ennek oka a 2008-tól kezdődött áresés, amelynek következtében a befektetők a továbbiakban is alacsony, illetve csökkenő árakat várnak. Ennek megfelelően nem elegendően magas a várt jövedelmezősége az egyes erőműtípusoknak. Ez alatt a hat év alatt lényegesebb beruházás híján, illetve a tervezett erőműkivonások következtében (Mátra: 200 MW, Dunamenti Hőerőmű „F” blokkjainak teljes kivonása, Dunamenti CCGT: 145 MW) a beépített kapacitások és így a kínálat folyamatosan esik (5-4. ábra, 5-5. ábra). A kínálat esése 2018-ig nem jár az árak növekedésével, hiszen főleg olyan blokkok esnek ki, amelyek költségességük miatt nem vesznek részt a termelésben, vagy pedig részt vesznek ugyan, de alacsony kapacitással. Ezzel párhuzamosan a kereslet éves növekedésének megfelelően növekszik. E kettő hatás eredményeként 2019-ben az ár 65€/MWh-ra nő, amelyet az import harmadik lépcsője állít be. Ez az első árnövekedés még nem elegendő ahhoz, hogy a befektetőket meggyőzze az ár növekedésének hosszútávú tendenciájáról, emiatt lényeges befektetések továbbra sem esedékesek. 2022-ben az ár nem várt ugrásának köszönhetően a befektetők elkezdnek új erőművi kapacitásokat építeni, azonban azok építési idejéig nem bővül a villamosenergia-rendszer. Ennek megfelelően az aktuálisan kiépített kapacitások mennyisége a további erőmű kivonások következtében eléri mély pontját (5-5. ábra), az árat csupán az import tartja kordában. 2022 és 2026 között folyamatosan kapacitás kiépítéseket eszközölnek az

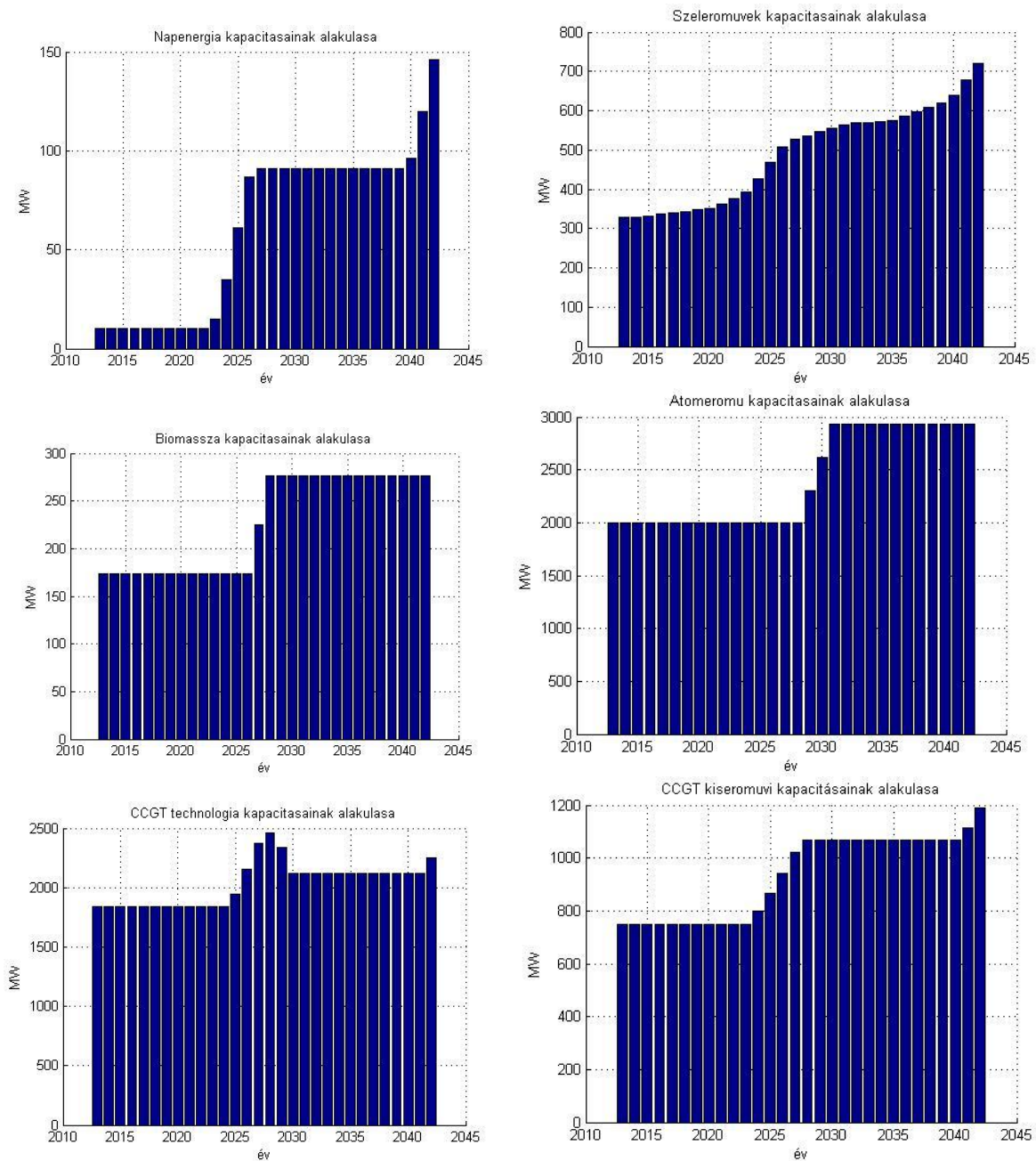
egyensúly visszaállítása érdekében. Ennek hatására 2023-tól 2031-ig megállás nélkül bővül a rendszer a fokozatosan felépülő új termelőknek köszönhetően. A kínálat normalizálódása miatt az árak is lecsökkennek, 2025 és 2037 között kellően stabil szinten állnak. 2024-től 2033-ig az árak csökkenő tendenciája miatt a beruházási hajlandóság is esésnek indult, így 2031-től kezdődően minimális az új kapacitások kiépülésének száma. A kereslet további növekedése 2039-ben éri utol a kínálatot, aminek eredményeképp újból felfutnak a villamosenergia-árak, és kezdődik előlről a folyamat.



5-3. ábra Alapeset: Teljes kereslet és kínálat

Az 5-3. ábra-n látható a teljes kínálat és kereslet alakulása. Ezek egy része természetesen nem vesz részt a kereskedésben a kialakult túl magas vagy túl alacsony egyensúlyi árak miatt. A ténylegesen fogyasztott és termelt energia mindig megegyezik.

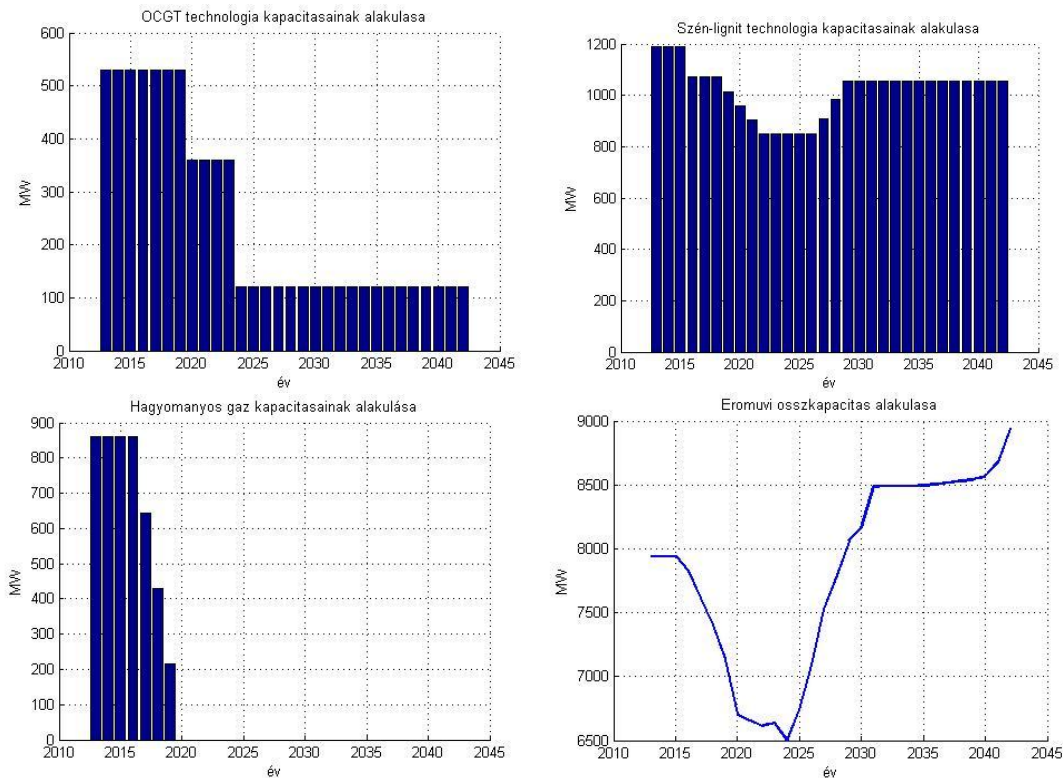
Az ábrán megfigyelhető a kereslet hosszútávú árrugalmassága. A 2021-2022-ben bekövetkező árnövekedésre a kereslet késleltetve reagál, 2023-tól fogyasztási szokásaik csökkentésével a keresleti görbe esésnek indul. És fordítva, 2025-ben a bekövetkező árcsökkenés eredményeként 2027-től még meredekebben növekszik.



5-4. ábra Alapeset: Terjeszkedő technológiák kapacitásai

Az 5-4. ábra azoknak a technológiáknak a fejlődését mutatja, amelyekre a növekedés, elterjedés volt jellemző. A szimulációs modell lényeges gyártástechnológiai fejlődés vagy támogatás hiányában a napelemek jelenlegi 10MW-os kapacitását 2043-ra 150 MW-ra becsüli. A szél erőművek mostani 330 MW-os beépített kapacitását az időszak végére 720 MW teljesítményűnek közelíti. Érdeemes megjegyezni, hogy jelenleg rendszerszabályozási okokból a pótlólagos szél erőművi kapacitáskiépítések fel vannak függesztve. Ez a jövőben természetesen változhat. Említésre méltó az atomenergia 2 GW-os teljesítményének közel 3 GW-ra történő bővülése, amely felépülésének esedékessége 2025 és 2030 közé tehető.

Továbbá megfigyelhető az ábrán a 2022-től kezdődő beruházási hullám. Először a nap, és szél erőművek bővülnek, hiszen nekik van a legrövidebb építési idejük, legkésőbb pedig az atomerőmű épül meg. Nem utolsó sorban tetten érhető a CCGT technológiájú erőművek létjogosultsága.



5-5. ábra Alapeset: Stagnáló és csökkenő kapacitások

Az 5-5. ábra tartalmazza a stagnáló és csökkenő kapacitású technológiákat, illetve a szimuláció futtatása során az összkapacitások változását. A hagyományos gáz technológia a Dunamenti Hőerőmű „F” blokkjainak kivonását szemlélteti. Megfigyelhető az OCGT technológián alapuló erőművek kapacitásának csökkenése, illetve a technológiába történő befektetések indokolt hiánya. A szén-lignit alapú erőművek kapacitása megközelítőleg stagnált, a kiesett kapacitások a piaci mechanizmusok által pótlásra kerültek.

#### A modell kimenetének értékelése

A szimulációs modell által becsült villamosenergia-árak terjedelme a várható valóságos árakhoz képest nagy, változékonysága túlzott. A valóságos éves átlagos árváltozások kisebb meredekséggel rendelkeznek a modell kimenetében láthatónál. Ennek oka, hogy a befektetők későn szembesülnek az erőművek kieséséből adódó kínálat csökkenéssel. A végeredményben tetten érhetőek az egyes piaci mechanizmusok, megfigyelhető a piac

különböző események együttes hatására adott reakciója. A modell a különböző technológiák jövőben várható becsült elterjedésére valóságközeli eredményt adott, a típusok eltérő hatékonysága megmutatkozik.

## 5.2 Második scenárió: Megújulók

Magyarország megújuló energia hasznosítási cselekvési terve [36] alapján 2020-ig vállalta, hogy az akkori villamosenergia-fogyasztás 13%-át megújuló forrásból fogja fedezni. A [36] tanulmány 2020-ban 53 TWh fogyasztással számol. Feltételezve a különböző megújulók eltérő kihasználtsági szintjének 3000 óra/év-es átlagát, illetve figyelembe véve a már kiépült kapacitásokat a következő 7 évben évenként 240 MW megújuló energiaforrást alkalmazó erőmű építése szükséges. Ennek a kiépítése jelenleg csak állami támogatások segítségével lenne lehetséges, hiszen egyelőre nem eléggé jövedelmezők ezen technológiák. Külső állami segítséget feltételezve a modellbe minden évben 240 MW új megújuló kapacitást viszek be, függetlenül a megtérülésétől, és megvizsgálom milyenhatással lesz a várható jövőbeli árakra. A megújulók határköltése továbbra is 0 a kötelező átvétel miatt.

A modell futtatása a következő eredményeket adta:

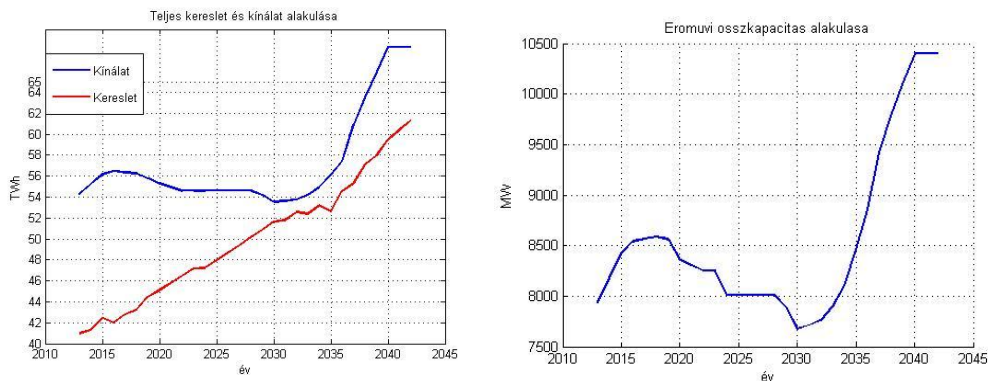


5-6. ábra Megújulók: villamosenergia-árak

Az 5-6. ábra a becsült villamosenergia-árakból látható, hogy az előző, alapeseti scenárióhoz viszonyítva az árak lényegesen alacsonyabbak lettek, a kialakult árcsúcs kisebb meredekséggel fut fel. Ez a várt eredmény, hiszen igen nagy mennyiségű, olcsó termelési technológia került be a villamosenergia-rendszerbe, ami a kínálati függvényt eltolva csökkentette az árakat. Természetesen az olcsó termelési technológia csak a megfelelő

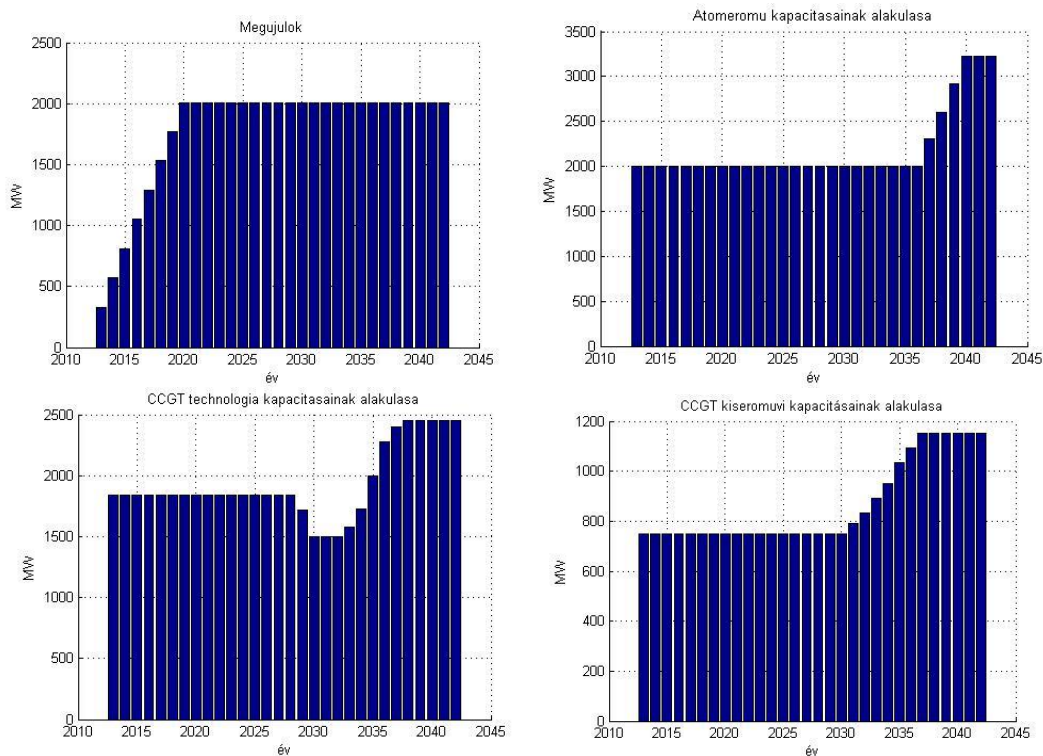


keretek között értendő, a kötelező átvétel, a beruházások támogatása és a rendszerszabályozás jelentős pénzeket igényel a központi költségvetésből.



5-7. ábra Megújulók: Teljes kereslet-kínálat és az összkapacitások változása

A fenti 5-7. ábra-n látható a teljes kereslet-kínálat alakulása, illetve az összkapacitás fejlődése az idő folyamán. Az alapesetbe képest jóval később, és kevésbé alacsony szintre esik vissza a kapacitások összege, köszönhetően a korai rendszeres beruházásoknak. Ennek a kínálatra tett hatása megfigyelhető meg a baloldali ábrán. Ennek köszönhetően nem indul meredek esésnek a termelői görbe, és így a 2032-ben kialakuló árcsúcs hosszabb idő alatt, kisebb meredekséggel alakul ki. A magas ár miatt a termelői kompenzáció hatására az árak újból visszaesnek 2037 után.



5-8. ábra Megújulók: kapacitás kiépülések

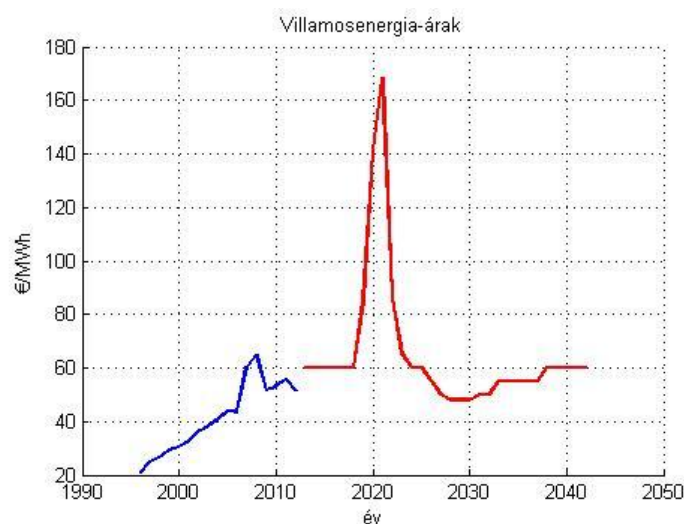


A 5-8. ábra-n látható, hogy az első árcsúcs kialakulásáig nem történt jelentős befektetés a villamosenergia-rendszerbe. Ennek oka a megújuló kapacitások fokozatos telepítése, és az ennek következményeként kialakuló alacsony árak. Az árak csökkenő trendje a befektetési morált mérsékli.

### 5.3 Harmadik scenárió: Havária esemény

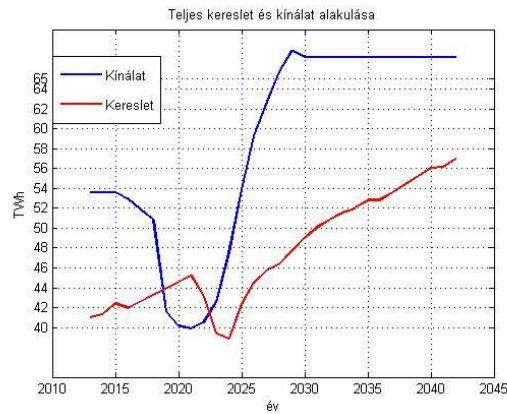
A fejezet utolsó részében egy havária eseményt szimulálok, amelynek következtében a Paksi Atomerőműből 2019-ben véglegesen kiesik két egyenként 500 MW nagyságú blokk, és ennek piaci következményeit ismertetem.

A modell futatása során kialakult jövőbeli becsült árak a következő 5-9. ábra-n láthatóak:



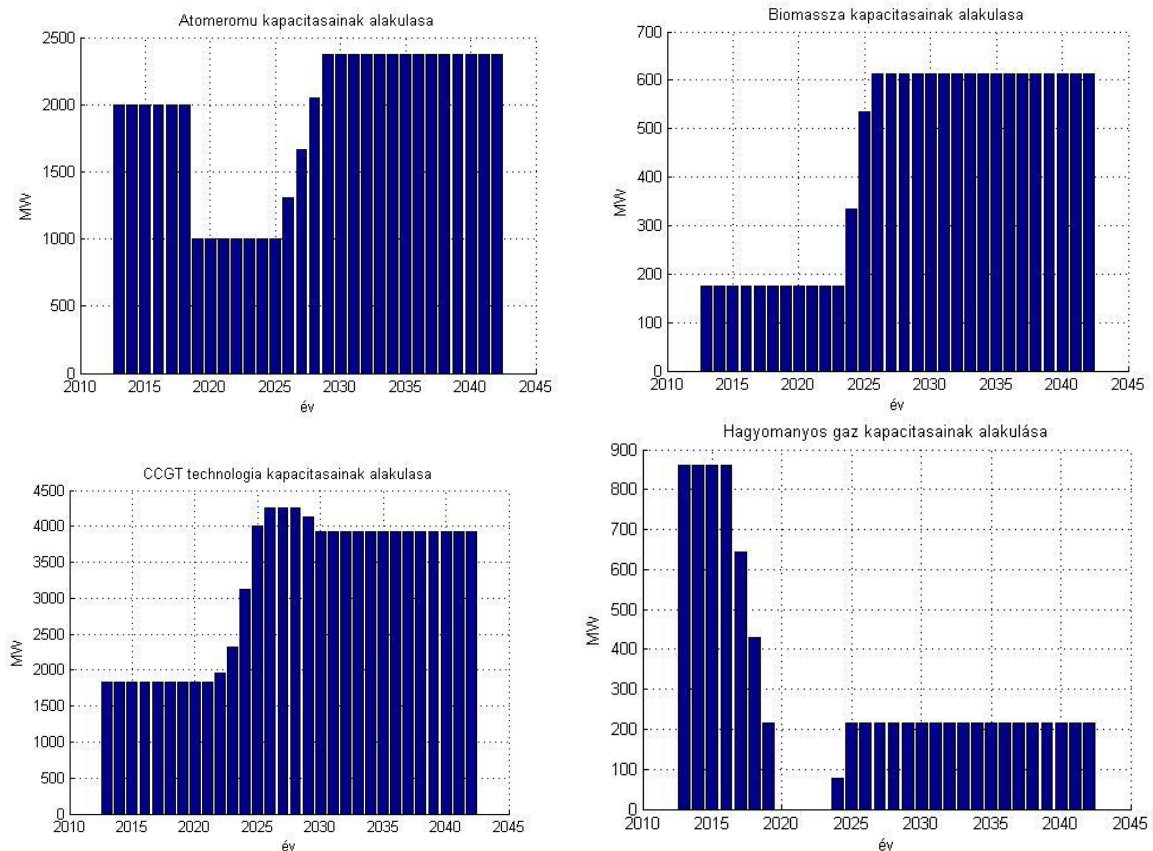
5-9. ábra Havária: Villamosenergia-árak

Az első néhány évben az alapesetnek megfelelően 60€/MWh szinten stagnál az ár. Ekkor következik be a havária esemény. Megfigyelhetően sokkolja a piacot, az árak egészen 170 €/MWh-ig emelkednek. E jelentős kapacitás kiesésének hatására beindulnak a piaci folyamatok a teljesítmény pótlására, és 2020-tól kezdve majdnem minden típusú technológiába beruházás történik. Az új erőművek építési idejük készletelésének megfelelően megjelennek a kínálatban, és az ár gyors mérséklődésre fordul. Igen nagy mennyiségű új kapacitás kiépítésére volt szükség a kiesett blokkok pótlására, amely főképp a hatékonyabb technológiájú erőművekkel valósult meg a magasabb jövedelmezőségük miatt. Ennek köszönhetően „kitisztult” a kínálat, és az ár visszaesése után alacsony szinten tudott maradni.



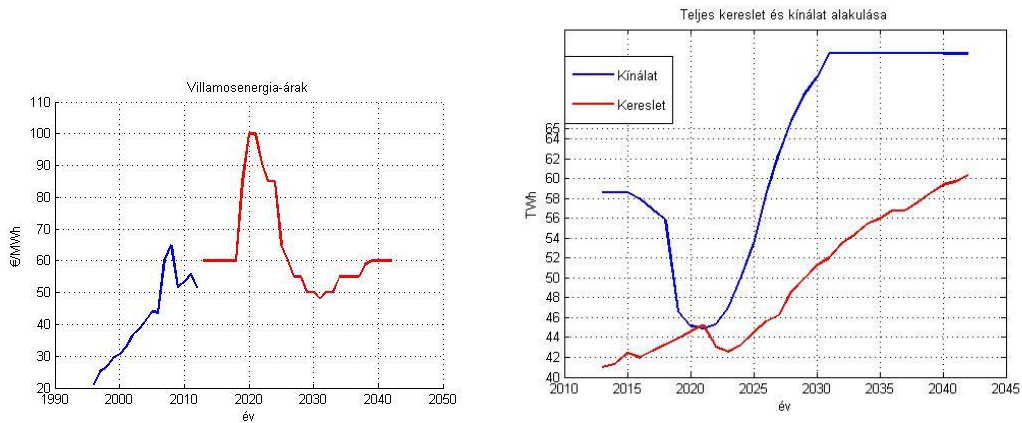
5-10. ábra Havária: Teljes kereslet és kínálat alakulása

A fenti, 5-10. ábra az összkereslet és kínálat változását ábrázolja. A kínálat az alapeset bemutatásánál ismerttetett okok miatt már a szimulációs időszak legelején csökkenésnek indul, amit a 2019-ben bekövetkező teljesítmény kiesés tovább erősít. 2020-ban az összkereslet nagyobb, mint a termelői kapacitások összege. 2021-ben a kereslet radikálisan válaszol a megemelkedett árakra: a fogyasztók három év alatt 20%-kal csökkentik energiafelhasználásukat.



5-11. ábra Havária: kapacitás kiépülések

A Paksi Atomerőmű két blokkjának kiesésére intenzív választ adtak a befektetők: még az alacsony hatékonyságú, és költséges hagyományos gáztüzelésű technológiába is történt beruházás. A kieső blokkok közel 10 év után pótlásra kerültek, illetve jelentős kapacitásfejlődés következett be a biomassza és CCGT technológiájú erőműtípusokban.



5-12. ábra Havária: importtal kompenzálás

A piaci sokként kialakult 170€/MWh-ás ár csupán az import növelésével korlátozható. Erre mutat példát a 5-12. ábra, ahol is a pótlólagos import ára 100€/MWh. Az ennek hatására kialakuló teljes kereslet és kínálat változását mutatja a jobboldali ábra: 2021-ben a kínálat már nem esik a kereslet alá, így a piaci sokk is mérséklésre kerül.

## 6 ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen TDK dolgozatom a villamosenergia-piac hosszútávú modellezéséről szól. Ennek során ismertettem a legalapvetőbb modellezési és pénzügyi fogalmakat, bemutattam a különböző előrejelzési módszereket és piaci mechanizmusokat. Ezek felhasználásával dolgozatom célkitűzésének megfelelően elkészítettem egy villamosenergia-piac hosszútávú viselkedését szimuláló modellt, amely képes szemléltetni a piacon lezajló folyamatokat, becslést adni a jövőben várható árakra vagy azok tendenciáira, képes különböző technológiák hatékonyságát szemléltetni, illetve azok elterjedésének mértékét bemutatni. A szimuláció segítségével tetszőleges villamosenergia-piaci scenáriók elemzése válik lehetővé.

A modell elkészítése során először működésének elméleti hátterét dolgoztam ki és dokumentáltam. A modell tetszőleges villamosenergia-piacra testre szabható. További célkitűzésem volt a magyar villamosenergia-piacra történő specifikáció, amelyet dolgozatom harmadik fejezetében ismertettem. A specifikáció során a kihívást a releváns adatok felkutatása, illetve kiszámítása jelentette.

Ezt követően került a modell Matlab környezetben leprogramozásra. Az elkészült szimulációs modell futtatására az fejezetben került sor, ahol három különböző scenárió elemztem a segítségével. Az első scenárió az alapeset volt, amikor a magyar piacra jellemző adatokkal feltöltött rendszer futtatása történt. A második megvizsgált eset a 2020-ig esedékes megújuló energiaforrásokkal működő kapacitások hatásainak elemzése volt. Végül, de nem utolsó sorban egy havária esemény hatására kiesett 1000 MW-os kapacitáshiány villamosenergia-piacra gyakorolt hatását vizsgáltam.

A modell további fejlesztési lehetőségei:

- olyan megoldások felkutatása, amelyben a befektetők számolnak a jövőbeli kapacitás kiesésekkel, és annak megfelelően korrigálják jelenlegi beruházási döntésüket,
- sztochasztikus változók bevonásával modellezhetővé lehetne tenni a villamosenergia-piac bizonytalanságait,
- a piacon a tökéletes verseny feltételezése helyett oligopol piac modellezése,
- az (éves) időbeli felbontás finomítása a szezonális hatásuk figyelembe vételével,

- a szükséges támogatási mértékek számolása, és azok modellbe való integrációja a megújulók arányára vonatkozó célkitűzés eléréséhez.

## 7 KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretnék köszönetet mondani **Sörös Péter Márk**nak a TDK dolgozat elkészítése során nyújtott áldozatos munkájáért és értékes szakmai tanácsaiért. A dolgozat javaslatai nélkül jelen formában nem jöhetett volna létre.

## 8 IRODALOMJEGYZÉK

- [1] John D. Sterman: „A Skpetic’s Guide to Computer Models”, MIT, Massachusetts, 1991
- [2] Javier Garcia, Jaime Román, Julián Barquin, Avelino González: „Strategic bidding in deregulated power systems”, Proc. PSCC’99 in Trondheim, Norway, 1999
- [3] Audun Botterud and Magnus Korpas: „Modelling of power generation investment incentives under uncertainty in liberalised electricity markets”, Dept. of Electrical Power Engineering, Norwegian University of Science and Technology, 2005.
- [4] Victor Niemeyer: „Forecasting Long-term electric price volatility for vauation of real power options”, Proc. 2000 IEEE 33rd Hawaii International Conference on System Sciences
- [5] Svetlana Borovkova, Helyette Geman: „Analysis and modelling of electricity mutures prices”, Studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics, Volume 10, Issue 3, Article 6., 2006.
- [6] Sascha Wilkens, Jens Wimschulte: „The pricing of electricity futures: evidance from the european energy exchange”, The Journal of Futures Markets, Vol. 27, No. 4, 387–410 (2007)
- [7] Julio J. Lucia, Eduardo S. Schwartz: „Electricity prices and power derivatives: Evidence from the Nordic Power Exchange”, Anderson Graduate School of Management, UC Los Angeles, 2000
- [8] Julia Frayer and Nazli Z. Uludere: „What is it worth? Application of Real Options Theory to the Valuation of Generation Assets”, The Electricity Journal, vol. 14, pp. 40-51, Oct. 2001
- [9] Fernando Olsina: „Long-term Dynamics of Liberalized Electricity Markets, Long-term Dynamics of Liberalized Electricity Markets”, 2005
- [10] Audun Botterud, Magnus Korpas, Klaus-Ole Vogstad, Ivar Wangensteen: „A dynamic simulation model for long-term analysis og the power market”, Proc. 2002 PSCC Power Systems Computation Conf., Session 12, Paper 4.
- [11] Chikán Attila: „Vállalatgazdaságtan” 4.átdolgozott, bővített kiadás, AULA Kiadó, 2008
- [12] Hal R. Varian: „Mikroökonómia középfokon- Egy modern megközelítés”, Akadémiai Kiadó, Budapest, 2000
- [13] Linear programming: [http://en.wikipedia.org/wiki/Linear\\_programming](http://en.wikipedia.org/wiki/Linear_programming) letöltés: 2013.10.20.
- [14] COSMOS Description: CWE Market Coupling algorithm 2010, [http://www.belpex.be/wp-content/uploads/20101109\\_Market\\_Segment\\_Procedure\\_Annex\\_1.pdf](http://www.belpex.be/wp-content/uploads/20101109_Market_Segment_Procedure_Annex_1.pdf) letöltés ideje:2013.10.20.
- [15] Rob J Hyndman, George Athanasopoulos: „Forecasting: principles and practice”, 2013  
<https://www.otexts.org/book/fpp> letöltés: 2013.10.20.

- [16] Rob J. Hyndman: „Forecasting based on state space models for exponential smoothing”, 2002, <http://peerforecaster.com/downloads/pegels.pdf> letöltés ideje:2013.10.20.
- [17] Belső megtérülési ráta: <http://ecopedia.hu/belso-megterulesi-rata> letöltés: 2013.10.20.
- [18] MVM árverés <http://www.mvm.hu/hu/hirek/SitePages/newsType.aspx?Type=Trade> letöltés ideje: 2013.10.20.
- [19] KSH: Általános gazdasági mutatók - Fogyasztói árak: Egyes termékek és szolgáltatások éves fogyasztói átlagára (1996–2012), [http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat\\_eves/i\\_qlsf003b.html](http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_qlsf003b.html) letöltés ideje: 2013.10.20.
- [20] HUPX 2010: [http://hupx.hu/market/publikus\\_riportok/spot.html](http://hupx.hu/market/publikus_riportok/spot.html) letöltés ideje: 2013.10.20.
- [21] HUPX2011:  
[http://hupx.hu/media/HUPX\\_DAM\\_2011\\_ANNUAL\\_REPORT\\_HUPX\\_PEL\\_2012\\_0018\\_203.pdf](http://hupx.hu/media/HUPX_DAM_2011_ANNUAL_REPORT_HUPX_PEL_2012_0018_203.pdf)  
letöltés ideje: 2013.10.20.
- [22] HUPX 2012:  
[http://hupx.hu/media/HUPX\\_DAM\\_ANNUAL\\_REPORT\\_2012\\_PUBLIC\\_HUPX\\_PEL\\_2013\\_0\\_310.pdf](http://hupx.hu/media/HUPX_DAM_ANNUAL_REPORT_2012_PUBLIC_HUPX_PEL_2013_0_310.pdf)  
letöltés ideje: 2013.10.20.
- [23] MNB: <http://www.mnb.hu/Statisztika/statisztikai-adatok-informaciok/adatok-idosorok> letöltés: 2013.10.20.
- [24] Dr. Stróbl Alajos: GTTSZ: Hazai energiaforrásaink és lehetőségeik, „A hazai erőműépítés helyzete és távlatai”, Hungexpo, Budapest, 2010. május 4. előadás
- [25] „A Magyar Villamosenergia-rendszer közép- és hosszú távú forrásoldali kapacitásfejlesztése 2012.” Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító ZRt., Rendszerirányítási Igazgatóság, Rendszerszintű Tervezési és Elemzési Osztály, Budapest, 2012
- [26] „A magyar villamosenergia-rendszer (VER) 2011.évi statisztikai adatai” Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító ZRt. 2011 36. oldal  
[http://www.mavir.hu/documents/10258/154394509/statisztika\\_bel\\_2011\\_web\\_jav\\_1008.pdf](http://www.mavir.hu/documents/10258/154394509/statisztika_bel_2011_web_jav_1008.pdf)  
2013.10.20.
- [27] „Erőműfejlesztések az EU-ban és a hazai alternatívák”, Energiapolitikai Füzetek XVI. szám: GKI Energiakutató és Tanácsadó Kft., Budapest, 2009, 13. oldal
- [28] „A magyar villamosenergia-rendszer adatai 2012” Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító ZRt. Budapest, 2012, 6. oldal
- [29] „A kapcsolt hő- és villamosenergia-termelés versenyképessége és szabályozási kérdései Magyarországon” Regionális Energiagazdasági Kutatóközpont (REKK), Budapesti Corvinus Egyetem, 2010, 69. oldal



[30] „A hazai végső energia-felhasználás és a villamosenergia-ár prognózisának elkészítése 2020-ig” Energiakutató Intézet (EKI Kft.)- REKK, Budapest, 2009 38. oldal

[31] Dr. Ósz János: Gazdasági kérdések 1: „Vezetékes energiahordozók” előadás, BME Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék, elérhető:

<http://www.energia.bme.hu/bme/ujproba/docs/notes/bsc/energetika/11temakor.ppt> letöltés ideje: 2013.10.20.

[32] U.S. Energy Information Administration „Levelized Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2013”

[33] „A Magyar Villamosenergia-rendszer fogyasztói igényeinek előrejelzése 2012” Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító ZRt., Rendszerirányítási Igazgatóság, Rendszerszintű Tervezési és Elemzési Osztály, Budapest, 2012

[34] „A Bizottság jelentése a Tanácsnak és az Európai Parlamentnek a villamosenergia-ellátás biztonságát és az infrastrukturális beruházások védelmét célzó intézkedések előrehaladásáról” Európai Bizottság 52010DC0330, Brüsszel, 2010.06.25. elérhetősége:

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2010:0330:FIN:HU:HTML> letöltés: 2013.10.20..

[35] „Az állam szerepe a villamosenergia-szektorban”, Energiapolitikai Füzetek I. szám: GKI Energiakutató és Tanácsadó Kft., Budapest, 2005 23. oldal

[36] Magyarország megújuló energia hasznosítási cselekvési terve 2010 – 2020: „2020-ig terjedő megújuló energiahordozó felhasználás alakulásáról” Nemzeti Fejlesztési Minisztérium, 2011

## 9 ÁBRAJEGYZÉK

1-1. ábra Liberalizált villamosenergia-piac Magyarországon, forrás: mekh.hu .....	3
2-1. ábra Keresleti és kínálati függvény.....	8
2-2. ábra Lépcsős kínálati függvény .....	9
2-3. ábra Társadalmi jólét.....	9
3-1. A modell egyszerűsített blokkvázlata.....	14
3-2. ábra Villamosenergia-ár előrejelzés.....	17
3-3. ábra Erőműtípusok határköltégei.....	18
3-4. ábra Kiépítendő kapacitás meghatározása .....	19
3-5. ábra Kereslet felépítése .....	21
4-1. Szabadpiaci árak.....	25
4-2. ábra Termelői oldal kínálati függvénye.....	30
4-3. ábra Kereslet görbéje.....	31
5-1. ábra Alapeset: Villamosenergia-árak .....	33
5-2. ábra Alapeset: Egyensúlyi-ár.....	34
5-3. ábra Alapeset: Teljes kereslet és kínálat .....	35
5-4. ábra Alapeset: Terjeszkedő technológiák kapacitásai .....	36
5-5. ábra Alapeset: Stagnáló és csökkenő kapacitások .....	37
5-6. ábra Megújulók: villamosenergia-árak.....	38
5-7. ábra Megújulók: Teljes kereslet-kínálat és az összkapacitások változása.....	39
5-8. ábra Megújulók: kapacitás kiépülések .....	39
5-9. ábra Havária: Villamosenergia-árak.....	40
5-10. ábra Havária: Teljes kereslet és kínálat alakulása.....	41
5-11. ábra Havária: kapacitás kiépülések.....	41
5-12. ábra Havária: importtal kompenzálás.....	42

## 10 TÁBLÁZATJEGYZÉK

3-1. táblázat Modell exogén változói .....	23
4-1. táblázat Szabadpiaci villamosenergia-árak .....	25
4-2. táblázat Erőműtípusok .....	26
4-3. táblázat Erőműtípusok jellemzői 1 .....	27
4-4. táblázat Erőműtípusok jellemzői 2 .....	28
4-5. táblázat Erőmű kivonási terv.....	29
4-6. táblázat Import mértékének változása 2009-12 .....	30