

**PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM  
KÖZGAZDASÁGTUDOMÁNYI KAR**

**GAZDÁLKODÁSTANI DOKTORI ISKOLA**

Csapi Vivien

**Stratégiai beruházások a villamosenergia-szektorban**

A reálopció-elmélet alkalmazásának lehetőségei és korlátai a liberalizált villamosenergia-szektor egyedi és összetétel-szint optimalizálási döntéshozatala során

**DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI**

**Témavezető : Dr. Bélyácz Iván  
egyetemi tanár**

**Pécs, 2013**



## TARTALOMJEGYZÉK

<b>1. A TÉMAVÁLASZTÁS INDOKLÁSA.....</b>	<b>1</b>
<b>2. A KUTATÁS CÉLKIT ZÉSEI .....</b>	<b>3</b>
<b>3. A DISSZERTÁCIÓ HIPOTÉZISEI.....</b>	<b>4</b>
<b>4. AZ ÉRTEKEZÉS FELÉPÍTÉSE .....</b>	<b>5</b>
<b>5. A KUTATÁS MÓDSZERTANA .....</b>	<b>8</b>
<b>6. A KUTATÁS EREDMÉNYEINEK BEMUTATÁSA .....</b>	<b>9</b>
<b>7. TÉMÁHOZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE .....</b>	<b>21</b>



## 1. A TÉMAVÁLASZTÁS INDOKLÁSA

**Értekezésem vizsgálati tárgya** egy dinamikus szektor, speciális beruházás-elméleti problémájának, az egymással kölcsönhatásban lévő, jelentős endogén és exogén bizonytalanság által sújtott, valamint szignifikáns flexibilitási potenciállal bíró beruházások összetételének vizsgálata. A speciális iparág, melynek beruházásait görcs alá vettem, melynek beruházásain keresztül a döntéshozók számára rendelkezésre álló értékelési módszerek közül, a különböző optimalizációs szempontok mentén megfogalmazott célok elérését legpontosabban támogató, az azonosított bizonytalansági források, a rugalmasságban rejlő potenciál együttes megragadását lehetővé tevő eljárásokat azonosítottam, a villamosenergia-szektor.

**Miért pont a villamosenergia-szektor?** Kutatói pályám az időjárási kockázatok vállalatokra kifejtett hatásának feltárásával, a lehetséges kockázatkezelési módszerek azonosításával indult; majd a reálopciók módszerének a kutatás fókuszába állításával a reálopciók részletes vizsgálatával folytatódott. A módszer mélységi vizsgálata során a definiálás, valamint a típusok széles tárházának bemutatását követően foglalkoztam az elmélet pénzügyi eltérő diszciplínákon (termelés-menedzsment, marketing, számvitel stb.) belüli alkalmazási lehetőségeivel. Kutatásom fókuszába ezt követően került az éghajlat-változási munkák kapcsán azonosított legfontosabb szennyező, a szabályozások által leginkább sújtott villamosenergia-szektor.

*Melyek a villamosenergia-szektor, a szektort övező környezet, a szektor szereplőinek azon karakterisztikái, melyek ezeket egy beruházás-elméleti kutatómunka alkalmas alanyává tették? Illetve létezik-e alkalmasabb iparág a bizonytalanság és rugalmasság minden határon túli figyelembe vételének irányába mutató projektértékelési evolúció bemutatása számára?*

Az utóbbi évtizedekben alapvetően **két társadalmi trend** mozgatja a villamos-energia iparág hosszú távú alakulását. Az első a fogyasztók oldaláról érkező **fokozott igény a költséghatékonyság iránt**, mely számos deregulációs, valamint a liberalizáció irányába mutató intézkedést eredményezett a korábban szabályozott keretek között működő iparágak szerte (*telekommunikáció, vasúti szolgáltatások, légi közlekedés, gáz-, illetve villamosenergia-szolgáltatás*).

A villamos-energia piaci liberalizáció célja az volt, hogy a villamos-energia fogyasztók számára megbízhatóbb és olcsóbb szolgáltatást garantáljanak. Európában a legjelentősebb lépés a 1996 végén megalkotott Európai Bizottsági direktíva, mely az Európai Unió tagországai számára előírta a villamos-energia piacok fokozatos nyitását, a legkésőbb 2010-ig elérendő teljesen kompetitív piacok realizálásának követelményével. A liberalizáció fontos következménye a tradicionális szabályozott szolgáltatók költségminimalizálási fókuszának eltolódása a profit maximalizálás irányába, működésüknek azon területén, ahol a verseny megjelent. A bizonytalanság fontos szerepet kap a váltással, hiszen a sztochasztikus tényezők beépülnek a villamos-energia piac azonnali áraiba. Mindez ellentmond a szabályozott piaci körülményeknek, ahol a bizonytalanság szintén jelen volt, van, de az ritkán épül be a szabályozott tarifákba.

A második trend szintén a társadalom oldaláról érkező **felismerés a fokozott energia felhasználás környezetkárosító hatásait illetően**, valamint a felismerés eredményeként tanúsított nyomás mind a szabályalkotók, mind a villamos-energia

termelés, de a mérnök társadalom irányába az új, tisztább villamos-energia előállítás technológiák kifejlesztése, támogatása, használata iránt.

**A fenti két trendet összefoglalóan a gazdasági hatékonyság, valamint a környezeti felelősségvállalás fogalmával kapcsolhatjuk össze, mely trendek alapjaiban rengették meg a villamosenergia-szektor működési körülményeit.** A környezeti felelősségvállalás elsősorban a szabályokban tükröződik vissza, melyek célja a „szennyezés” villamosenergia-termelés visszaszorítása. A megújuló energiaforrás alapú termelés kereskedhet tanúsítványai (certificate), a korlátok, kvóták és a károsanyag-kibocsátásra kivetett adó csak néhány példa az ilyen környezeti szabályokra.

*A villamos-energia rendszerek komplex, integrált, többszereplős szaki rendszerek.* A villamosenergia-szektor szereplőinek, működésének, felépítésének jellemzésekor számos speciális karakterisztikát kell figyelembe venni. Ezek egy része a villamosenergia mint áru speciális belföldi tulajdonsága, más része pedig a szektort alapjaiban alakító trendek következménye.

Az új, liberalizált rendszernek a lényege abban állt, hogy a korábban zárt, vertikális ellátási láncot felhasította három jól elkülönülő üzletágra, nevezetesen **a termelésre, az átvitelre és elosztásra, illetve kereskedelemre.** A liberalizációval és a kompetitív energia-piacok létrejöttével a villamosenergia-rendszerek működése és szervezése alapjaiban alakult át. **Míg a tradicionális villamosenergia-rendszerek működésére a magas fokú centralizáció volt a jellemző, a liberalizációval a saját profitjukat maximalizáló villamosenergia-szolgáltatók decentralizált döntései nyertek teret.**

A termelő kapacitások jelenlegi összetétele és az egyedi technológiák jövőbeli potenciálja ismeretében fontos megjegyezni, hogy a fejlett országok jelenleg meglévő erőműparkja előregedőben van, és a következő 10-20 évben legalább részleges cseréjük esedékessé válik. Helyenként szóba jöhet az erőművek élettartamának meghosszabbítása, azonban a növekvő villamosenergia-kereslet következtében a kapacitás-bővítés elkerülhetetlen.

**Az új kapacitásokba történő beruházási döntések a jövő villamosenergia-összetételének karbon-intenzitását, a fogyasztók terheit, a termelők profitját hosszú távon meghatározó stratégiai kérdések.**

Földünk villamosenergia-termelése máig erősen dominált a fosszilis energiahordozó alapú technológiák által. E túlzott mértékű függőség egyrészt aggályos a fűtőanyagok égetése által az atmoszférába kerülő jelentős mennyiségű szén-dioxid és egyéb káros anyag okán, másrészt a nyersanyag-készlet erősen korlátos voltából adódóan.

A probléma, hogy **még mindig nem vagyunk biztosak a környezeti küszöbök pontos mértékében, vagyis mi az a hatás, amelyet ha átlép az éghajlatváltozás, annak végzetes következményei is lehetnek.** A befektetők nem lesznek hajlandóak befektetni az éghajlat-változás hatásait enyhítő eszközökbe és tisztább technológiákba, ha kiderül, hogy a környezeti küszöb nincs is annyira közel.

**Tehát bár minden jel arra utal, hogy a környezetváltozás valós, a beruházók nagy része a mai napig az olcsóbb, piszkosabb technológiákba kíván befektetni.** Mivel a villamosenergia-szektorba történő beruházások többsége irreverzibilis, következésképpen az adott kapacitásokat azok gazdasági élettartamának végéig használják, a következmény a folyamatosan felhalmozódó kibocsátás lesz. **Ezért a**

**villamos-energia termelők, valamint a társadalom, illetve környezeti dimenziók érdekeinek közelítése érdekében a kormányzatnak, a szabályalkotóknak kell az összekötő kapocs szerepét betölteni.**

A villamos-energia előállításának technológiákba történő beruházási döntés tehát mára bonyolultabbá vált, mint valaha. A döntéshozóknak egyrészt a szereplők sokaságának eltérő preferenciái alapján, egy megváltozott piaci szerkezetből adódóan fokozott bizonytalanság és energiakereslet mellett, a környezettudatosság, az energiahatékonyság, és az energiabiztonság szem előtt tartásával kell meghozniuk beruházási döntéseiket.

## **2. A KUTATÁS CÉLKITŰZÉSEI**

Véleményem szerint az erőforrás-beruházások elemzésére és értékelésére irányuló források elsősorban a termelési technológiák egyedi, egy-egy érdekelti nézőpontból, a bizonytalansági tényezőket korlátozott számának figyelembe vétele mellett, a komplex szaki rendszerekben rejlő rugalmasságok korlátozott kihasználásával végrehajtott vizsgálatára szorítkoznak. Vagyis elmarad a villamosenergia-összetételnek többcélú, a termelők jellemzően profitorientált, a fogyasztók vegyesen költség-centrikus és környezeti szempontú, valamint a szabályalkotóknak az ellátásbiztonság minden határon túli realizálására törekvő, környezeti kérdéseket szem előtt tartó, az energiahatékonyság javulására irányuló szempontjainak együttes figyelembe vétele, illetve ezek az energia-összetétel eltolódását eredményező cserekapcsolatainak azonosítása.

A villamosenergia-szektoron fokozott a nyomás a fosszilis technológiák körének szűkítése, valamint az alacsony káros anyag kibocsátású villamosenergia-termelési eljárások körének bővítése iránt. Ezen átmeneti kulcsát a források a fosszilis alapú villamosenergia-termelésről való elmozdulásban, a nukleáris és megújuló energiaforrás alapú technológiák villamosenergia-összetétel belüli részarányának növekedésében, valamint a villamosenergia-felhasználás hatékonyságának javulásában látják. **Az elemzések a legtöbb esetben makroökonómiai szemléletben, elsősorban a technológiák költségalapú összehasonlítására fókuszálva készülnek.**

**A 20. század, jellemzően költségalapú kapacitás tervezési eljárásainak evolúciója véleményem szerint a bizonytalanság modellbe foglalásának törekvése mentén haladt.** Sorra születtek az input paraméterek számosságának, azok pontosságának növelésével az adekvát költségbecslést célzó, ugyanakkor a beruházásokban rejlő lehetőségeket, a menedzseri flexibilitást, valamint a vizsgált villamosenergia-termelési technológiák közötti kölcsönhatásokat figyelmen kívül hagyó modellek.

Véleményem szerint a mai dinamikus környezetben, a megváltozott piaci feltételek mellett a szektor beruházásainak mikro-ökonómiai perspektívájú értékelése legalább annyira, ha nem fontosabb, hiszen ezáltal nyerhetünk betekintést egy-egy technológia potenciális költségparamétereire mellett a beruházási magatartás megváltozásának irányába mutató ösztönzőkről, az egyes villamosenergia-termelési eljárások értékteremtési potenciáljáról. A mikro-szemlélet lehetővé teszi a kockázat elemzésbe foglalását, a bizonytalanság mellett hozott beruházási döntések elvárt hozamának számszerűsítését.

A bizonytalanság mellett hozott beruházási döntések kritikus pontja a bizonytalanság projektértékre kifejtett hatásának számszerűsítése. Az első paradigma mely megfelel ennek képes közelíteni az egyes bizonytalansági tényezők projektértékre kifejtett hatását véleményem szerint a reálopció-elmélet. **A reálopció-elmélet központi premisszája** szerint a menedzseri döntések fókuszában a flexibilitást növelni, a bizonytalanságot kezelni opciók létrehozatala, majd ezek lehívása (érvényesítése) vagy le nem hívása (nem érvényesítése) áll. **A villamosenergia-szektorban a beruházásokat körülvevő jelentős mértékű bizonytalanságnak, valamint a magas elsüllyedt költségek és a beruházás időzítésének rugalmassága közötti interakció kombinálásában rejlik potenciálisan együttesen teszi különösen érdekes területté a reálopció-elmélet számára.**

Dolgozatom célja nem egyszerűen a reálopció-elmélet villamosenergia-szektoron belüli alkalmazásában rejlik értékteremtési, valamint kockázat enyhítési potenciál illusztrálása, de a portfólió-szempontról reálopció elemzésbe foglalásával, a reálopció-elmélet villamosenergia-összetétel vizsgálatokhoz, az egyes technológiák kockázat-hozam karakterisztikája alapján hozott optimalizációs döntésekhez való hozzájárulásának azonosítása.

E cél elérése érdekében, illetve a cél eléréséhez vezető úton megfogalmazott hipotéziseim a következők:

### 3. A DISSZERTÁCIÓ HIPOTÉZISEI

Hipotézis I.

**A standard kapacitás tervezési eljárások a méret-gazdaságosság elvéből kiadódóan a fejlett, elsősorban megújuló technológiákban rejlik stratégiai elnyök, megragadására, valamint valós piaci potenciáljuk kihasználásának elősegítésére képtelenségük folytán alapvetően a hagyományos (fosszilis, nukleáris) technológiák térnyerését szorgalmazzák.**

Hipotézis II.

**Az egyes technológiák közötti kölcsönhatások megragadásával a portfólió-elmélet képes az optimalitásnak magasabb fokán álló villamosenergia-összetétel azonosítására.**

Hipotézis III.

**A reálopció-elemzés lehetővé teszi a technológia-beruházások mind költség, mind bevétel oldali bizonytalanságának modellezését, a beruházás időzítésére illetve a működés alakíthatóságára vonatkozó flexibilitás értékelésével egy stratégiai érték azonosítását, ezzel az adekvátabb beruházási döntés-támogatás megvalósítását.**

Hipotézis III./a

**Az időzítési rugalmasság (halasztás és elvetés lehetősége) a legnagyobb stratégiai értéket a fejlett, megújuló energiaforrás alapú technológiák esetében eredményezi.**



Hipotézis III./b

**A m ködési rugalmasság (b vítés lehet sége) által teremtett stratégiai érték a tanulási hatásnak, valamint a hagyományos értékteremtés mértékének függvénye.**

Hipotézis IV.

**A reálopció-elemzés során azonosított stratégiai érték szignifikáns hatással bírhat a villamosenergia-összetétel optimalizálására irányuló befektet i döntéshozatalra.**

Hipotézis IV./a

**A reálopció-elmélet alkalmazása a kapacitás tervezési döntéshozatal során el segítheti a fejlett technológiák villamosenergia-termelésen belüli térnyerését.**

#### 4. AZ ÉRTEKEZÉS FELÉPÍTÉSE

Dolgozatomat a kapacitás tervez k játékterének, a villamosenergia-szektornak leírásával, a szektor beruházási döntéseit alakító, arra közvetlen, vagy közvetett hatást kifejt , kifejtteni képes szerepl nek, illetve legf bb mozgatóiknak elemzésével kezdtem (*1. fejezet*); ezt követ en a *második fejezet* a szektor beruházási döntéseit, a beruházási környezetet, a reálopciók alkalmazását lehet vé tev beruházási karakterisztikákat, valamint a beruházásokat övez bizonytalanságot járta körül.

A beruházások mindenkori volumene képes az adott termel szektor szerkezetét és hosszú távú termel képességét befolyásolni. A következ 25 évben Földünk összes energia beruházásának (16 trillió dollár) 60%-a a villamosenergia-szektorban valósul meg. Ennek a közel tíz trillió dollárnak mintegy felét a villamosenergia-termelési technológiákba irányuló befektetések teszik ki. A szektor költség-megtakarítási lehet ségeinek jelent s része az új termelési-technológia beruházások allokációjának és összetételének hatékonyságához köthet . Egy termel -ágazat jöv beli fejl dési irányának megértéséhez szükség van a **beruházások mozgatóinak, befolyásoló tényez inek, logikai alapvetéseinek feltárására.**

**A villamosenergia-szektor beruházási döntéshozatali folyamata a verseny megjelenésével drámaian átalakult.** Megváltozott a döntéshozók és a döntést befolyásolók köre, illetve preferenciája; megsokszorozódtak és fenyeget bbé váltak a bizonytalansági tényez k, ellehetetlenült ezek (negatív) következményeinek áthárítása. Az értekezés második fejezetében elemeztem a beruházási folyamat két paradigma (*monopólium vs. versenypiac*) melletti karakterisztikáját, majd a megváltozott körülmények közötti beruházás-elemzés lehetséges perspektíváit (*piaci, befektet i, szabályozói perspektíva*); ezt követ en a villamos-energia beruházások általános jellemz inek (*bizonytalanság, hosszú kivitelezési id , irreverzibilitás, rugalmasság*) bemutatása; végül a legkritikusabb karakterisztika, a bizonytalanság jelenségének elméleti és szektor-specifikus körülményeinek következtetése.

A disszertáció villamos-energia összetétel-elemzésre **koncentráló harmadik pillére.** A dolgozat ezen fejezete a villamos-energia kapacitás tervezést támogató eljárások evolúciós összefoglalója, kiemelt fókusszal a komplex m szaki rendszerek hosszú távú beruházásainak összehangolását lehet vé tev metódusokra. A történeti áttekintés célja

a szektor megváltozott keretrendszerének projekt-értékelésre, összetétel tervezésre kifejtett hatásának szemléltetése, az új, hatékonyabb eljárás(ok) iránti szükséglet igazolása volt (3. fejezet). A fejezet összefoglaló tábla:

**1. táblázat A beruházás-értékelési módszerek evolúciója**

Id szak	1960 el tt	1960-1970	1970-1980	1990 után	2000 után
<b>Termelés</b>	alacsony költségek	egyenletes költség növekedés	jelent s költség növekedés	magas, bizonytalan költségek	bizonytalanság
<b>Piac</b>	jelent s növekedés	törtelen növekedés	lassulás	mérsékelt növekedés	bizonytalanság
<b>Szabályozás</b>	stabil	megjelen környezeti szempontok	kereslet oldali nyomás, megújuló technológiák	élesed verseny	bizonytalanság
<b>Optimalitás kritériumok</b>	ellátás biztonság	ellátás biztonság, költségmini-malizálás, környezeti trade-offok	megújuló energiák, kockázatmenedzsment	profitmaximalizálás értékteremtés	érték-teremtés (részvényesi, környezeti, társadalmi)
<b>Módszerek</b>	megtérülés alapú eljárások, túlt késítés	költség alapú módszerek	integrált forrás tervezés	DCF-módszereket kiegészít eljárások	portfólió-elmélet reálopció-elmélet

**Forrás: Saját szerkesztés**

A dolgozat f fejezete (4. fejezet) a reálopció-elmélet létrejöttét követ en a stratégiai reálopció menedzsment szemszögéb l járja körül a legf bb típusokat, jellemz ket, valamint a reálopció értékelési eljárásokat. A reálopció-elmélet összetétel-tervezés területén történ alkalmazása megköveteli az elmélet kiterjesztését, egy új értékelési szemlélet, a reálopciók portfóliójának vizsgálatát.

A standard értékelési eljárások legújabb és egyben azok legtöbb hiányosságának kiküszöbölésére alkalmas b vítménye a reálopció-elmélet. **Mi keltette életre a reálopciókat? Mi az, amiben a reálopció-elmélet attraktivitása rejlik?** A könnyen alkalmazható, instruktív diszkontált pénzáram alapú megközelítések a menedzsment passzív hozzáállását feltételezik; implicit módon azzal a feltételezéssel élnek, hogy a projekt azonnal megkezd dik, és a várható hasznos élettartam végéig folyamatosan m ködik, még akkor is, ha a jöv bizonytalan. Ennek következtében, a DCF-eljárások figyelmen kívül hagyják a menedzsment rugalmas alkalmazkodása és innovációi által a projektbe építhet hozzáadott értéket, vagyis szisztematikusan alábecsülik a beruházások értékét. A befektetési alternatívák alulértékelése alul-beruházáshoz, valamint a versenyképes pozíció elvesztéséhez vezethet. A hatékony projektértékelési eljárás **figyelembe veszi mind a bizonytalanságot, mind a stratégia sikeréhez elengedhetetlen aktív döntéshozatalt.**

**A reálopció-elmélet központi premisszája** szerint a menedzszeri döntések fókuszában a flexibilitást növel , a bizonytalanságot csökkent opciók létrehozatala, majd ezek lehívása (érvényesítése) vagy le nem hívása (nem érvényesítése) áll. Amennyiben egy vállalat képes - ezen kett s törekvés szem el tt tartásával - **reálopciókat felismerni, létrehozni, illetve alkalmazni**, nem egyszerűen a kockázatokkal szembeni ellenállóképesség javulása valósulhat meg, de hosszú távon a részvényesi érték növekedése is, az alacsonyabb költség szerkezet vagy a magasabb árbevétel-szint eredményeként. A reálopciók potenciálisan egy jóval hatékonyabb módot kínálnak a vezet nek a cégük

t kéjének allokálására, és a részvényesek vagyonának maximalizálására a bizonytalanság kezelésével, és a kockázat csökkentésével.

Az utóbbi évtizedben a reálopció-elmélet kiterjesztéseként a **reál-projektekre** értelmezett opciók mellett megjelent a **reál-projektekben** értelmezett opcionalitás fogalma. A projektekre értelmezett reálopciókra tekinthetünk úgy, mint egy-egy technológiára, reáliára kiírt pénzügyi opciókra, ahol maga a technológia fekete dobozként értelmezett. Ezzel szemben a projektekben vizsgált reálopciókat azért keltették életre, hogy az aktuális technológiai rendszert megváltoztassák.

**A projektekre értelmezett reálopciók jellemzően a beruházási lehetőségek értékelésével foglalkoznak, míg a projektekben foglalt reálopciók a rugalmasság kialakításával.** A projektekre értelmezett reálopciók fókuszában a pontos érték meghatározáson keresztüli döntéstámogatás áll, míg a projektekben foglalt reálopciók célja a „belevágni, vagy sem” kérdések megválaszolása. Ebből is következik, hogy az utóbbi esetben maga az érték meghatározás, illetve kvantifikálás nem kap kiemelt szerepet, itt elsősorban a rugalmasságnak kvalitatív megragadásán van a hangsúly.

A projektekre értelmezett reálopciók definiálása viszonylag egyszerű feladat. Ezzel szemben ahhoz, hogy a projektekben foglalt reálopciókat felismerjük, azonosítsuk, és megértsük, a technológia mély gazdasági, műszaki ismeretére van szükség. A projektekben értelmezett reálopciók kiemelt jelentőséget kapnak a műszaki rendszerek elemzésére irányuló tanulmányokban.

A legnagyobb problémát emellett **a rugalmasság nehéz felismerhetőségének problémája** okozza. Míg a projektekre értelmezett reálopciók esetében a technológiai, műszaki szempontok, a kölcsönhatások, az út-függőség nem kapnak kiemelt figyelmet, addig a projektekben foglalt reálopciók esetében a komplex technológiai korlátok gyakran eredményeznek kölcsönhatásokat, út-függőséget. Többek között ezen nehézségek, a szükséges információk hiánya, valamint az opcióértékelés számára korlátozott rendelkezésre állása folytán, viszonylag szűknek tekinthető a terület szakirodalma.

A reálopciók villamos-energia beruházásokra alkalmazásának lehetőség-vizsgálata egy újabb nézőponttal bonyolódott, hiszen a szektor esetében egyértelműen a projektekben foglalt reálopciók dominálnak.

- ✓ Ahhoz, hogy képesek legyünk a villamosenergia-szektor beruházásait a reálopció-szerű metodikával vizsgálni, magának a szektornak, annak műszaki paramétereinek ismerete szükséges, vagyis „csupán” pénzügyi tudás birtokában lehetetlenné válik az elemzés.
- ✓ A projektekre értelmezett reálopciók elhatárolható, a kiválasztott binomiális értékelési eljárással megragadható problémát eredményeznek. A villamosenergia-szektor projektekben foglalt reálopciói azonban, egymástól kölcsönösen függő eseteket szülnek. Pontosan ez az interdependencia az, aminek megragadására, legyen szó új és új, vagy új és meglévő erőforrások közötti kölcsönhatásról, a rendelkezésre álló tervezési eljárások nem képesek. Ezen a ponton azonban újabb ellentmondást véltem felfedezni a források mondanivalójában. A projektekben értelmezett reálopciók nem tulajdonítanak kiemelt hangsúlyt az érték meghatározásra, megelégednek a projektekben foglalt

rugalmasság kvalitatív közelítésével. Dolgozatom célja els sorban annak a kérdésnek a vizsgálata volt, hogy a reálopció-elmélet képes-e az akkurátusabb beruházási döntéstámogatásra a villamosenergia-szektorbeli projektek kapcsán. Vagyis elengedhetetlennek tartottan az egymással kölcsönhatásban lévő reálopciók, a reálopcióknak kvázi portfólió-szemlélet, a kvantifikálhatóságra fókuszáló vizsgálatát.

- ✓ Végül a projektekben foglalt reálopciók kapcsán véleményem szerint a projektekre értelmezett reálopciók tulajdonságának ellentmondó útfügg ségére szintén a villamosenergia-szektor szolgáltatja a legtipikusabb példát. Egy kapacitás kiépítés kapcsán az adott  $er_m$  jövő belı teljesítményét  $er_{sen}$  befolyásolja a jövő belı villamos-energia használat. Amennyiben a kereslet magas akkor a beruházó kénytelen újabb beruházásokat eszközölni annak teljesítése érdekében. Vagyis a projektekben foglalt reálopció értékét egyébként  $k$  jövő belı alakulása befolyásolhatja.

**Dolgozatom negyedik fejezetében tehát a fenti logika mentén, visszanyúlva a kapacitás tervezés során felvezetett fonalhoz, a reálopciók villamosenergia-szektoron belüli egyedi és összetétel szint alkalmazási lehet ségeknek kvalitatív vizsgálatát végeztem el.**

A dolgozat **empirikus fejezete** a bemutatott kapacitás tervezési eljárások gyakorlati alkalmazásának, a villamosenergia-összetétel jellemzőit a Magyarországon is elérhető, de sok esetben 18 termelési technológiára végrehajtott optimalizációjának folyamatát, illetve annak eredményeit mutatja be. A disszertáció ezen, gyakorlati fejezetének felépítése követi az elméleti áttekintés id belı felépítését, vagyis az egyes metódusokat megjelenésük kronologikus sorrendjében alkalmaztam, kifejezetten az egyes állomások hozzáadott értékére koncentrálni (5. fejezet). A fejezetet a reálopció-elmélet összetétel-optimalizálási modellbe foglalásának kísérletével, illetve az eredményül kapott összetételbe vonási sorrendek értékelésével zárom (ezek eredményér l kés bb).

A dolgozatot megfogalmazott hipotéziseim vizsgálatával, az egyes kapacitás tervezési eljárások összefoglaló értékelésével, további kutatási lehet ségek azonosításával zárom (6. fejezet).

## 5. A KUTATÁS MÓDSZERTANA

Értekezésem elméleti és módszertani fejezetében is mind primer, mind **szekunder kutatásra** alapoztam.

A villamosenergia-szektor kockázati kataszterének megalkotásakor **primer kutatást végeztem**. A hazai  $er_m$  vek munkatársait hívtam segítségül ezek közül a feltárt bizonytalansági tényezők közül legrelevánsabb kategóriák azonosítása érdekében. A Magyar Energia Hivatal által közzétett termelési engedélyes, azaz 50 MW feletti teljesítménnyel rendelkező  $er_m$  vek (egy-egy vezet munkatársával kitöltött kérdőív keretében arra kértem a válaszadókat, hogy rangsoroljanak tíz kockázati kategóriát, majd nyilatkozzanak ezek fenyegetésének intenzitásáról, valamint az általuk használt, ezek figyelembevételére alkalmas beruházás-értékelési metódusokról.

Munkám empirikus fejezetében a vizsgált **kapacitás tervezési eljárásokat alkalmaztam a gyakorlatban**, vagyis a teljes életciklus költség-, a sz r görbe-elemzés-, a lineáris programozás-, a portfólió-elmélet-, valamint reálopció-elmélet ismert módszertanát. A kapacitás tervezés meglév módszertanát tizenhét villamosenergia termelési technológia tizenegy paramétere épül modellek felépítésével alkalmaztam. Az utóbbi inputadatokat összesen tizenöt adatbázisból vett értékek alapján kalkuláltam *(ezek minimum, maximum és átlagértékeit lásd a dolgozat 3. számú mellékletében)*

Empirikus kutatásom utolsó fázisában a portfólió-elmélet és a reálopció-s módszertan ötvözésével, egy **saját optimalizációs modell megalkotásával** igazoltam a reálopció-elmélet hozzáadott értékét a villamos-energia kapacitás tervezés módszertanához.

Az elemzés során a Microsoft Excel™ adatelemző b vítményét, a MATLAB™ 2010a matematikai elemző szoftvert, valamint a végrehajtott paraméter szimulációk során az Oracle Crystal Ball™ szoftvert használtam.

## 6. A KUTATÁS EREDMÉNYEINEK BEMUTATÁSA

Disszertációmban a megváltozott piaci körülmények, illetve a fogyasztói és szabályalkotói elvárások átalakulásának következtében jelentős és fokozott bizonytalanságnak kitett villamosenergia-szektor irreverzibilis beruházásainak értékelésére épül ; az id bel i és m kódési rugalmasságokat egyaránt aktívan keres , felismer és kihasználó menedzseri döntéseknek mozgatóit vettem számba, különös tekintettel az összetétel-tervezés beruházási megfontolásaira.

**Kutatómunkám három pillérre építettem.** Els ként a villamosenergia-szektor speciális karakterisztikáival, illetve az azokat alakító domináns trendekkel foglalkoztam, megteremtve értekezésem keretrendszerét; majd a szektor speciális beruházási jellemzőivel, a beruházási döntéshozatal elemzési perspektíváival, a különféle beruházás-gazdaságossági számítások létrejöttét determináló tényezőkkel foglalkoztam.

Értekezésem harmadik pillérét a kapacitás tervezés módszertanának ismertetése alkotta, melyben a beruházás-értékelési eljárásokat egy-egy id szakhoz kötöttem, illetve azonosítottam az energia-összetételt befolyásoló szereplők preferenciái közül a domináns, az adott id szakban az összetétel optimalitását meghatározó elvárásokat. A kapacitás tervezési eljárások bizonytalanság kezelés terén végbement evolúciójának ezen szemléltetésekor, az optimalizációs kritériumok alakulására, azok érvényesíthet ségére kifejtett hatásaira fókuszáltam.

**Disszertációm felépítése, logikai íve azt a célt szolgálta,** hogy a kapacitás tervezés módszertani ismertetésén, az egyes eljárások tesztelésén keresztül cáfoljak olyan mármár k bevéssett prekoncepciókkal, mint hogy a hagyományos technológiák ellentmondást nem t r en, minden körülmények között uralják a megújuló technológiákat; vagy hogy a villamosenergia-rendszerekben végbemen paradigmaváltás f szerepl i csakis a megújuló energiaforrás alapú technológiák lehetnek. E cáfolat f szerepl jének a reálopció-elméletet választottam mint az optimális villamosenergia-összetételt meghatározó kritériumokat maradéktalanul kielégíteni képes módszertant.

Az energia-összetétel optimalizálására irányuló döntést támogató eljárások közül els ként a diszkontált pénzáram alapú **teljes életciklus költség (LCOE) eljárás** el nyeit, illetve hátrányait boncolgattam elméleti szempontból, majd az empirikus fejezetben 18 villamosenergia-termelési technológia esetében tizenegy input adatra épül számításokat hajtottam végre. A kapott eredmények alapján elemezhet vé vált az egyes er m típusok bels költség szerkezete, paraméter-érzékenysége, valamint megállapíthatóvá vált az er m vek egyfajta érdemességi sorrendje. Minden számítást a Nemzetközi Energiaügynökség ajánlása alapján 5 és 10%-os t keköltség mellett, három forgatókönyv, egy átlagos, valamint egy optimista és egy pesszimista scenárió feltételezésével végeztem el, vagyis összességében hat esetben tudtam az egyes technológiák egyedi költség-karakterisztikájának megállapítására irányuló elemzéseket végrehajtani.

Az eredmények alapján a beruházási, a m ködési, valamint a f t anyag költség elem közül az els mutatja a legnagyobb érzékenységet a t keköltség változtatására, így az amúgy is csupán a beruházási és m ködési költség komponenssel rendelkező, rendkívül t keintenzív megújuló energiaforrás alapú technológiák bels költség szerkezete, 10%-os diszkontrátát feltételezve arányaiban még inkább a beruházási költségek javára mozdult el. A minden esetben legalább 40%, vagy afeletti arányban a f t anyag komponens által meghatározott fosszilis technológiák költség szerkezete, a magasabb diszkontráta feltételezés esetében szintén a beruházási költség irányába billen, arányaiban közel azonos százalékban a m ködési és f t anyag költségek javára.

Amellett, hogy az 1960-as években a kapacitás tervezés legf bb módszerének számító teljes életciklus költség eljárás a mai napig alkalmas az egyes villamosenergia-termelési technológiák különböző trendek mellett bekövetkező értékeinek elemzésére, a költség szerkezet elmozdulásának, a tanulási- és karbon költség hatásnak vizsgálatára; a maga korában az összetétel optimalizálás megvalósításához szintén alapot teremtett, hiszen outputjával azonosíthatóvá váltak a legolcsóbb er m -típusok.

Ezen a ponton térnék ki az **optimalitás** kérdéskörére. **Kutatásom során az ellátásbiztonság, a költségminimalizálás, valamint a profitmaximalizálás optimalizálási célját azonosítottam.** Dolgozatom harmadik, a kapacitás tervezés történeti megközelítés módszertani fejezetének fókuszában pontosan ezek, az id ben és térben nem elhatárolható, egymással versengő, folyamatosan változó paraméterek által determinált optimalizálási célok álltak (lásd 2. számú ábra).

2. ábra **Optimalitási kritériumok a villamosenergia-szektorban**



**Forrás: Saját szerkesztés**

Kezdetben a gazdaságossági szempontok nem kerültek előtérbe, a kapacitás tervezéskor csupán a szolgáltatás mindenkori **megbízható és biztonságos ellátása** kapott hangsúlyt. Ahogyan azt a fenti ábra is mutatja, a költség-minimalizálás megjelenésével e cél nem tűnt el, csupán kiegészült a költségek minimalizálásának, valamint profit-maximalizálás kívánalmával, mely cél mára az **ár-hatékonyság, a megbízhatóság, a biztonság, a rugalmasság, a környezeti megfontolások, a társadalmi elfogadottság, valamint a meglévő termelői kapacitások figyelembe vétele mellett a stratégiai érték megragadására képesség által** meghatározott.

Itt térnek vissza az első szofisztikált, a kapacitás beruházási döntéshozatalt támogató eljárás, a teljes életciklus költség értékelésére. **A korábbi, gazdaságossági szempontokat mellőzve, a túl-beruházást ösztönző megtérülési célhoz képest a fogyasztók irányából érkező árhatékonysági elvárás az egységköltségek minimalizálására kényszerítette a termelőket, mely cél eléréséhez az LCOE-eljárás tökéletesnek bizonyult.** Dolgozatomban az erőforrások érdemességi sorrendjét karbon költségek figyelembe vétele nélkül, valamint karbon költségek mellett állítottam fel.

2. táblázat LCOE érdemességi sorrend

	IGCC	Szén (PC)	Kőolaj	CCGT	Földgáz CHP	Gáz üzemeltető	Nukleáris LRW	Nukleáris fejlett	Hydro	Biomassza	Biomassza/ szén CHP	Onshore szél	Offshore szél	Nap PV	Nap termelői CSP	Ár-nyelvény	Hullámzás	Geotermikus
LCOE <sub>1</sub>	7	4	12	5	11	14	8	6	3	10	9	1	17	16	15	13	18	2
LCOE <sub>2</sub>	7	9	17	6	12	14	5	4	3	10	8	1	16	15	13	11	18	2
ME Ø <sub>1</sub>	4	1	7	2	6	8	5	3										
ME Ø <sub>2</sub>	4	5	8	3	6	7	2	1										

LCOE<sub>1</sub>=karbon költség nélkül felállított sorrend; LCOE<sub>2</sub>=karbon költség mellett felállított sorrend; ME Ø<sub>1</sub> megújuló energiaforrás, és karbon költség nélkül; ME Ø<sub>2</sub>= megújuló energiaforrás nélkül, karbon költségekkel.

### *Forrás: Saját számítás*

A táblázat alapján jól látszik, hogy a 18 vizsgált erőforrás-típus közül a két (egységnyi MWh-ra vetítve) legolcsóbb villamosenergia-termelési eljárás a megújuló energiaforrás alapú technológiák közül kerül ki (szél és geotermikus). Nyilvánvaló, hogy egy LCOE-számításokra épülő érdemességi sorrend esetében a kapott költségek növekvő sorba rendezésénél komplexebb feladat vár a kapacitás tervezőkre, hiszen figyelembe kell venniük az egyes technológiák terhelési tényezőit, hatékonysági rátáit, hasznos élettartamát, egység méretét stb. **A szél- és/vagy geotermikus erőforrások rendelkeznek-e 75% feletti terhelési tényezővel, és ezáltal képes-e az ellátásbiztonság felfenntartásának szereplőjévé, azaz alapvetővé válni? Az időjárási és/vagy földrajzi körülmények lehetővé teszik-e az adott technológia létesítését?** És még sorolhatnám a teljes életciklus költség által meghatározott érdemességi sorrendet követően, az energia-összetétel optimalitását elsegítő, megvizsgálandó kérdéseket.

Az elérhető, műszaki karakterisztikájuk alapján is jelentősen differenciálódó, termelési technológiák számának növekedésével az LCOE-alapú döntéshozatalt pontosan ezen komplexitása keltette életre az igényt az újabb, a döntéshozatalt hatékonyabban szolgáló eljárások kifejlesztése iránt. Vegyük észre ezek tárgyalását megelőzően, hogy alkalmazásának hálójában a teljes életciklus költség-eljárás csupán a hagyományos technológiák összetételbe vonásáról volt kénytelen döntenie (lásd táblázat utolsó két sora). Megújuló energiaforrás alapú technológiák és karbon költségek nélküli világban

(ME  $\emptyset_1$ ) a szén-erőművek létesítése eredményezte a megbízható, biztonságos és árhatékonny szolgáltatást. Majd a környezeti szempontok megjelenésével (ME  $\emptyset_2$ ), melyet bár a '60-as, '70-es években karbon költségre még nem beszélhetünk, de célszerűnek láttam a karbon árával számszerűsíteni, megkezdődött a nukleáris éra a villamosenergia-termelésben (Paks: 1982), vagyis a jelenkorban a hasznos élettartamuk végén járó erőművek létesítésének háttérében húzódó megfontolásokról kaphattunk ezzel képet.

Az egyes technológiák teljes életciklus költségeit különböző terhelési tényezők mellett ábrázoló, majd a kirajzolódó görbék metszéspontjai alapján az optimális (költségminimalizáló) kiépítendő kapacitás-nagyságot determináló ször-görbe elemzés túlmutat a teljes életciklus költség módszeren azáltal, hogy nem pusztán a technológiák önálló, egységköltség alapú elemzését teszi lehetővé, de általa elsőként nyerhetünk információt egy optimális villamos-energia összetételről, valamint a különféle villamos-energia előállítás technológiák egymáshoz viszonyított relatív gazdaságossági sorrendjéről. A módszer alap gondolata, hogy szűrjük ki a magas egységköltség technológiákat, mindezt úgy, hogy minden bizonytalansági tényezőt, és a technológiák közötti kölcsönhatásokat figyelmen kívül hagyjuk. Az egyes technológiák költségelemei közül csupán a működési, valamint a fűtőanyag költségek esetében beszélhetünk terhelési faktor érzékenységről, így a költség szerkezetükben beruházási költség domináns megújuló erőművek érzéketlennek bizonyulnak a terhelési tényező változtatására, amit a kvázi vízszintes ször-görbék illusztrálnak.

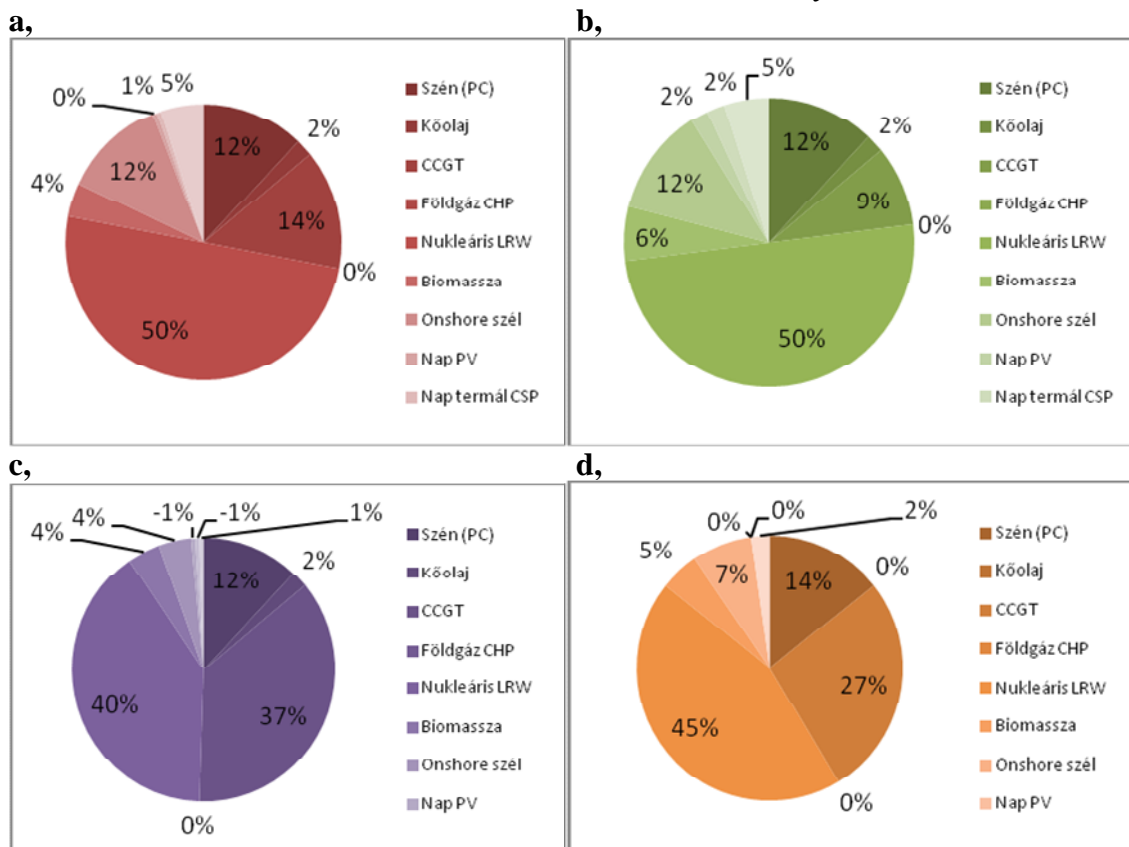
A 18 termelési technológiát leszámítva a hazai energia-összetételbe potenciálisan bevonható erőművek körére, a földgáz, a nukleáris, valamint a geotermikus termelési eljárások bizonyulnak érdemesnek az energia-mixbe kerülésre. A módszer adaléka az LCOE-elemzéshez képest, hogy bár a technológiák közötti kölcsönhatások továbbra sem vizsgáltak, egy kiépített rendszer egyes technológiáinak ször-görbe-rendszeréhez hozzáadva a potenciálisan az összetételbe vonandó erőmű-típusok görbéit, kezdetleges szinten, de a meglévő kapacitások figyelembe vétele, a lecserélendő, leszerelendő kapacitások azonosítása történik meg.

A '70-es, '80-as években a növekvő kereslet következtében jelentkező energia-kimaradások, a globális felmelegedés, valamint az éghajlatváltozás jelensége a villamosenergia-rendszerek radikális átalakulásának igényét, műszaki szempontból a megújuló energiaforrás alapú technológiákat, energia-összetétel tervezési szempontból az integrált erőforrás tervezést keltette életre. A bizonytalanságot kezdetleges szinten, korlátokon keresztül már kezelni képes determinisztikus egyenértékű eljárás a villamos-energia beruházási problémát egy tradicionális lineáris programozási feladatként írja le. Ahogyan kutatásom e fejezetéből kiderült, a lineáris programozás számos egyedi elemzési perspektíva, a területi, földrajzi, környezeti, technológiai, illetve tervezési adottságokhoz igazodó korlátok, és nem utolsósorban a meglévő kapacitáshoz képesti bontások hatásainak figyelembe vételét teszi lehetővé.

A módszer korlátok megfogalmazásán keresztül egyaránt képes megragadni egy-egy technológia iránt a társadalom oldaláról érkező negatív, illetve pozitív jelzéseket; a szabályozók környezeti szempontok mentén megfogalmazott elvárásait; valamint a fogyasztók költség-, illetve ár-érzékenységét. Bár az eljárás módszertanilag képes a költségminimalizálást meghatározó tényezők érvényesítésére, linearitásából adódóan egyszerre csupán egyetlen cél mentén teszi lehetővé az optimalizálást.



3. ábra Az LP modellek eredményei



Forrás: Saját szerkesztés

Disszertációmban a hazai villamosenergia-összetétel alapján megfogalmazott korlátok mentén az átfogó költségminimalizálás (a, ábrarész), a környezeti optimalizálás (karbon költségek minimalizálásán keresztül - b, ábrarész), valamint beruházási költség minimalizálási célként megjelölésével (c, ábrarész) építettem lineáris programozási modelleket (a futtatások eredményét lásd fent; d, ábrarész a beruházási költség minimalizálás eredményét mutatja a 13%-os megújuló technológia korlát kikötésével, vagyis a b vítés irányára vonatkozó eredményeket közöl).

A 10%-os t ke költség és átlagos forgatókönyv esetében azonosított egységköltségek alapján futtatott optimalizálás f szerepl i a hagyományos villamosenergia-termelési technológiák. A zero karbon kibocsátású nukleáris technológia súlya a karbon költség minimalizálás célként megjelölése esetében nem változott, a megújuló er m vek aránya a földgáz és k olaj technológiák kárára növekedett. A beruházási költség minimalizálás eredményének elemzésével jelenünk egyik trendjére, a földgáz alapú technológiák alaper m vek körében való terjedésének háttérben meghúzódó motivációkra kaptam választ. Összességében a lineáris programozás kapcsán a sokrét elemzési potenciálja mellett a kockázatok és technológiák közötti kölcsönhatások mell zésével végrehajtott, pusztán költség-alapú döntéstámogatását érdemes kiemelni.

A Markowitz-féle **portfólió-elmélet** pénzügyi instrumentumok terén elért sikereinek csúcán fokozott igény jelent meg az immáron **liberalizált villamosenergia-szektoron** belül az egyre kiterjedtebb és fenyeget bb bizonytalansági tényez ket tartalmazó kockázat-kataszter kezelésére képes módszerek iránt. A portfólió-elmélet reál t kejavak optimális összetételének meghatározására irányuló alkalmazása lehet vé teszi a jövőbeni költségekkel és bevételekkel kapcsolatos kockázatok, valamint az egyes

technológiák közötti kölcsönhatások figyelembe vételét, mind termelési, mind szabályozói, mind fogyasztói oldalról, ugyanakkor hangsúlyosan egy időben továbbra is csupán egy nézőpontból.

Dolgozatomban a villamosenergia-termelési technológiák diverzifikált összetételének azonosítására irányuló fejezetében az energia-mix várható átfogó termelési költségének kockázatait számszerűsítve minimalizáltam a társadalom energiaár-kockázatát. **A villamosenergia-tervezés véleményem szerint ezen a ponton távolodott el végérvényesen az egyetlen, legalacsonyabb költség alternatíva felkutatásának követelményétől, hogy inkább a hatékony villamos-energia előállítás portfóliók azonosítására koncentráljon.** A cél egy adott kockázati szinten legalacsonyabb költség, illetve adott költségszinten legalacsonyabb kockázatú összetétel azonosítása, így hoztam a villamos-energia portfólió költségét tekintve, míg a kockázat számszerűsítése kapcsán a portfólióba bevont technológiák teljes életciklus költségének egyedi szórását, a technológiák költségalakulásának együttmozgását, valamint azoknak a portfólión belüli súlyarányát volt szükséges azonosítanom.

A költség-alakulásra vonatkozó historikus adatok híján számos egyszerűsítésre, közelítésre épülő portfólió-vizsgálat eredményeként kirajzolódó hatékony határfelület a minimális varianciájú összetételtől balra tartalmazza az adott kockázati szinten legalacsonyabb költség portfóliókat. **Az első futtatás minimális varianciájú portfóliója, vagyis a legalacsonyabb kockázatot magában foglaló összetétel, közel 87%-ban az alacsony kockázatú megújuló energiaforrás alapú, és mindössze 13%-ban hagyományos technológiákból áll.** Vagyis az egyes technológiák műszaki karakterisztikáinak érvényre juttatása érdekében a lineáris programozás keretei között megismert korlátok vizsgálatba vonását láttam célszerűnek. A költségek volatilitásán alapuló összetétel-szimuláció alapján az Európai Unió 2020-ra Magyarország villamosenergia-összetételére kitűzött 13%-os megújuló technológia részaránya a portfólió kockázat minimalizálásának követelménye mellett a nukleáris és földgáz alapú erőművek kárára jöhet létre.

Az eredmények értékelése alapján el kell, hogy fogadjam **második hipotézisemet**, mely szerint *az egyes technológiák közötti kölcsönhatások megragadásával a portfólió-elmélet képes az optimalitásnak magasabb fokán álló villamosenergia-összetétel azonosítására.*

**A portfólió-elmélet alkalmazása ugyanis az egyes technológiák (költség)kockázatának minimalizálásán keresztül hozzájárul a villamos-energia összetétel megbízhatóságának és biztonságának javulásához, ahol az utóbbi alatt jelen esetben az ellátás hirtelen zavarával ellentétben a villamos-energia költségek váratlan emelkedésének kockázatcsökkenését értem.** A módszer a hatékony portfóliók azonosításával alkalmas a technológiák közötti diverzifikáció előnyeinek értékelésére, így elsőként mutat fel eredményeket a rugalmasság optimalitási kritériumának terén.

Bár a pénzügyi portfólió-elméletből megismert diverzifikációs elvek érvényesek maradtak, a reáleszközök esete gazdagabb portfólió-szemléletet követel meg a reáliák valamint a reáliákba ágyazott reálopciók közötti kölcsönhatások megragadása tekintetében.

A harmadik millenniumban a legtöbb fejlett ország elfordult a nukleáris technológiától, első sorban költség-megfontolásokra, annak társadalmi elfogadottságára, valamint

feltételezett veszélyeire és sebezhet ségére hivatkozva. **A világ a megújuló villamosenergia-termelési technológiákban látta a korlátlanul rendelkezésre álló er forrás-bázis, az új vállalkozások és munkahelyek teremtésének, az extern er forrásoktól való függ ség csökkenésének, és nem utolsó sorban az üvegházhatású gáz kibocsátás visszaszorításának lehet ségét.**

Hamar kiderült azonban, hogy az új technológiák megjelenése mellett immáron a piaci bizonytalansági tényez k, valamint a versenytársak lépései által is fenyegetett, profitjuk maximalizálására fókuszáló er m -üzemeltet k nem képesek azonosulni a jelenbeli profitjukat a jövőbeli extern, pénzáramokban közvetlenül vissza nem tükröz d el nyökért cserébe átváltási kapcsolattal. Emellett a megrögzöten ár-tudatos fogyasztóknak is mindössze elenyész hányada engedett a környezet-tudatosság nyomásának. A szabályalkotókra hárult a két szerepl közötti közvetít kapocs szerepének betöltése, a fogyasztók érdeklétté tétele egy fenntarthatóbb energia-rendszer szolgáltatásainak igénybevételére, illetve a termel k motivációja egy, a fogyasztók számára még elfogadható költségszint , profit- és környezeti szempontból is optimális villamosenergia-összetétel kialakítására.

Értekezésem utolsó empirikus vizsgálata e megváltozott keretrendszer által támasztott kihívásoknak megfelelni, a keletkez lehet ségek kihasználását értékelni képes eljárás, a villamosenergia-termelési technológiák reálopció-s elemzésének tesztelésére irányult. A villamosenergia-szektor a beruházásokat körülvev jelent s mérték **bizonytalanságnak**, valamint a magas elsüllyedt költségek és a beruházás id zítés **rugalmassága** közötti interakció kombinálásában rejtl potenciálnak együttese tette különösen érdekes területté a reálopció-vizsgálatok számára.

A deregulált villamosenergia-piacok legf bb hajtóereje a beruházás jövedelmez sége, így a korábban ismertetett metódusokkal ellentétben az opció-elmélet keretében az adott projekt profitabilitását vizsgáltam a költségek helyett.

A reálopció-értékelés kiindulópontja a **hagyományos nettó jelenérték számszer sítése** volt. Ezen a ponton tartom érdemesnek **els hipotézisem** vizsgálatát, mely szerint *a standard kapacitás tervezési eljárások a méret-gazdaságosság elvéb l adódóan a fejlett, els sorban megújuló technológiákban rejtl stratégiai el nyök megragadására, valamint valós piaci potenciáljuk kihasználásának el ségítésére képtelenségük folytán alapvet en a hagyományos (fosszilis, nukleáris) technológiák térnyerését szorgalmazzák.*

Hipotézisem igazolásának közvetett céljával kivitelezett számításaimat a technológiák összehasonlíthatósága érdekében egy hipotetikus villamosenergia-fogyasztás mellett hajtottam végre. Az eredmények alapján mindössze a szél- és geotermikus technológia képes nagyobb értéket teremteni a beruházó számára, ugyanakkor bels megtérülési ráta szempontjából csupán az utóbbi múlja felül a hagyományos technológiákat. A beruházási költségek összehasonlítása terén a megújuló technológiák jelent s hátrányt szenvednek, hiszen több mint hatszor annyiba kerül egy napenergia-park kiépítése, üzembe helyezése, mint egy (közepes méret ) széner m felépítése, felszerelése a szükséges kereslet kielégítése érdekében; és csupán a nukleáris technológia bizonyul ugyanakkora kiépített kapacitást feltételezve drágábbnak, mint a legolcsóbb megújuló er m -blokk.

**A hagyományos értékelési eljárások csupán a konvencionális er m vek esetében fogalmazznak meg 100%-ban az adott technológiából álló összetétel**

megvalósítására irányuló javaslatot, míg a megújuló energiaforrás alapú termelési eljárások közül, egység méretükben adódóan potenciális biomassza, valamint geotermikus technológiák az értékteremtés terén az érdemességi sorrend alapján helyezkednek el. A jelentős földrajzi és időjárási bizonytalanság által sújtott szél-, illetve napermevetések esetében azoknak csupán irracionális kapacitásbővítése tényleg lehet végső a kereslet jelenlegi piaci körülmények között, nem mellesleg értékrombolással történő kielégítését. *Ezen megállapításokkal első hipotézisemet elfogadom.*

Fontos megjegyezni, hogy nem véletlenül választottam összegzésem ezen szakaszát első hipotézisem vizsgálatához. Vegyük észre, hogy a hipotézis "standard értékelési eljárások" szóhasználatát félrevezető, hiszen ahogyan azt az LCOE-, valamint a szórógörbe eljárások eredményeinek áttekintésekor jeleztem, a fejlett, megújuló energiaforrás alapú technológiák számos típusa egységköltség tekintetében uralja a konvencionális erőműveket. A hipotézis, és a korábbiakban a hagyományos versus megújuló technológiákkal kapcsolatosan megfogalmazott prekonceptió véleményem szerint standard értékelési eljárásnak a DCF-alapú nettó jelenérték eljárást tekinti, abból (az egyébként túlzó) feltételezésből kiindulva, hogy az elavult, jellemzően költség alapú eljárások módszertani primitívségükben adódóan nem alkalmasak a villamosenergia-beruházások értékelésére.

Az alaptermék értékének (nettó jelenérték mínusz beruházási költség [kötési ár]) meghatározását követően a projekt bizonytalanság azonosítását és számszerűsítését végeztem el. A bizonytalanság végig kiemelt szerepet kapott dolgozatomban, hiszen a megnövekedett bizonytalanság nem csak a beruházások időzítésének kérdését, de a villamos-energia kapacitás tervezési döntéseit, az összetétel választási szempontokat is befolyásolta. Minden technológia egyedi költség struktúrával és bizonytalanságkataszterrel jellemezhető. A villamos-energia beruházási projektek bizonytalansági tényezői közül a villamos-energia piaci ár, a fűtőanyag ár, a karbon árnak projekt értékvolatilitásra kifejtett hatását modelleztem. Egy reálopció esetében a volatilitás becslése kétséget kizáróan az elemzés legnehezebb feladata, hiszen nem áll rendelkezésre az alaptermék múltbeli hozamsora vagy jelenlegi piaci ára. Kutatásom során a Monte Carlo-szimulációs eljárással végeztem el az egyes erőmű beruházások projektérték volatilitásának becslését.

Míg a tradicionális DCF-elemzés alapján az alacsony marginális költség erőművek felépítése javasolt, **a reálopció-elemzés lehetővé teszi a technológia-beruházások mind költség, mind bevétel oldali bizonytalanságának modellezését, valamint a beruházás időzítésére illetve a működés alakíthatóságára vonatkozó flexibilitás értékelésével egy stratégiai érték azonosítását, ezzel az adekvátabb beruházási döntés-támogatás megvalósítását (Hipotézis III.).**

A **stratégiai projektérték** abban az esetben jelentkezik, és annál nagyobb lesz, minél inkább jellemző a beruházásra a bizonytalanság és a flexibilitásnak valamilyen mértékű kombinációja. Reálopció-szempontból a rugalmasság egy lehetőség, melyek között értekezésemben a halasztás, az elvetés, valamint kétféle növekedés esetét vizsgáltam egyedi projekt szinten, illetve az elemzés eredményeit felhasználva villamosenergia-összetétel szinten.

A **halasztási reálopciók** esetében az egyes futamidék mellett létrejövő opciós érték, valamint a nettó jelenérték összege alapján megállapítható, hogy az adott periódusban melyik az a villamosenergia-termelési technológia, amely a legnagyobb értéket teremti

a beruházó számára, vagyis az  $er_m$  vek optimális létesítési id pontjára vonatkozóan kapunk információt. Az eredmények szerint a várakozás legyen szó egy éves, vagy ötéves futamidej lehet ségr l, minden esetben stratégiai értéket teremt. **Az id zítés rugalmassága a legnagyobb értéket a fejlett, megújuló energiaforrás alapú technológiák esetében teremti, mely magyarázható az ezek modularitásából adódó alacsonyabb kivitelezési id vel, valamint a magas tanulási rátájukból következő fokozott költség-bizonytalansággal (Tézis III./a).**

**Az elvetési reálopció** vizsgálatának kritikus pontja az elvetés optimális id pontjának megállapítása, illetve az ún. végérték, vagyis az elvetéskor az  $er_m$  értékesítéséb l, illetve likvidálásából származó pénzáram megállapítása. A reálopciók árazás alapján a pozitív nettó jelenértékkel bíró projektek esetében a likvidálásnak nincs értelme, illetve az általa megvalósuló értékteremtés mértéke elenyész . Ezzel szemben a negatív nettó jelenérték projektek esetében minél el bb elveti a beruházó az értékromboló projektet, és kísérli meg az amúgy visszafordíthatatlan beruházás egy részét megmenteni, annál nagyobb opciók érték keletkezik. Az elvetés lehet sége által teremtett stratégiai értéknek megújuló energiaforrás alapú technológiákhoz köt désére nem találtam bizonyítékot, így a **III./a hipotézisemet csak részben tudom elfogadni**. Az elvetés által teremtett stratégiai érték jellemz en a veszteségminimalizálással, illetve a kockázatcsökkentéssel függ össze.

Az egyes technológiák **m ködési rugalmasságának** értékelésekor lehet séget láttam a tanulási ráták, a kapacitás duplázódás következtében megvalósuló beruházási költség csökkenés modellbe vonására, illetve a kapacitás tervezés egy kulcskérdésének, a b vítésünk, vagy új beruházást hajtsunk végre kérdésnek megválaszolására. Három bizonytalansági tényez hatásainak szimulációja alapján a "gyors növekedés" életciklus szakaszában lév megújuló energiaforrás alapú technológiák (geotermikus, szél) b vítése eredményezi a legnagyobb stratégiai hozzáadott értéket, míg a jelent s költségcsökkentési potenciállal kecsegtet , a hagyományos eljárások eredményei alapján is értékteremt (pozitív nettó jelenérték ) technológiák kockázatemelkedése szintén a stratégiai érték növekedését okozta (lásd biomassza  $er_m$  vek). A reálopciók legf bb típusainak, a növekedési, a tanulási, valamint a biztosítási reálopciók villamosenergia-rendszereken belüli alkalmazásának lehet ségeit vizsgálva, a felállított projektérték rangsorok alapján szignifikáns stratégiai értékkel az egységmértékű l, technológiai komplexitásukból adódóan az irreverzibilitás legnagyobb szintjével jellemezhet nukleáris technológiák, a legnagyobb projektérték kockázattal bíró földgáz  $er_m$  vek, illetve a rugalmasság-bizonytalanság kombinációjuk alapján a geotermikus- és szél  $er_m$  vek bírnak. Ezen megállapítások alapján a **III./b hipotézisemet elfogadom**. Összességében az adatokból, az alaper  $er_m$  vek közül, a jöv kapacitástervezési trendjét illet en, a nukleáris technológia, valamint a földgáz alapú technológiák b vítése t nik ki.

**A végrehajtott reálopció árazás véleményem szerint képes plusz adalékkal szolgálni a korábban ismertetett kapacitás tervezési eljárások döntéstámogatási javaslataihoz, különösen azáltal, hogy az eddigi modellekhez képest a bizonytalansági tényez k együttes pénzáramokra, projekt-kockázatra, értékteremtésre kifejtett hatásának kvantifikálása mellett a lehet ségek árazását is lehet vé teszi.**

Végül értekezésem utolsó kísérleteként a **reálopciók portfóliójával**, a reálopció által teremtett stratégiai értéknek portfólió-összetételre kifejtett hatásával foglalkoztam. Arra

kerestem a választ, hogy az egyes termelési technológiák kockázat-hozam karakterisztikájának adekvát becslését lehet véteve reálopció keretrendszer hatékony döntéstámogatási eszköznek bizonyul-e jelenünk kapacitás tervezési számára (**Hipotézis IV.**).

A problémát az opció árazás során azonosított opció-értéknek a projektek átlagos geometriai hozamára kifejtett hatásán, illetve a kvantifikálható bizonytalansági tényezők együttes hatását tükröző projekt-érték kockázaton keresztül közelítettem. **A célom egyedi jutalom a variabilitásért ráta, vagyis a portfólió kockázat egységére jutó portfólió hozamok maximalizálása volt.**

Az optimalizációt első lépésben a **hagyományos belső megtérülési ráta** adatok projektérték kockázathoz viszonyított hányados maximalizálásának céljával végeztem el, majd ehhez viszonyítottam a stratégiai érték figyelembe vételével megállapított összetételeket. **A stratégiai értékkel növelt hozamok és változatlan kockázati paraméterek alapján** a kiindulási viszonyokhoz képest az összetétel minimális mértékben, a kockázat egységére jutó hozam azonban jelentősen változott (nőtt). A halasztás eredményeként keletkezett stratégiai érték vonzóvá tette az összetételben amúgy is jelentős súlyarányú képviseltetett földgáz alapú technológiákat, valamint a megújuló energiaforrás alapú technológiák közül a biomassza- és szélenergiákat.

Amennyiben **korlátozó feltételek, vagyis a villamosenergia-összetétel elzetes orientációja nélkül** ismételt meg a fenti lépéssorozatot, az összetétel jelentősen átrendeződött a megújuló energiák javára, mely átrendeződésnek nyertesek első sorban a jelen pillanatban rendkívül értékromboló szolár technológiák. Ezen technológiák egy újabb generációja a tanulási hatás által bekövetkező beruházási költség-csökkenésnek köszönhetően, a reálopció-elméletre épülő elemzés alapján, domináns szereplővé válhat a jövő menetrendtartó és csúcseredményi szolgáltatásának.

**A b vitési reálopció által teremtett stratégiai érték** összetételre kifejtett hatásának vizsgálatakor azonosítottam a legmagasabb jutalom a variabilitásért rátát (korlátok nélkül eset), ugyanakkor a b vitési reálopció által teremtett érték technológiai szint tapasztalatai alapján a tanulási hatás az öt éves futamidejű b vitési reálopció esetében nem releváns, sokkal inkább tekinthető annak az egyes technológiák egyedi hasznos élettartam végi b vitési feltételezése esetében.

A reálopció-elemzés véleményem szerint aprólékos, és sok felhasználót elriasztóan összetett projekt-volatilitás becslésén, valamint a megfelelő statisztikai, és matematikai elemző szoftverek által, illetve IT-támogatott opció árazási folyamatán keresztül, képes a komplex műszaki rendszerek beruházási alternatíváinak kockázat-hozam karakterisztikáját az értékteremtés, mind környezeti-, mind profit-szempontról optimális összetétel azonosításának szolgálatába állítani.

A reálopció elemzésre épülő kapacitás tervezési eljárás lehetővé teszi a villamosenergia-beruházásokat fenyegető legrelevánsabb bizonytalansági források nem csupán egyedi, de akár együttes figyelembe vételét, a hagyományos projektértékelési eljárások által azonosított értékteremtés mértékén felül a menedzseri flexibilitás gyakorlásában, a projektek aktív menedzselésében rejlő érték megragadását.

**A halasztási reálopciók esetében egyértelműnek tekinthető azok összetétel-jövedelmezőséget befolyásoló ereje. A b vitési reálopciók által teremtett stratégiai értéknek, a tanulási hatás érvényesülésének következtében létrejövő összetétel**

átrendezés és jellemzően hosszú távon jelentkezik. Ezzel negyedik hipotéziseimet elfogadottnak tekintem.

3. táblázat

Az egyes eljárások optimalitási kritériumoknak megfelelési képessége

	ellátásbiztonság								
	költségminimalizálás							profit-max.	
	megbízhatóság	biztonság	költség/ár-hatékonyosság	rugalmasság	környezeti megfontolások	társadalmi elfogadottság	meglévő termelési kapacitás	Stratégiai érték	
Megtérülés alapú modellek	✓	✓	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅
LCOE	✓	✓	✓	∅	∅	∅	∅	∅	∅
Sz r -görbe	✓	✓	✓	∅	∅	∅	✓	∅	∅
Determinisztikus eljárás (LP)	✓	✓	✓	∅	✓!	✓!	✓!	∅	∅
Portfólió-elmélet	✓	✓	✓	✓!	✓	∅	✓	∅	∅
Reálopció-elmélet	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

✓ a kritériumnak eleget tesz; ✓! a kritériumnak csak részben, vagy időbeli korlátokkal képes eleget tenni; ∅ a kritériumnak nem tesz eleget.

Forrás: Saját szerkesztés

Értekezésem legfontosabb megállapításainak tanulsága szerint a komplex m szaki rendszerek nagy méret , sok esetben giga-beruházásainak karakterisztikái multidiszciplináris döntéshozatalt kívánják meg. A döntéshozatal alapját képező beruházási jellemzők, a döntéshozatal háttérében meghúzódó optimalitási kritériumok, az értékelési modellek paramétereinek azonosítása a m szaki és gazdasági szakemberek kölcsönös együttműködése által valósulhat meg. Dolgozatomban ezen kettősség alapján vizsgáltam a kapacitás tervezés eljárásait, kiemelt fókusszal a reálopció-elmélet döntéstámogatási potenciáljára. A fejezetben ismertetett eredmények alapján a következő táblázattal összegezhetjük az egyes eljárások optimalitási kritériumoknak megfelelési képességeit.

Dolgozatommal úgy érzem mind empirikus adatokkal, mind kvalitatív érvekkel sikerült alátámasztanom, hogy a reálopció-, valamint portfólió-elmélet együttesen, a diverzifikáció, valamint a rugalmasság elnyeléseinek megragadásán keresztül képes a kapacitás tervezés számára az optimális villamosenergia-összetételt leginkább szolgáló keretrendszer biztosítására. E megállapításhoz a villamosenergia-szektor jelenlegi arculatát eredményező trendeknek, a szektor szereplőinek, valamint a kapacitás tervezés evolúciójának áttekintése útján jutottam el.

### ÉRTEKEZÉSEM ÚJ, ÚJSZER EREDMÉNYEINEK ÖSSZEFOGLALÁSA:

- Primer és szekunder forrásokra alapozott átfogó kockázati kataszter elkészítése (2. fejezet).
- A kapacitás tervezés fejlődésének újszerű, korszakokhoz, bizonytalanság közelítéshez és optimalitási kritériumokhoz rendelt elemzése (3. fejezet).
- A villamosenergia-szektor projektekre értelmezett és a projektekben foglalt reálopcióknak kvalitatív értékelése (4. fejezet).
- A kapacitás tervezés beruházási döntéshozók számára elérhető módszertanának optimalizációs szempontú, összehasonlító tesztelése (5. fejezet).

- A reálopció-elmélet valamint a portfólió elmélet módszertani ötvözésével a reálopciók összetétel-szint vizsgálata, a kapacitás tervezés módszertanához való hozzájárulásának azonosítása (5. fejezet).

Munkám során számos egyszer sőt feltételezéssel éltem, melyek feloldása, a modell komplexitásának növelése, a paraméter-értékek finomítása, a vizsgálatnak projektekben foglalt reálopciókra, ezek portfóliójára kiterjesztése (kvantitatív szinten) várhat magára. Úgy érzem e terület számos további kutatási lehetőséget rejt magában.



## 7. TÉMÁHOZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE

- Csapi V. (2013): *Portfólió optimalizáció a villamosenergia-szektorban*; Nemzetközi Tudományos Konferencia a Magyar Tudomány Ünnepe alkalmából; 2012. november 12, Sopron; Konferencia-kiadvány
- Csapi V. (2012): *Real Options In The Energy Sector*, in: Knowledge and Sustainable Economic Development; pp. 193-204; Partium Press, Oradea;
- Csapi V. (2011): *A marketing–pénzügy interfész, avagy reálopciók a marketingben*, Marketing & Menedzsment XLV. évf. 3. szám, 37-44. o.;
- Csapi V. (2011): *Bizonytalanság és kockázat a termelési hálózatokban – egy reálopciók megközelítés*, Vezetéstudomány, 42. kötet. 2011. július-augusztus, 28. – 37. oldal
- Csapi V. (2011): *Az energia-összetétel optimalizálás szempontjai*, in: Szabó V. - Fazekas I. (2011) szerk.: Környezettudatos Energiatermelés és - felhasználás; 225-232.o.; Debrecen;
- Csapi V. (2011): *A marketing–pénzügy interfész, avagy reálopciók a marketingben*, Marketing Oktatók Klubjának XII. Országos Konferenciája, 2011. augusztus 29-30., CD-n jelent meg, ISBN978-963-642-392-6
- Csapi V.: (2011): *Az energiaberuházási döntések fejl dése*, Erdei Ferenc VI. Tudományos Konferencia 2011.08.25-26, Kecskemét, Tanulmánykötet
- Csapi V. (2010): *Let's renew our energy portfolio!*, "Félid ben" A közép-európai terület-, település-, vidék- és környezetfejlesztéssel foglalkozó doktori iskolák találkozója és konferenciája, IV. Országos Környezetgazdaságtani PhD Konferencia, 2010/2. Évkönyv,
- Csapi V. (2010): *Fenntartható energiagazdálkodás I. A települési energiaellátás új rendszerei* Tudományos Konferencia és bemutató, Id pont: 2010. szeptember 14.; Konferencia-kiadvány, 72-75. o.
- Csapi V. (2009): *Megújuló energia beruházások értékelése*, In: Az Iskolateremt Tanulmánykötet Bélyácz Iván 60. születésnapjára, Szerk.: Ulbert József, PTE-KTK, 2009. 65-80. o
- Csapi V. – Kovács N. (2009): *Megújuló energia beruházások pénzügyi értékelése*; Környezettudatos energiatermelés és –felhasználás; Környezet és Energia Konferencia, Debrecen, 2009. május 8-9. Debrecen: MTA DAB Megújuló Energetikai Munkabizottság, 2009. 316 o.; 159-165. o.
- Csapi V. – Kovács N. (2009): *Vállalati versenyképesség az éghajlatváltozás tükrében*, Kaposvári Egyetem II. Nemzetközi Gazdaságtudományi Konferencia; Konferenciakötet 779-788. o.
- Csapi V. - Fojtik J. (2009): *Pénzügyi szolgáltatások az éghajlatváltozás tükrében: elérhet kockázatmenedzselési eszközök*, in: Hetesi E. - Majó Z. - Lukovics M. (szerk.) 2009: A szolgáltatások világa. JATEPress, Szeged, 440-453. o.
- Deutsch N. - Csapi V. (2011): *Épületek energiahatékonysági fejlesztésének gazdaságossági II*. Energia és környezet konferencia 2011.11.25-26., Debrecen, Tanulmánykötet, Poszter

**MEGJELENÉS ALATT**

- Csapi V. (2013): *A portfólió-elmélet alkalmazása a villamosenergia-összetétel optimalizáció során* in: Marketing & Menedzsment 2013/1. szám; várható megjelenés: 2013.03.10.
- Csapi V. (2013): *A kapacitás-tervezés evolúciója a villamosenergia-szektorban*; in: Vezetéstudomány 2013.
- Csapi V. (2013): *Befektet i motivációk a monopol- és a liberalizált villamosenergia-piacokon*; in: Közgazdaság, 2013.

**EL KÉSZÜLETBEN**

- Csapi V. (2013): *Az aktualizált költség helye és szerepe a villamosenergia-szektor beruházási döntéshozatala során*;
- Csapi V. (2013): *A rugalmasság optimalizációs céljának teljesülése a villamos-energia kapacitás tervezés során - Egy reálopció megközelítés -*;



