

MEZŐSI András

DRÁGA-E A MEGÚJULÓ?

A HAZAI MEGÚJULÓ

VILLAMOSENERGIA-TERMELÉS HATÁSA

A VILLAMOS ENERGIA ÁRÁRA

A tanulmány arra keresi a választ, hogy a megújuló alapú áramtermelők támogatása csökkentőleg hat-e a villamos energia nagykereskedelmi és kiskereskedelmi árára. Ez utóbbi tartalmazza a megújuló támogatásának összegét is. Számos elméleti cikk rámutatott arra, hogy nemcsak a nagykereskedelmi árak, hanem a kiskereskedelmi villamosenergia-árak is csökkenhetnek a drágább, megújuló alapú áramtermelők támogatása révén. A tanulmány során egy villamosenergia-piacokat szimuláló modell segítségével modellezi a szerző, hogy a különböző mennyiségű szél- és fotovoltai kapacitás támogatása hogyan hat a magyarországi nagykereskedelmi és kiskereskedelmi árakra.

Kulcsszavak: megújuló villamosenergia-termelés, villamosenergia-piac, árak

A villamosenergia-piacon számos olyan piaci kudarc alakul ki, amely társadalmilag nem hatékony erőforrás-allokációhoz vezet. Ezek közé tartozik az erőművek által kibocsátott szennyezés, amely jelentős mértékű negatív externáliát okoz, amelyek nem kerülnek internalizálásra. Annak érdekében, hogy egy társadalmilag kívánatosabb irányba mozduljunk el, kétféle állami beavatkozás képzelhető el. A legjobb megoldás, ha valamilyen módszerrel (adó, norma, megállapodás a termelő és a fogyasztó között stb.) a negatív externáliák internalizálásra kerülnek, míg a második legjobb megoldás, ha a kevésbé szennyező termelőket támogatjuk. A villamosenergia-piacon számos példát láthatunk mindkét típusú szabályozásra. Az utóbbira tipikus példa a megújuló alapú villamosenergia-termelők támogatása. A megújuló erőforrás-alapú áramtermelés támogatása társadalmi szempontból indokolható, ha a fosszilis erőművek által okozott negatív externáliák nem kerülnek teljes mértékben internalizálásra. A másik feltétele, hogy a támogatás mértéke ne haladja meg a fosszilis erőművek által okozott negatív externália és a megújuló által okozott negatív externália különbségét. Dolgozatunkban a megújuló termelés piaci árra való hatását vizsgáljuk.

Jelenleg a legnagyobb potenciállal bíró, és az utóbbi években a leggyorsabban fejlődő két megújuló erőfor-

rásra épülő technológia – a szél- és naperőművek – esetében jellemzően azt tapasztaljuk, hogy a technológiák Európában támogatás nélkül még nem életképesek, annak ellenére, hogy ezek átlagköltsége folyamatosan csökken. Ebből az következne, hogy minél inkább támogatják az adott országban a megújuló alapú áramtermelést, annál jobban emelkedik a végfelhasználók által fizetett villamosenergia-ár. Ez akkor igaz, ha feltételezzük, hogy a támogatást a villamosenergia-fogyasztók közvetlenül fizetik meg, azaz szektoron belül történik a finanszírozás. A következőkben elméleti szempontból, illetve egy energiapiacokat szimuláló modell segítségével is megvizsgáljuk, hogy ténylegesen megállja-e a helyét ez a kijelentés.

A dolgozat első felében bemutatjuk, hogy a megújuló energiaforrások támogatása elméletileg milyen hatással járhat a villamos energia nagykereskedelmi, illetve kiskereskedelmi árára. Ezt követően összefoglaljuk a releváns szakirodalmakat. A dolgozat második felében bemutatjuk az Európai Árampiaci Modellt, amely segítségével modellezzük, hogy különböző mennyiségű szél- és fotovoltai kapacitás támogatása hogyan hat a magyarországi nagykereskedelmi és kiskereskedelmi árakra. Végül összefoglaljuk a főbb megállapításainkat.

A megújuló energiaforrások támogatásának hatása a villamosenergia-piacra

A megújuló alapú villamosenergia-termelés támogatásának két fő lehetséges eszköze van: az egyik a mennyiségalapú támogatási rezsim, amelynek a legjellemzőbb formája a forgalmazható zöld bizonyítvány-rendszer. E támogatási forma esetében a szabályozó minden egyes időszakra rögzíti, hogy mekkora mennyiségű (és milyen típusú) zöld villamos energiát lehet támogatott módon értékesíteni. Minden megújuló alapú áramtermelés után a termelő az eladott villamos energia mellett zöld bizonyítványt is kap. A kötelezett vállalatoknak minden egyes időszak végén a szabályozás által meghatározott mennyiségben kell rendelkezniük ilyen zöld bizonyítványokkal, ellenkező esetben büntetést kell fizetniük. Így a zöld bizonyítványoknak kialakul egy piaci ára. Ezáltal a megújuló termelőknek kétféle bevételük származik: egyrészt a villamosenergia-értékesítésből, másrészt pedig a zöld bizonyítványok eladásából. Látható, hogy a célok meghatározásával az állam támogatást nyújt a megújulótermelőknek a zöld bizonyítványrendszer megalkotásán keresztül.

A másik lehetséges megújuló támogatási mód az ártámogatás, azaz a megújulótermelők az előállított villamos energiát hatóságilag rögzített áron értékesíthetik.

A gyakorlatban a két elméleti modell mellett jellemzően ezek kombinációit alkalmazzák. Magyarországon például alapvetően a hatóságilag, a piaci árnál magasabb átvételi árral támogatják a megújuló alapú villamosenergia-termelést, de ez kiegészül mennyiségi korlátokkal. Például korlátozott a beépíthető szél-erőművi kapacitás, vagy a biomassza-alapú áramtermelés nagysága. A kelet-európai országok támogatási gyakorlatáról részletes áttekintést ad többek között a REKK (2012).

Tökéletes informáltság esetében nincs különbség aközött, hogy a szabályozó a mennyiséget vagy az árat határozza meg. A kialakult egyensúlyi mennyiség és egyensúlyi ár mindkét esetben megegyezik. Mielőtt részletesen elemeznénk, hogyan hat a támogatás a villamos energia árára, bemutatjuk az egyensúlyi ár és mennyiség kialakulását a villamosenergia-piacon egy olyan esetben, ha semmiféle megújuló támogatási rezsimet nem alkalmazunk.

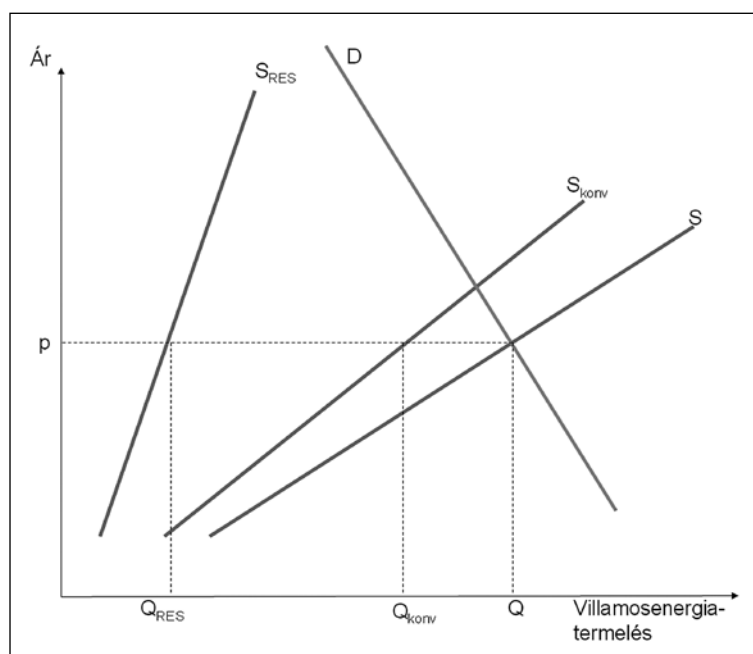
Az 1. ábrán a villamosenergia-szektor kínálati görbéjét S -el jelöltük, amely két részből tevődik össze: egyrészt a megújulók kínálati görbéjéből (S_{RES}), másrészt a konvencionális erőművek kínálati görbéjéből (S_{KONV}). Ha

nincs semmiféle megújuló támogatási rezsim, akkor a kialakuló egyensúlyi ár p , míg az egyensúlyi mennyiség Q . Ebben az esetben a megújuló erőművek által termelt villamos energia mennyisége Q_{RES} , míg a konvencionális erőművi termelés Q_{KONV} .

Vizsgáljuk meg azt az esetet, ha az állam a megújuló alapú villamosenergia-termelés támogatására bevezet vagy egy zöld bizonyítványrendszert, vagy egy hatósági áras, kötelező átvételi rezsimet. Ahogyan azt korábban is említettük, tökéletes informáltság mellett hasonló eredményre vezet a kétfajta támogatási rendszer. Tételezzük fel, hogy a szabályozó pFIT árat határoz meg, mint kötelező átvételi árat, a megújuló alapú villamosenergia-termelésre. Mivel ez magasabb, mint a verseny piacon kialakuló villamos energia ára (p), ezért megnő a megújulók által termelt mennyiség Q'_{RES} -re. A megújuló támogatás nem befolyásolja a konvencionális erőművek kínálati görbéjét, azt továbbra is az S_{KONV} görbével jellemezhetjük. Így a villamosenergia-szektor kínálati görbéjét úgy kapjuk meg (S'), hogy a konvencionális erőművek kínálati görbéjéhez horizontálisan hozzáadjuk a Q'_{RES} -es mennyiséget. Vegyük észre, hogy az új aggregát kínálati görbe meredeksége megegyezik a konvencionális erőművi termelés meredekségével. Az új egyensúlyi nagykereskedelmi ár így p' , míg a keresleti mennyiség Q' . Látható, a nagykereskedelmi ár csökken, míg a villamosenergia-fogyasztás megnövekszik az eredeti egyensúlyi állapothoz képest (2. ábra).

1. ábra

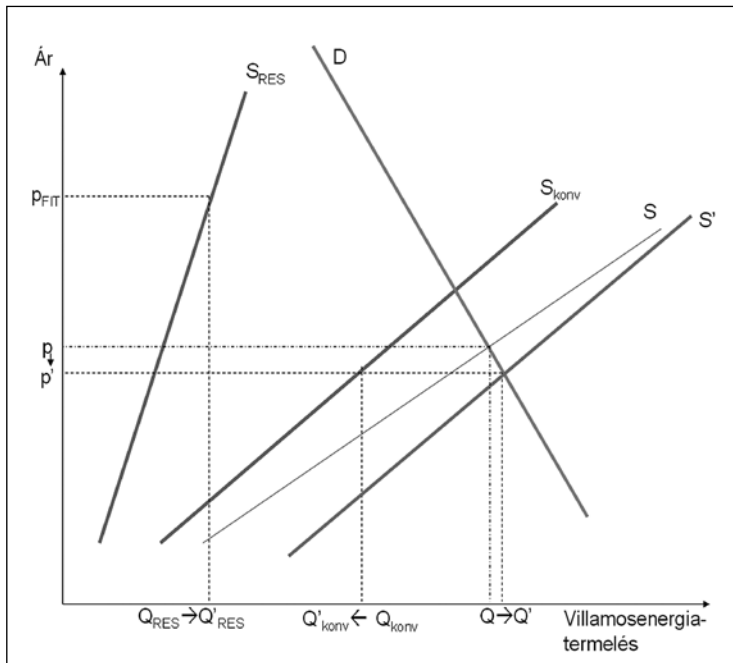
A villamos energia keresleti és kínálati görbéje a megújuló támogatása nélkül



Forrás: Mezősi (2013)

2. ábra

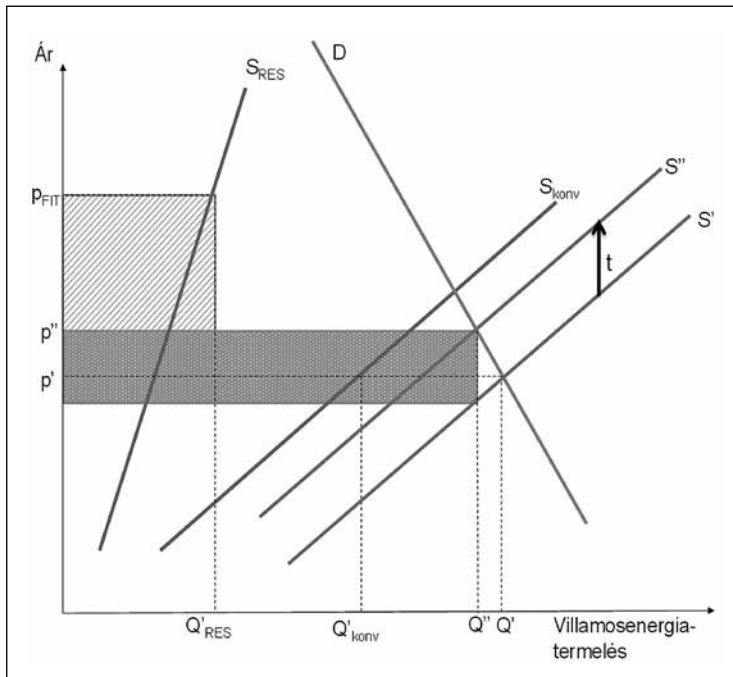
A villamos energia keresleti és kínálati görbéje, megújuló támogatási rendszer mellett, külső finanszírozás esetén



Forrás: Mezősi (2013)

3. ábra

A villamos energia keresleti és kínálati görbéje, megújuló támogatási rendszer mellett, a villamosenergia-szektoron belüli finanszírozás esetén



Forrás: saját szerkesztés

Hogyan lehetséges az, hogy egy drágább technológia megjelenésével mégis csökken a villamos energia nagykereskedelmi ára? A válasz nagyon egyszerű: a fenti gondolatmenetben nem számoltunk azzal, hogy a megújuló támogatását valakinek meg kell fizetni. Ennek nagysága a fenti ábrán a p_{FIT} és a p' közti árkülönbség és e technológiák által termelt villamos energia mennyiségének (Q'_{RES}) szorzata. Ezáltal indirekt módon feltételeztük, hogy a szektoron kívülről történik a megújuló finanszírozása, például a költségvetésen keresztül. A legtöbb országban, amely megújuló támogatást alkalmaz, jellemzően a villamosenergia-fogyasztók teremtik elő a megújuló támogatásának forrását. Fontos tehát megvizsgálni azt az esetet, ha a finanszírozás a szektoron belül történik.

Ebben az esetben a módosított kínálati görbéhez szükséges hozzáadni azt a tarifaelemet (t), amely alapot képez a megújuló támogatására. A tarifaelem és a villamosenergia-fogyasztás szorzatának kell megegyeznie a megújuló összes támogatási igényével ahhoz, hogy hosszabb távon is önfenntartható legyen a rendszer. Ennek megtalálása nem triviális, hiszen a megújuló támogatás mértéke függ a versenypiaci villamosenergia-ártól, amely viszont függ a fogyasztásra kivetett tarifától. Ezt a gondolatmenetet ábrázolja a 3. ábra.

A megújuló finanszírozási igénye megegyezik a hatóságilag rögzített átvételi ár (p_{FIT}), illetve a versenypiaci ár (p'') különbségének és a megújuló alapú áramtermelés szorzatával (sárga téglalap területe), míg a tarifális bevétel megegyezik a tarifa (t) és a villamosenergia-fogyasztás (Q'') szorzatával (szürke téglalap területe). Tehát a t tarifát kell úgy megállapítani, hogy ez az egyenlőség teljesüljön. Ebben az egyensúlyi pontban a villamos energia ára p'' , amely már tartalmazza a megújuló finanszírozására szolgáló tarifális elemet is. Ezt nevezük kiskereskedelmi villamosenergia-árnak. Ez biztosan magasabb, mint a támogatás bevezetése utáni nagykereskedelmi ár (p'), viszont nem tudunk semmit mondani a megújuló támogatás bevezetése utáni nagykereskedelmi ár (p'') viszonyáról. Ez nagyon sok tényezőtől függ: a megújuló és a fosszilis erőművek kínálati görbéjétől, a megújuló arányától, illetve a keresleti görbe meredekségétől is.

Ezt az elsőre talán meglepő kijelentést, miszerint egy drágább technológia támogatása révén csökkenthető a villamos energia ára, Skytte (2006) a következő egyszerű példával illusztrálja.

A megújulószabályozás nélküli esetben legyen a kialakuló egyensúlyi ár 22 €/MWh. Ezt követően a szabályozó hatóság bevezet egy zöld bizonyítványrendszert, és minden fogyasztónak előírja, hogy a villamosenergia-fogyasztás 10%-ának megújuló forrásból kell származnia. A megújulók kínálati görbéje teljesen lapos, 30 €/MWh-s szinten. Miután bevezetésre került a zöld bizonyítványrendszer, a 10%-nyi megújuló termelés kiszorítja a drágább fosszilis erőműveket, és a versenypiaci villamosenergia-ár lecsökken 18 €/MWh-ra. A zöld bizonyítvány ára megegyezik a megújulók költségének és a versenypiaci árak a különbségével, azaz 12 €/MWh-val. A kiskereskedelmi ár így két tételből áll össze: egyrészt a kialakuló versenypiaci árból (nagykereskedelmi ár) és a zöld bizonyítvány árából. Mivel a fogyasztóknak 10%-ot megújuló termelésből kell vásárolniuk, ezért a teljes fogyasztásukra jutó megújulótámogatás költsége $12 \text{ €/MWh} \times 10\%$, azaz 1,2 €/MWh. Így összességében a kialakuló kiskereskedelmi ár 19,2 €/MWh ($18 \text{ €/MWh} + 1,2 \text{ €/MWh}$), amely lényegesen alacsonyabb, mint a kezdeti nagykereskedelmi ár (22 €/MWh).

Irodalmi áttekintés

Számos szakirodalom részletesen vizsgálja azt a kérdést, hogy a megújulótámogatások milyen hatással bírnak a kialakuló nagykereskedelmi és kiskereskedelmi villamosenergia-árra. Konszenzus van abban a tekintetben, hogy a megújulók bevezetésével a nagykereskedelmi ár (amely nem tartalmazza a megújulók finanszírozásának tarifális elemét) mindenképpen csökken, viszont az egyes irodalmak más-más eredményre jutnak a kiskereskedelmi ár alakulására vonatkozóan.

Jensen – Skytte (2002) vizsgálta, hogy milyen hatással jár a villamos energia nagykereskedelmi és kiskereskedelmi árára, ha bevezetnek egy zöldbizonyítvány-piacot. Elméleti cikkükben bebizonyítják, hogy egy bizonyos szintű megújulócélig a zöld bizonyítványoknak nem lesz ára, így sem a kiskereskedelmi, sem a nagykereskedelmi árakra nincs hatással a megújulótámogatás. Ezt követően a zöld bizonyítványok ára emelkedik, amellyel párhuzamosan csökken a villamos energia nagykereskedelmi ára is. Ezzel szemben a végfelhasználói ár egy szűk megújuló céltartományban csökken, de jellemzően emelkedik.

Morthorst (2003) egy numerikus példán keresztül igazolja, hogy három egymással összekapcsolt ország esetében jelentősen csökken a nagykereskedelmi ár egy

egységes zöldbizonyítvány-piacon. Ugyanakkor nem számszerűsíti, hogy a végfelhasználói árakban ez milyen változást idéz elő.

De Jongheet et al. (2009) öt ország (Franciaország, Németország és a három Benelux ország) példáján keresztül vizsgálta, hogy egy zöld bizonyítvány és/vagy egy emissziókereskedelmi rendszer bevezetése milyen hatással bír a villamos energia nagykereskedelmi és kiskereskedelmi árára. A szerzők modellezési eredménye alapján nincs olyan megújuló-céltartomány, amely esetben csökkenne a végfelhasználók által fizetett áram ára.

Unger et al. (2004) a MARKAL-NORDIC általános egyensúlyi modell segítségével vizsgálja, hogy a skandináv országokban milyen hatással jár a nagykereskedelmi és a kiskereskedelmi árakra egy egységes zöld bizonyítvány bevezetése. Megállapítása szerint közel 30%-os megújulócélig stagnál, illetve kismértékben csökken a kiskereskedelmi ár is, míg a nagykereskedelmi ár ezen a tartományon túl is folyamatosan csökken.

Traber – Kemfert (2009) egy 25 európai országra kiterjedő villamosenergia-piaci modellel elemzi, hogy a németországi kötelező átvételi megújulótámogatás hogyan hat Németországban és a környező országokban a villamos energia árára, illetve a nagyobb cégek profitjára. Fontos megállapításuk, hogy a megújulók elterjedése két különböző hatással jár: egyrészt a közvetlen helyettesítési hatással, másrészt pedig a csökkenő konvencionális erőművek kiszorulása miatt csökken az emissziós kvóták iránti kereslet, így azok árai is, amely csökkentőleg hatnak az erőművek termelési költségére, végső soron csökkentve a nagykereskedelmi árakat. Modellezési eredmények alapján az emissziós kvótán keresztüli hatás lényegesen fontosabb. Egy magasabb átvételi ár hatására minden országban jelentősen csökken a nagykereskedelmi ár, beleértve Németországot is. Ezzel szemben a német végfelhasználói árak összességében növekednek.

Hindsberger et al. (2003) egy villamosenergia-piacot szimuláló numerikus modellel elemezték a megújulók hatását az északi országok esetében. Eredményeik alapján egy bizonyos megújulócélig a zöld bizonyítványok ára zérus, így a nagykereskedelmi és kiskereskedelmi villamosenergia-árak sem változnak. Ezt követően azonban jelentősen csökken a nagykereskedelmi ár és nő a kiskereskedelmi ár. Eredményeik alapján e kijelentés minden széndioxid-kvóta ár mellett megállja a helyét.

De Miera et al. (2008) bemutatják, hogy egy megújuló támogatási rezsim esetében többféle hatással lehet számolni. Egyrészt a direkt kiszorító hatással, azaz a megújuló alapú villamosenergia-termelés kiszorítja a konvencionális erőművek termelését, aminek hatá-

sára csökken a nagykereskedelmi villamosenergia-ár. A csökkenő hagyományos erőművi termelés miatt a széndioxid-kvóták iránti kereslet csökken (ha van széndioxid-kereskedelem), azaz csökken azok ára, amely alapján csökken a hagyományos erőművek határköltsége. Így végső soron csökken a villamos energia nagykereskedelmi ára. A szerzők ezt a hatást nevezték el indirekt hatásnak. Végül a megújuló támogatási igénye növeli a kiskereskedelmi árat. A szerzők megvizsgálták a 2004–2006 közötti spanyol szélenergia támogatási rendszert, és azt találták, hogy már önmagában a direkt hatás ellensúlyozza a szélenergia-áraknak jutott támogatás miatt bekövetkező kiskereskedelmi áremelkedést. Azaz a megújuló rendszer bevezetése révén nemcsak a nagykereskedelmi, hanem a kiskereskedelmi árak is csökkentek.

Sensfuss et al. (2007) a németországi kínálati görbét becsülték a 2005-2007-es időszakra vonatkozóan. A kínálati görbéből megállapítható, hogy mekkora lenne az átlagos nagykereskedelmi ár a németországi szélenergia-árak nélkül, illetve azzal. Arra a megállapításra jutottak, hogy átlagosan 7,8 €/MWh-val csökken a szélenergia-ár hatására a nagykereskedelmi ár. Ezt követően a szerzők megvizsgálták, hogy milyen viszonyban áll ez a csökkenés az összes megújuló támogatásra kifizetett összegre. Eredményük szerint az összes vizsgált évben a megújulóakra kifizetett támogatás mértéke meghaladta a nagykereskedelmi ár csökkenésének hatását, azaz a kiskereskedelmi árak növekednek a szélenergia-ár hatására.

Hasonló megközelítéssel vizsgálta Clifford – Clancy (2011) az írországi piacot is. Számításaik szerint a nagykereskedelmi árak jelentősen csökkennének és a szélenergia-árak kifizetett támogatás mértéke pedig nagyságrendileg megegyezik a nagykereskedelmi árcsökkenésből adódó megtakarításra, így összességében, ha csak ezt a két tényezőt vizsgáljuk, akkor nem emelkednek a végfogyasztók terhei.

Az 1. táblázat összefoglalóan mutatja az egyes szakirodalmak főbb megállapításait, illetve az alkalmazott módszertant.

1. táblázat

A releváns szakirodalmak főbb megállapításai és az alkalmazott bizonyítási módszerek

	Főbb megállapítás	Alkalmazott bizonyítási mód
Jensen-Skytte (2002)	A zöld bizonyítvány bevezetésével a nagykereskedelmi ár csökken, míg a kiskereskedelmi ár egy bizonyos megújuló céltartományban csökken, egyébként növekszik.	Elméleti
Jensen (2006)	A zöld bizonyítvány bevezetésével a nagykereskedelmi ár csökken, míg a kiskereskedelmi ár változása bizonytalan.	Elméleti, számpéldával illusztrálva
Morthorst (2003)	Egységes zöld bizonyítvány bevezetésével jelentősen csökken a nagykereskedelmi ár.	Numerikus, három országra kiterjedő példa
De Jonghe et al. (2009)	A zöld bizonyítvány bevezetésével csökken a nagykereskedelmi ár, de minden esetben nő a végfelhasználói ár.	Villamosenergia-piaci modell hat ország példáján keresztül
Unger et al. (2005)	A zöld bizonyítvány bevezetésével csökken a nagykereskedelmi ár, és közel 30%-os megújulóarányig csökken a kiskereskedelmi ár is	A skandináv országokra alkalmazott MARKAL általános egyensúlyi modell
Traber-Kempf (2009)	Német kötelező átvételi rendszer hatását vizsgálja. Megállapítása szerint csökken mindenhol a nagykereskedelmi ár, míg Németországban nő a végfelhasználói ár. A hatásokat kettéosztja: egyrészt a helyettesítési hatásra, másrészt pedig az emissziós kvóta árán keresztül érvényesülő hatásra.	25 országra kiterjedő villamosenergia-piaci modell
Hindsberger et al. (2003)	A zöld bizonyítvány bevezetésével csökken a nagykereskedelmi ár (egy bizonyos cél felett), de minden esetben nő a végfelhasználói ár, függetlenül a CO ₂ -kvóta áratól.	Északi és balti országokra kiterjedő villamosenergia-piaci modellezés
De Miera et al. (2006)	Spanyolországban a szélenergia-árak részére jutott hatósági átvételes garantált átvételi ár nemcsak a nagykereskedelmi árakat csökkenti, hanem a kiskereskedelmi árakat is.	Spanyol piac elemzése, szimulációs eszközökkel
Sensfuss et al. (2007)	A nagykereskedelmi árak 2006-ban közel 8 €/MWh-val csökkennek Németországban, de ez sem elegendő, hogy ellensúlyozza a szélenergia-árak részére jutott támogatást, így összességében nő a kiskereskedelmi ár.	Németországi 2005–2007-es kínálati görbe meghatározása és elemzése
Clifford – Clancy (2011)	A nagykereskedelmi árak jelentősen csökkennének, míg a kiskereskedelmi árak nem változnak a szélenergia-ár megjelenésének hatására.	Írországi 2011-es kínálati görbe meghatározása és elemzése

Az EEMM árampiaci modell bemutatása

Az Európai Árampiaci Modell (European Electricity Market Model – EEMM) 36 európai ország nagykereskedelmi villamosenergia-piacát szimulálja, tökéletes versenypiaci körülményeket feltételezve. Az EEMM-modell legelső verzióját Kiss András fejlesztette ki a Regionális Energiagazdasági Kutatóközpontban, amely azóta folyamatosan különböző típusú elemzésekhez kerül felhasználásra. A modell részletes leírását a következő irodalmak foglalják össze: REKK (2011a), REKK (2011b), REKK (2011c), Mezősi – Szabó (2012).

Az EEMM háromféle piaci szereplőt különböztet meg: termelőt, fogyasztót és kereskedőt. Mindegyikük esetében tökéletes versenyt feltételez, azaz a piaci szereplők árelfogadók.

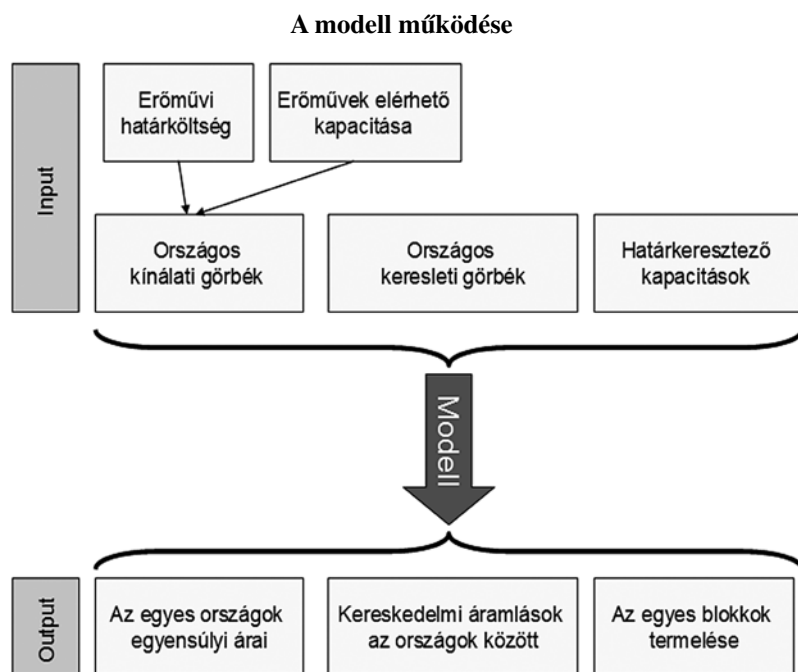
lőanyag-költség, a változó működési költségek, beleértve a jövedéki adót is, illetve a szén-dioxid-költségek (amennyiben felmerülnek).

A modellben egy országot egy csomópontként értelmezzük, azaz az adott országon belül nincsenek hálózati korlátok, csak az országok között. Az országok közti határkeresztesző kapacitások korláatosak, amelyeket a rendelkezésre álló kapacitásokkal közelítünk.

A modellezés során órás piacokat szimulálunk, amely szimulációk függetlenek egymástól, azaz az indítási és leállítási költségekkel nem számoltunk. Egy adott órára vonatkozó egyensúlyt a modellben (az árakban és a mennyiségekben) a termelő és az átviteli szegmens szimultán egy időben éri el. Összesen 90 referenciaórát modellezünk, amely esetben az erőművi rendelkezésre állások és a kereslet is eltér egymástól.

4. ábra A referenciaórák megfelelő súlyozásával kaphatjuk meg az éves értékeket, amelyek közé tartozik például az éves zsinór-áram ára (4. ábra).

Az egyes erőművek rövid távú határköltségeinek és elérhető kapacitásának meghatározása révén minden egyes országra felállíthatjuk az országos kínálati görbét, azaz a meritordergömbét. Figyelembe véve a határkeresztesző kapacitások korlátait, illetve az egyes országokra jellemző keresleti görbét, megkapjuk a modell bemenő paramétereit. A modell ezen adatokkal maximalizálja a 36 ország együttes jólétét. A modellszámítás eredményeképpen alakul ki minden országra külön-külön, minden egyes referencia-órára az egyensúlyi ár, az adott órára vonatkozó országok közötti kereskedelmi áramlások, illetve az egyes erőművi blokkok termelése is.



Forrás: REKK (2011a)

Minden egyes erőművi egységre meghatározható annak rövid távú határköltsége. Az EEMM a 36 modellezett országban közel 5000 erőművi blokkot tart számon. Minden blokk esetében a modell figyelembe veszi annak kapacitását. Összesen 12 különböző technológiát különböztethetünk meg: biomassza-tüzelésű erőművek, széntüzelésű erőművek, lignittüzelésű erőművek, geotermális erőművek, nehézfűtőolaj-tüzelésű erőművek, könnyűfűtőolaj-tüzelésű erőművek, víz-erőművek, szélerőművek, naperőművek, nukleáris erőművek, földgáztüzelésű erőművek, illetve árapály erőművek. A modell csak a rövid távú változó költségeket veszi figyelembe, amelyek közé tartozik a tüze-

Modellezési eredmények

A megújuló erőművek nagykereskedelmi és kiskereskedelmi villamosenergia-árra való hatását a fent bemutatott modell segítségével Magyarország példáján keresztül vizsgáljuk. A szimuláció megfelelő eszköz arra, hogy egy-egy tényező hatását vizsgálhassuk, miközben minden egyéb változatlan. A modellezés során 2015-ös világállapotokat szimulálunk, amelyhez a jelenlegi legjobb elérhető információkat használtuk fel a jövőbeli várható beépített erőművi kapacitásokra, különböző tényezőárakra és a villamosenergia-fogyasztásra vonatkozóan is. Két megújulótechnológia, a szélerőművek és a fotovoltaikus erőművek hatását elemezzük, lévén ez a

két erőműtípus, amely az utóbbi időben a leggyorsabban fejlődött, és viszonylag rövid időn belül lehet nagy kapacitásokat kiépíteni, illetve e technológiák esetében a beruházási költségek nem igazán országspecifikusak, így a nemzetközi szakirodalomban fellelhető költségek jó közelítést adhatnak egy Magyarországon telepítendő szél- vagy fotovoltaikus erőműről.

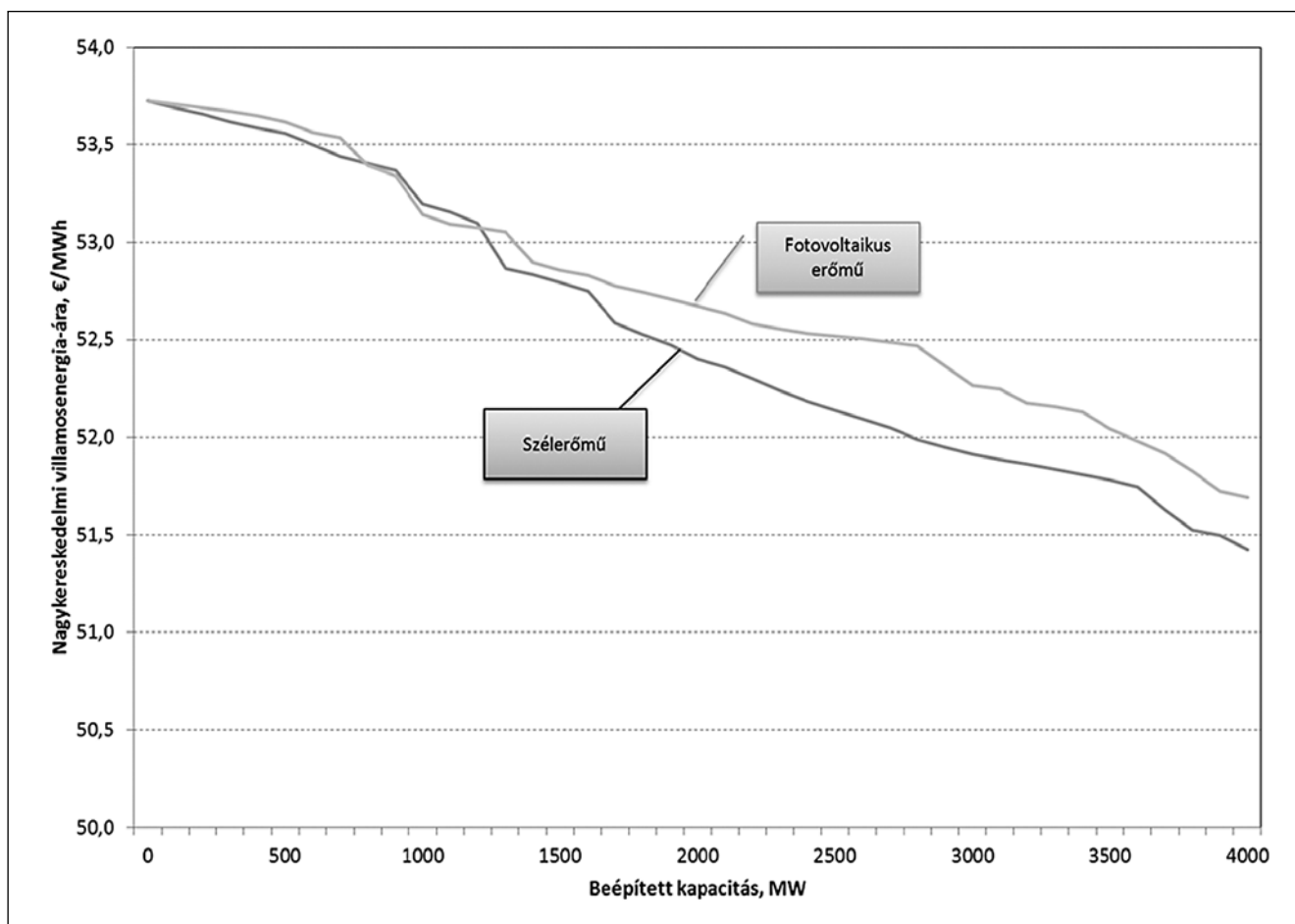
A modellezés során azt vizsgáljuk, hogyha a referenciaesethez képest hazánkban további szél- vagy fotovoltaikus kapacitások épülnének ki, az hogyan hatna a magyarországi és a többi modellezett ország nagykereskedelmi áraira. Az 5. ábra mutatja, hogy különböző beépített megújulókapacitások mellett hogyan változik meg a hazai nagykereskedelmi villamos energia ára.

termelők egy adott piacon, annál alacsonyabb lesz a nagykereskedelmi ár. A modellezés szerint, ha Magyarországon 4000 MW-tal nőne a szél- és fotovoltaikus kapacitás, akkor közel 2,5 euróval csökkenne megawattóránként a nagykereskedelmi ár. Nagyságrendileg hasonló árcsökkenést tapasztalhatunk a fotovoltaikus erőművek esetében is.

Az 5. ábrán csak a magyarországi nagykereskedelmi árak alakulását mutattuk be különböző szél- és fotovoltaikus erőművi beépített kapacitás mellett. Ugyanakkor hazánk villamosenergia-piacja jó összeköttetésekkel bír a szomszédos országok irányába, így a nagykereskedelmi ár csökkenése ezen országok esetében is érzékelhető. Ennek érdekében képeztünk egy olyan mutatót, amely egy MW beépített megújuló-

5. ábra

A magyarországi nagykereskedelmi árak alakulása különböző megújulókapacitások mellett, €/MWh

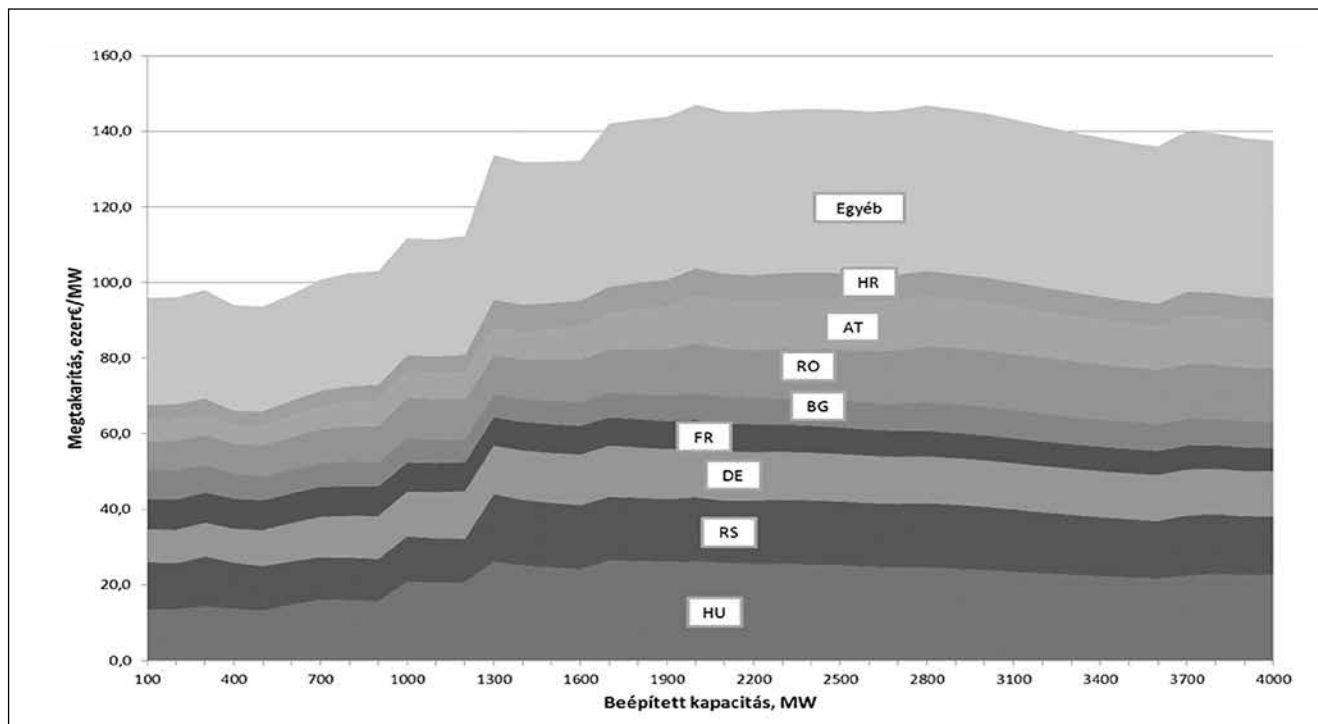


Forrás: saját számítás

Látható, hogy a modellezési eredmények is alátámasztják a szakirodalomban általánosan elfogadott nézetet, miszerint minél elterjedtebbek ezen áram-

lő- (szél, illetve fotovoltaikus) kapacitásra mutatja az egyes országokban a fogyasztók által megtakarított pénzösszeget. Vegyük észre, hogy ez nem más, mint a fogyasztói többlet növekedése egy MW beépített kapacitásra vetítve.

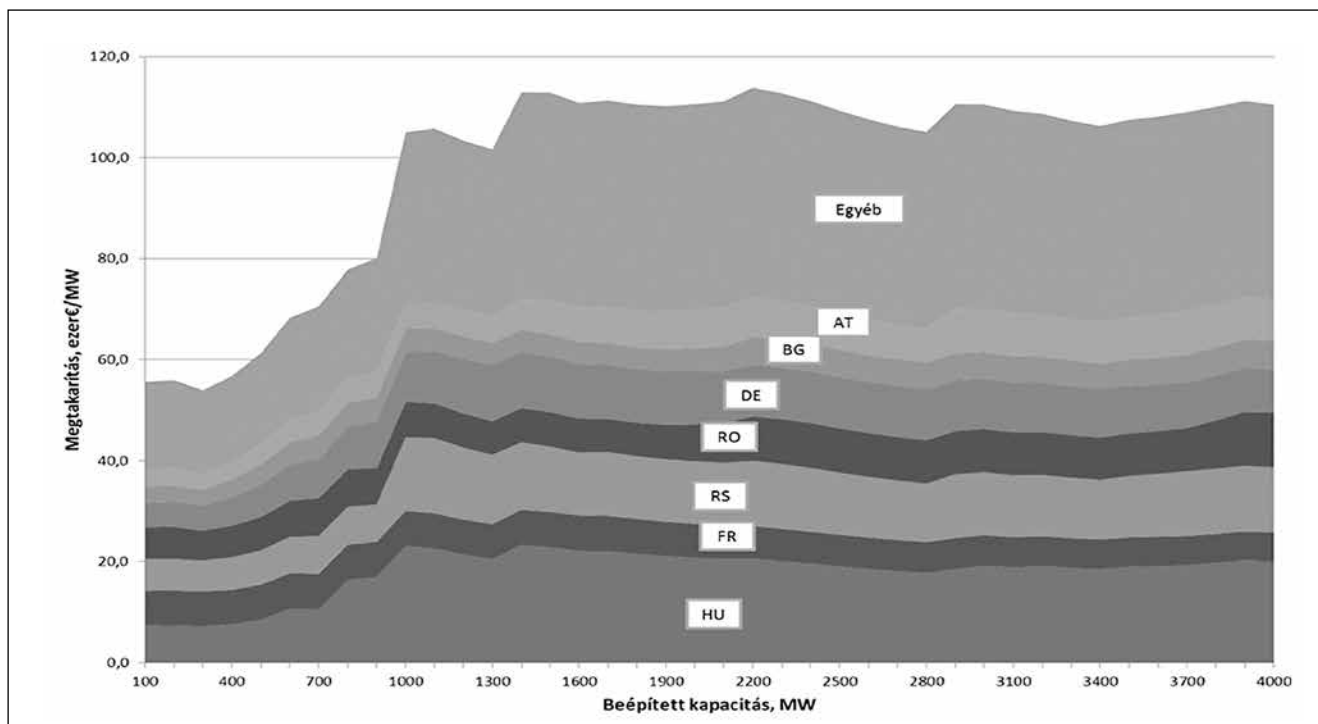
Különböző szélenergiai kapacitások mellett a fogyasztói többlet növekedése az egyes országokban egy MW beépített kapacításra vetítve



Forrás: saját számítás

7. ábra

Különböző fotovoltaikus kapacitások mellett a fogyasztói többlet növekedése az egyes országokban egy MW beépített kapacításra vetítve



Forrás: saját számítás

VEZETÉSTUDOMÁNY

A 6. és a 7. ábrából három fontos következtetés vonható le. Egyrészt a két technológia esetében hasonló tendenciák érvényesülnek, de a szélenergia hatása jelentősebb, mint a fotovoltaikus erőművéké. Másodszor, megközelítőleg mindkét technológia esetében körülbelül 1000 MW-os beépített kapacitásig nő a fajlagos megtakarítás mértéke, azt követően viszont stagnál. Végül, és talán a legfontosabb, hogy minden beépített kapacitás és mindkét technológia esetében az összes fogyasztói többlet növekedésének mindössze 15-20%-a jelentkezik Magyarországon, a többi árcsökkenésből eredő fogyasztói haszon más országokban jelentkezik.

Látható, hogy még Franciaországban is érzékelhető, pozitív hatással bír a fogyasztói kiadásokra a magyar megújuló erőművek elterjedése. Ennek oka, hogy Ausztrián keresztül Németországban is kismértékben csökkennek a nagykereskedelmi árak, amelyek továbbterjednek Franciaországra is. Ez utóbbi ország esetében, a nagyon magas villamosenergia-fogyasztás miatt, már egy kis nagykereskedelmi árcsökkenés is jelentősen képes megváltoztatni a fogyasztói többlet mértékét.

Fontos észrevenni, hogy egy hazai megújuló támogatás azt eredményezi, hogy növekszik a magyarországi megújuló kapacitása, amely csökkentőleg hat mind a hazai, mind a környező országok nagykereskedelmi villamos energia árára is. Az árcsökkenést azonban döntően a hazai villamosenergia-fogyasztóknak kell kifizetniük a kiskereskedelmi árakba beépített tarifaelemeken keresztül.

A szélenergia és a fotovoltaikus erőművek termelési költsége

Annak érdekében, hogy vizsgálhassuk, hogyan alakul a magyarországi kiskereskedelmi ár, szükséges meghatározni a kétfajta megújuló technológia átlagköltségét, azaz mekkora átlagos átvételi ár (vagy akár zöldbizonyítvány-ár) mellett valósulnának meg e beruházások. Az átlagos átvételi ár kiszámolására a szakirodalomban általánosan használt LCOE- (Levelized Cost of Energy) képletet használjuk (IEA, 2010). Ez megmutatja, hogy legalább mekkora átlagos villamos energia értékesítési ár mellett gazdaságos az erőmű üzemeltetése. Képletszerűen a következőképpen számolható ki ennek a mutatónak az értéke:

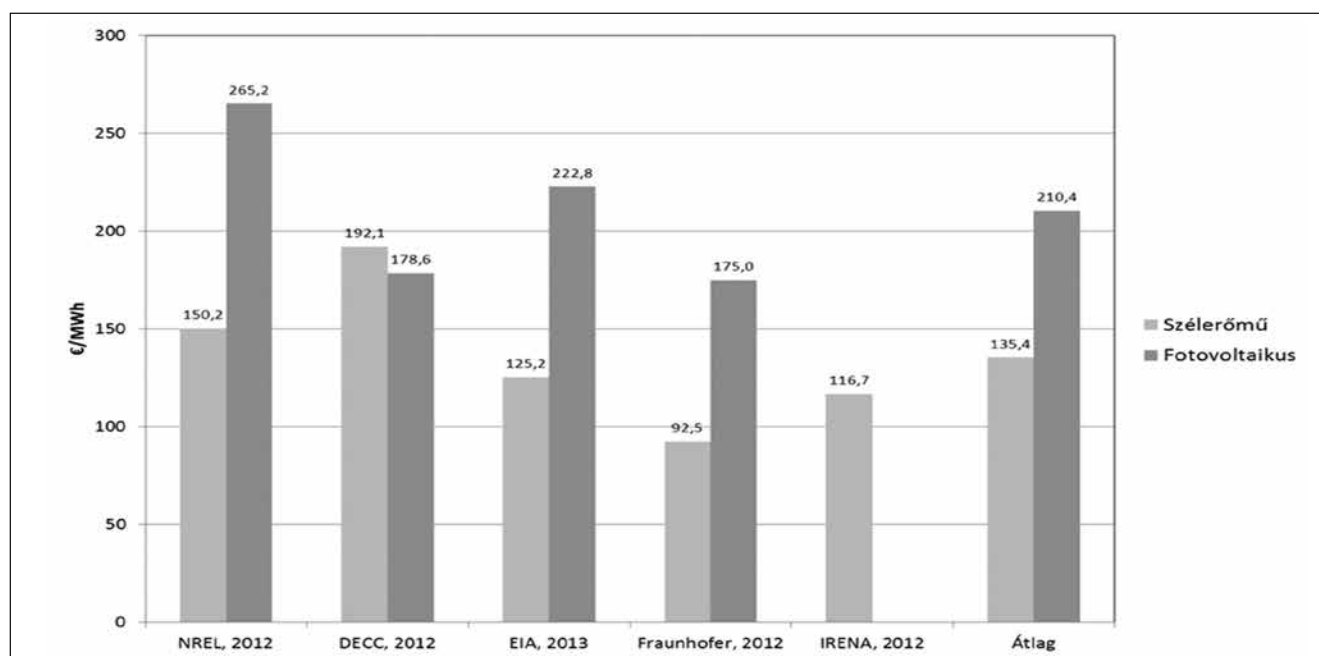
$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{BER_t + T\ddot{U}Z_t + M\ddot{U}K_t}{(1+r_t)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r_t)^t}}$$

, ahol:

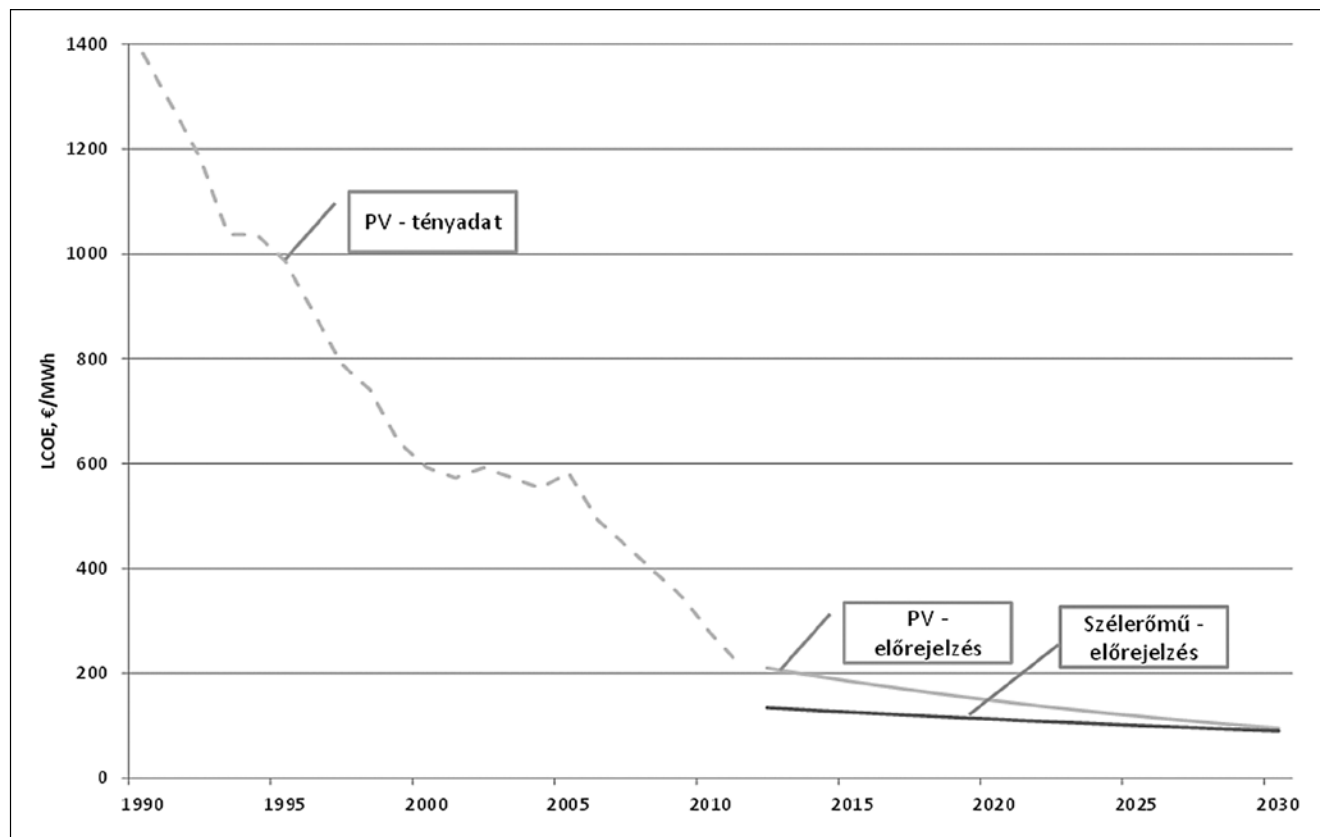
- n: a projekt teljes élettartama,
- BER_t : a t-edik évben a beruházás költsége,
- $T\ddot{U}Z_t$: a t-edik évi tüzelőanyag-költség,
- $M\ddot{U}K_t$: a t-edik évi teljes működési költség, leszámítva a tüzelőanyag-költséget,
- r_t : a t-edik évre vonatkozó diszkontráta,
- E_t : a t-edik évben termelt villamos energia mennyisége.

8. ábra

A szélenergia és fotovoltaikus erőművek LCOE-értékei különböző tanulmányokban a hazai viszonyokhoz adaptálva, €/MWh



A nap- és szélenergiák LCOE-értékei a múltban és a várható alakulása a jövőben magyarországi kihasználtságok mellett, 1990–2030, 2012-es reálárakon



Forrás: Fraunhofer (2012a), Fraunhofer (2012b) és DECC (2012)

Számos tanulmány becsülte meg a szélenergiák és a fotovoltaikus energiák átlagköltségét, különböző körülmények között. Mi ezek közül négy eredményeit mutatjuk be. Mindegyik esetben a hazai viszonyokhoz, euróra átváltva határozzuk meg az LCOE értékét. A szélenergiák esetében 18,3%-os kihasználtsággal számoltunk (EEA, 2009), míg a fotovoltaikus energiáknál 12,6 százalékkal (JRC, 2012). A diszkontrátát 10%-osnak feltételezzük. E feltevések mellett a 8. ábra mutatja a különböző tanulmányból számolt LCOE értékét.

Látható a 8. ábrán, hogy mindkét technológia esetében jelentős sávban mozog az LCOE értéke. Ha az idézett öt tanulmány értékeit először hazai viszonyokra adaptáljuk (hazai jellemző kihasználtság), majd ezt követően vesszük az egyszerű számtani átlagot, akkor a szélenergiák megawattóránként átlagosan 135,4 értékesítési ár mellett képesek gazdaságosan üzemelni, míg a fotovoltaikus energiák esetében ez a szám 210 €/MWh.

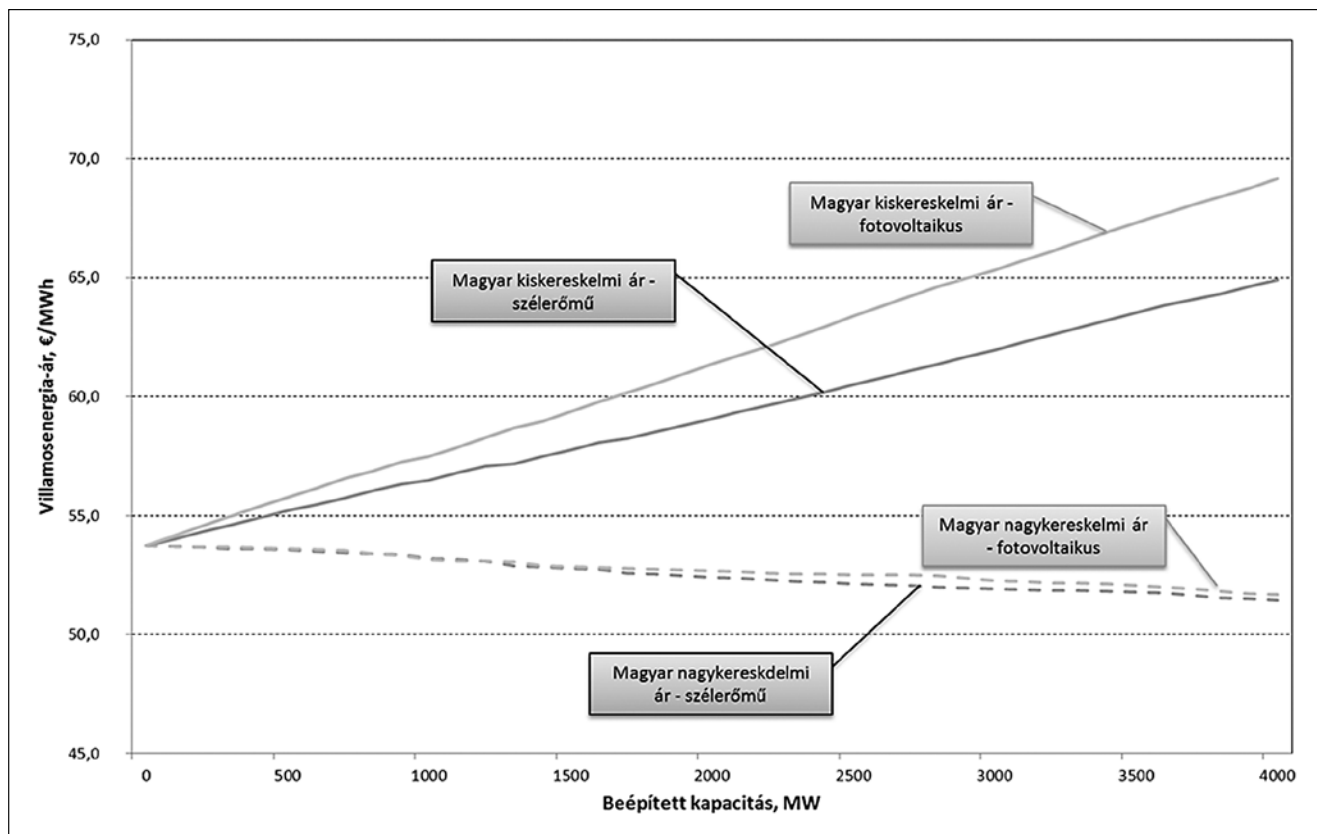
Fontos hangsúlyozni, hogy mindkét technológia esetében jelentősen csökken az átlagköltség. A 9. ábrán a DECC (2012) és Fraunhofer- (2012) tanulmányok alapján 1990-től kezdve feltüntettük a fotovoltaikus energiák

átlagköltségének alakulását is. Az idézett két tanulmány további előrejelzést is ad a technológiák várható villamosenergia-termelési átlagköltségére is. Mivel a két tanulmány között jelentős eltérést nem tapasztalhatunk, így azok egyszerű átlagát vettük, és hazai viszonyokra (éves átlagos kihasználtság) adoptáltuk.

A magyarországi kiskereskedelmi árak alakulása

Az előzőekben bemutattuk, hogyan alakul a magyarországi nagykereskedelmi ár különböző beépített szélenergiái, illetve fotovoltaikus energiái kapacitás mellett. Számszerűsítettük továbbá, hogy e két energiátípus milyen átlagos értékesítési ár mellett képes gazdaságosan üzemelni. Ezen adatok segítségével meghatározható a magyar kiskereskedelmi ár is. Feltételezzük, hogy a megújuló-támogatás mértéke minden esetben a technológia átlagköltsége (LCOE-értéke), illetve a modellezett magyarországi nagykereskedelmi ár különbségével egyezik meg. A 10. ábrán bemutatjuk mind a nagykereskedelmi, mind pedig a kiskereskedelmi árak alakulását, utóbbi a nagykereskedelmi ár és a megújuló-támogatás fajlagos költségével egyezik meg, feltételezve, hogy az egyenlően oszlik meg min-

A magyarországi számított kiskereskedelmi és nagykereskedelmi ár különböző szél, illetve fotovoltaikus beépített kapacitások mellett, MW



Forrás: saját számítás

den magyarországi villamosenergia-fogyasztó között a fogyasztás arányában.

Látható, hogy míg a nagykereskedelmi ár egyértelműen csökken mindkét technológia esetében, addig a kiskereskedelmi ár sokkal meredekebben emelkedik: 4000 MW beépített szélerőművi kapacitás esetében a hazai kiskereskedelmi ár megawattóránként több mint tíz euróval drágul, míg a fotovoltaikus erőművek esetében ez meghaladja a 15 eurót. Ez tehát azon szakirodalmak eredményeit támasztja alá, amelyek egyértelmű kiskereskedelmi áremelkedést állapítottak meg a megújulók támogatásának következményeként.

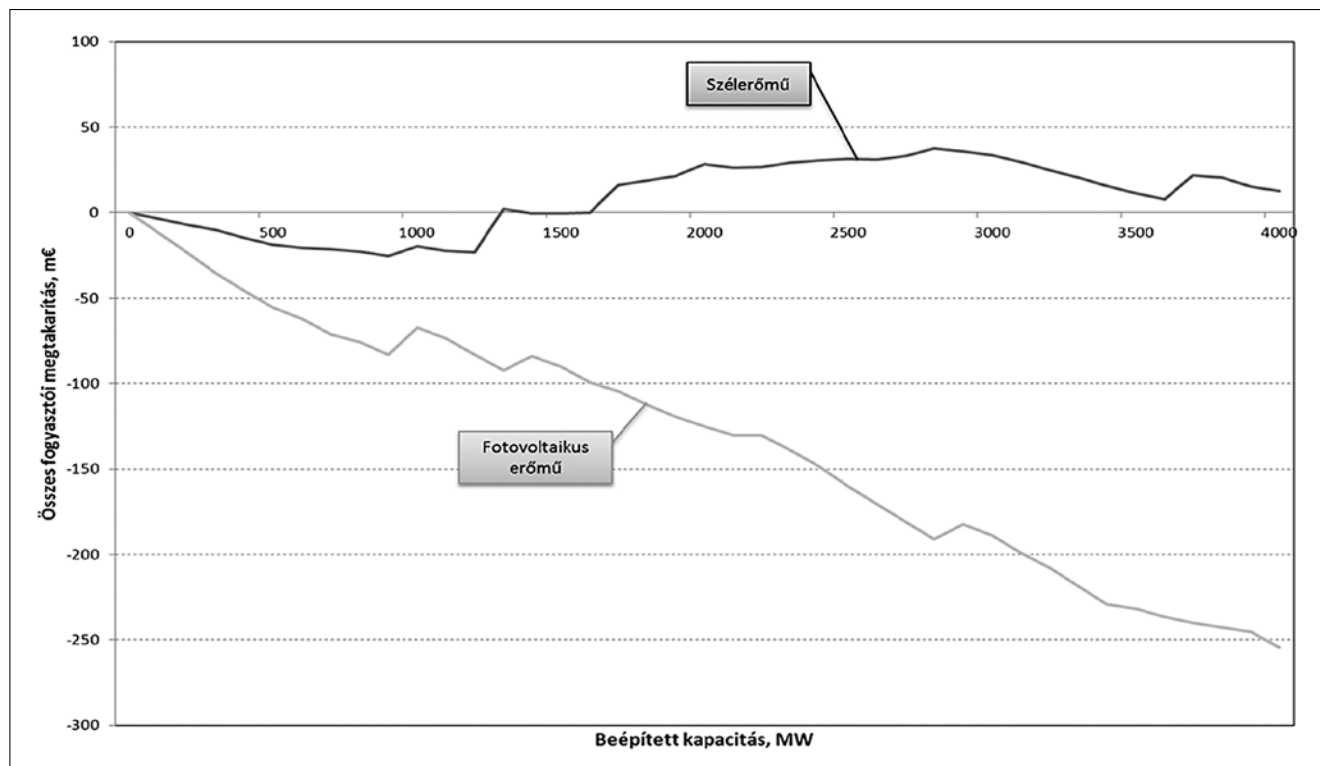
Ugyanakkor fontos azt is látni, hogy ez az eredmény részben azért született, mivel a hasznok döntő része nem abban az országban keletkezik, amely a megújulótámogatást nyújtja, és amelynek a fogyasztói finanszírozzák e technológiákat, hanem más országokban. Korábban bemutattuk, hogy az összes haszn mindössze 15-25%-a keletkezik csak Magyarországon, az összes többi a környező országokban. Ezért érdemes megvizsgálni, hogy a hasznok és a megújulók támogatásának összege milyen viszonyban áll egymással.

Ehhez szükséges kiszámolni az összes országban a fogyasztói megtakarítást a nagykereskedelmi ár csökkenéséből kifolyólag, amelyből le kell vonni a megújulókra kifizetett támogatási összeget. Ennek a számításnak az eredményét mutatja a 11. ábra.

Látható, hogy a szélerőműveknél egy bizonyos kapacitásnagyság esetében az összes fogyasztónál jelentkező haszn meghaladja a szélerőművek támogatási igényét. Ezzel szemben a fotovoltaikus erőműveknél nem találunk ilyen kapacitásnagyságot, ebben az esetben a támogatás mértéke minden esetben lényegesen magasabb, mint az összes fogyasztónál jelentkező haszn. Fontos kihangsúlyozni, hogy számításaink során nem vettünk figyelembe más költség tényezőket, illetve az egyéb szereplőknél jelentkező hatásokat sem vizsgáltuk. Az előbbieik közé tartozhat az időjárásfüggő megújuló technológiák rendszerintegrációs költsége, míg az utóbbiak közé tartozik a termelői többlet csökkenése az alacsonyabb nagykereskedelmi árakból kifolyólag.

Az eredmények nagyobb robusztussága érdekében megvizsgáltuk, hogy hasonló következtetésre jutnánk-e, ha más input adatokat használnánk a modellezés során. A modellezett árak viszonylag alacsony

A fogyasztói megtakarítás az összes országban és a vizsgált megújulókapacitások támogatásigényének különbsége, m€



Forrás: saját számítás

szinten mozognak, köszönhetően a ma is tapasztalható nyomott tényezőáraknak (relatív alacsony szén ár, alacsony széndioxid-ár stb.), amely ráadásul egy alacsony villamosenergia-fogyasztással párosul. Ezért érdemes megvizsgálni egy olyan esetet, amely során a kialakuló villamosenergia-ár magasabb szinten mozog. Ekkor azt várhatnánk, hogy mivel a támogatási igény csökken, ezért csökkenhet (vagy kevésbé nőhet) a kiskereskedelmi ár is. Ennek érdekében a referenciaesetben használt tonnánkénti 7 eurós széndioxid-árat megnöveltük 30 euróra, aminek eredményeképpen a modellezési eredmény alapján a kialakuló villamosenergia-termék ára megnövekedett 74 €/MWh körüli értékre. Hasonlóan elvégezve a számításokat azt kapjuk, hogy 4000 MW-nyi beépített szélerőművi kapacitás megawattóránként 1,3 euróval csökkenti a hazai nagykereskedelmi árat, viszont 8,7 euróval növekszik a hazai kiskereskedelmi ár. Ez azonban lényegesen kisebb, mint a referenciaesetben tapasztalt 11,2 €/MWh. A fotovoltaikus erőmű esetében a nagykereskedelmi árcsökkenés 4000 MW beépített kapacitás esetében kevesebb mint egy €/MWh, míg a végfogyasztói árak 14,3 euróval nőnek megawattóránként, amely azonban több mint egy euróval kisebb, mint a referenciaesetben.

Konklúzió

A modellezési eredmények azon szakirodalmakat támasztják alá, amelyek alapján a megújuló támogatás révén a nagykereskedelmi árak csökkennek, de a kiskereskedelmi árak növekednek abban az országban, amely alkalmazza a megújuló támogatási rezsimet. A modellezési eredmény továbbá rámutatott arra, hogy míg a terheket csak a magyar fogyasztók fizetik meg, addig a hasznok jelentős, közel 75-85%-a nem Magyarországon keletkezik, hanem más országokban. Fontos azonban hangsúlyozni, hogy ez ugyanígy igaz lehet abban az esetben is, ha egy német vagy bármilyen más európai ország megújuló támogatását vizsgálnánk. Így például jelentős szerepe van a német szél- és naperőművek elterjedésének a mostani nagykereskedelmi villamosenergia-ár csökkenésében. E megállapítás igen fontos, hiszen ez egy rendkívüli érv lehet egy egységes, európai megújuló támogatási rezsimmel.

A másik fontos megállapítás, hogyha az összes ország hasznait számszerűsítjük, és ezt állítjuk szembe a költségekkel – azaz a megújuló termelés átlagos költsége és a kialakuló nagykereskedelmi ár különbségével –, akkor a szélerőművek esetében a hasznok ellensúlyozzák a költségeket, azaz a megújuló támogatás európai

szinten csökkenti az átlagos kiskereskedelmi árakat. Ez a fotovoltaiikus erőművekre azonban nem állja meg a helyét.

Összességében látható, hogy azon állítás, hogy egy drágább technológia támogatása révén a fogyasztók által a villamos energiára költött összeg csökkenhet, igaznak bizonyulhat bizonyos technológiák esetén.

Felhasznált irodalom

- Bye, T. – Bruvold, A.* (2008): Multiple instruments change energy behaviour: The emperor's new clothes?
- Clifford, E. – Clancy, M.* (2011): Impacts of Wind Generation on Wholesale Electricity Costs in 2011, Workingpaper, SEAI-EIRGRID
- De Jonghe, C. – Delarue, E. – Belmans, R. – D'haeseleer, W.* (2009): Interaction between measures for the support of electricity from renewable energy sources and CO2 mitigation. *Energy Policy*, 37 (2009): p. 4743–4752.
- De Miera, S. – Del Rio, P. G. – Vizzaino, I.* (2008): Analysing the impact of renewable electricity support schemes on power prices: The case of wind in electricity in Spain. *Energy Policy*, 36 (2008): p. 3345–3359.
- DECC* (2012): Electricity Generation Costs. https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/65713/6883-electricity-generation-costs.pdf, letöltés ideje: 2013. 07. 03.
- EEA* (2009): EEA Technical report: Europe's onshore and offshore windenergy potential. 2009/6. http://www.eea.europa.eu/publications/europes-onshore-and-offshore-wind-energy-potential/at_download/file, letöltés ideje: 2011. 05. 05.
- EIA* (2013): Levelized Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2013. http://www.eia.gov/forecasts/aeo/er/electricity_generation.cfm; letöltés ideje: 2013. 07. 03.
- EWEA* (2010): Windenergy and Electricity Prices – Exploring the 'merit order effect'. http://www.ewe.org/fileadmin/ewe_documents/documents/publications/reports/MeritOrder.pdf, letöltés ideje: 2013. 05. 05.
- Fraunhofer* (2012): Study Levelized Cost of Electricity Renewable Energies. <http://www.ise.fraunhofer.de/en/news/news-2013/levelized-cost-of-electricity-renewable-energies-study-now-available-in-english>, letöltés ideje: 2013. 07. 03.
- Hindsberger, M. – Nybroe, M.H. – Ravn, H.F. – Schmidt, R.* (2003): Co-existence of electricity, TEP and TGC markets in the Baltic Sea Region. *Energy Policy*, 31 (2003): p. 85–96.
- IEA* (2010): Projected Cost of Generating Electricity. <http://www.iea.org/textbase/npsum/eleccost2010SUM.pdf>, letöltés ideje: 2012. 06. 05.
- IRENA* (2012): Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series. Volume 1: Power Sector. http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/RE_Technologies_Cost_Analysis-WIND_POWER.pdf, letöltés ideje: 2013. 07. 03.
- Jensen, S.G. – Skytte, K.* (2002): Interaction between power and green certificate markets. *Energy Policy*, 30, 200: p. 425–435.
- JRC* (2012): Photovoltaic Geographical Information System, Geographical Assessment of Solar Resource and Performance of Photovoltaic Technology. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis>
- Mezősi A.* (2013): A szabályozó eszközök rengetegében – A villamosenergia-szektor piaci kudarcait kezelő szabályozó eszközök egymásra hatásának vizsgálata. Disszertációtervezet. Budapest: Budapesti Corvinus Egyetem
- Mezősi A. – Szabó L.* (2012): Analysing the impact of transmission line developments on the European electricity market. The study was commissioned by Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport (JRC-IET). workingpaper
- NREL* (2012): Distributed Generation Renewable Energy Estimate of Costs. http://www.nrel.gov/analysis/tech_cost_dg.html, letöltés ideje: 2013. 07. 03.
- REKK* (2011a): Az EU 20%-os üvegházhatásúgáz kibocsátáscsökkentési vállalás emelésének hatáselemzése Magyarországra. A jelentés a Nemzeti Fejlesztési Minisztérium megbízásából készült. 2011. május
- REKK* (2011b): A Nemzeti Energiastratégia 2030 – Gazdasági Háttérelmzése. A tanulmány Magyarország Nemzeti Energiastratégiájának háttér tanulmányaként készült
- REKK* (2011c): Generation investments under liberalized conditions in the Central and South-East European region. in: Security of energy supply in Central and South-East Europe. ed. P. Kaderják. Budapest: REKK
- REKK* (2012): Renewable Support Schemes for Electricity Produced from Renewable Energy Sources. Review of the ERRA Member Countries and 2 Country Case Studies: Czech Republic and Sweden. www.rekk.eu, letöltés ideje: 2013. 11. 10.
- Sensfuss, F. – Ragwitz, M. – Genoese, M.* (2007): The meritorder effect: A detailed analyses of the price effect of renewable electricity generation on spot market prices in Germany, Working Paper Sustainability and Innovation. No. S 7/2007
- Skytte, K.* (2006): Interplay between Environmental Regulation and Power Markets. EUI workingpapers, 2006/04
- Traber, T. – Kemfert, C.* (2009): Impacts on the German Support for Renewable Energy on Electricity Prices, Emissions, and Firms. *The Energy Journal*, Vol. 30. No. 3.
- Unger, T. – Ahlgren, E.O.* (2005): Impacts of a common green certificate market on electricity and CO2 emission markets in the Nordic countries. *Energy Policy*, 33 (2005): p. 2152–2163.