

**Torsten Hauck**

### **A kibocsátás kereskedelem elméleti és gyakorlati vetülete**

*A szerző összefoglalja a CO<sub>2</sub> kibocsátás kereskedelem hátterét. Egy olyan hosszú távú stratégiai modell kifejlesztésére összpontosít, amellyel a jelenlegi CO<sub>2</sub>-kvótaárak a 2016-2020-as vizsgált időszakra hedzselhetők. A modell gyakorlati működőképességét a Mátrai Erőmű (Visonta/Magyarország), mint reprezentatív barnaszénerőmű hosszú távú terve alapján mutatja be a hozzá kapcsolódó üzemgazdasági hatásokkal.*

*A modell alkalmazása a gördülő árhedzselés funkciójával hosszú távú stabil CO<sub>2</sub>-kvótaárakat biztosít és ezáltal semlegesíti az áringadozásokat, amelyek a kibocsátás-kereskedelem kialakítása miatt állnak elő. A barnaszénerőművek üzemeltetői visszakapják tervezési biztonságukat, és ismét abba a helyzetbe kerülnek, hogy stabil alapon hozhassanak stratégiai döntéseket, pl. az erőmű fenntartásába és bővítésébe történő beruházásokról.*

*Kulcsszavak:* CO<sub>2</sub> kvóta, kibocsátás kereskedelem, CO<sub>2</sub>-kvótaköltségének hedzselése

*Jel-kód:* Q31, Q41, Q56

#### **Bevezetés**

A Kiotói Jegyzőkönyvből (2008) kiindulva az EU 2003/87/EK irányelve alapján a CO<sub>2</sub>-kibocsátás-kereskedelme 2005-ben lépett életbe, amely az emisszió visszaszorítására Pigou és Coase elméletei alapján kifejlesztett szabályozási eszköz (EK, 2004). Lényege, hogy az állami beavatkozások helyett alapvetően a piacra helyeződik át a hangsúly azáltal, hogy a kibocsátási jogosultságokat az állam szétosztja, és ha egy vállalkozás kevesebbet emittál a számára megengedett illetve kiutalt mértéknél, az így megtakarított kibocsátási egységeket értékesítheti, és a vevő ezáltal megszerzi a jogot arra, hogy az ő részére kiutalt vagy meghatározott mennyiségnél többet emittálhasson. Alapjában véve az államilag meghatározott kibocsátási mennyiség mértéke ugyan változatlan marad, viszont a kibocsátási jogosultságokkal való kereskedelem gazdaságilag optimálisabb eredmények eléréséhez vezethet. A széndioxid kereskedelem első két periódusában az állam ingyenesen allokkálta a kapacitások függvényében a széndioxid kvótákat a piaci szereplők részére (EK, 2009).

A CO<sub>2</sub>-kereskedelem 2013-tól érvényes harmadik allokációs időszakban a piaci szereplőket egyre inkább foglalkoztatja, hogy a kvóta lefedettséggel összefüggő pluszköltség a villamos energia árban figyelembe vételre kerül-e, vagy nem. Amennyiben figyelembe veszik, az milyen mértékű lesz, illetve biztosított-e teljes vagy legalábbis részleges költségterítés. További fontos kérdés, hogy milyen stratégiákat kellene alkalmazni az emelkedő CO<sub>2</sub>-kvótaárak ellen. Mindezek a villamos energiatermelő ágazatot nagy kihívások elé állítják. Különösen azért, mert hosszú távra orientált ágazatról van szó, ahol a beruházási ciklusok is megfelelően hosszúak.

Tanulmányom egy olyan hosszú távú stratégiai modellt mutat be, mellyel a jelenlegi CO<sub>2</sub> kvótaárak a 2016-2020-as vizsgált időszakra hedzselhetők, azaz a hátrányos ármozgással szembeni védelem, a portfóliók időbeli ingadozásának mérséklése egy kívánt árszint meghatározásával megvalósítható.

#### **A CO<sub>2</sub> kibocsátás kereskedelem háttere**

A kibocsátás-kereskedelem alapfogalma az USA-ból származik, ahol több különbözőképpen működő kibocsátási rendszer működik, melyeknek gyakorlati és elméleti kérdései a különböző szakértőket intenzíven foglalkoztatták az elmúlt időszakban, többek között az üzemanyagok ólomtartalmának csökkentése és a NO<sub>x</sub> költségvetési program kapcsán (Tietenberg, 2014). Európában 2005-től került bevezetésre, mint a globális klímaváltozás csökkentésének szabályozó eszköze. A kibocsátás-kereskedelem alapja az egyes országokra kiszabott

üvegházhatású-gázok kibocsátási mértékének kvótákban történő mennyiségi korlátozása. Ha a termelők kibocsátása nagyobb, mint a részükre kiosztott kvóta mennyisége, akkor annak lefedésére kvótát kell, hogy vásároljanak. Egységnyi kvóta 1 tonna széndioxid kibocsátásának felel meg. A CO<sub>2</sub> kvóta piaci ára nagymértékben függ a kereslet-kínálat alakulásától. Az első kereskedelmi periódusban (2005-2007) 0-23 EUR között változtak az árak, míg a második kereskedelmi periódusban (2008-2012) 27 és 3 EUR között mozogtak.

A energia-termelőknek a 2005-2007-es első allokációs időszakban a villamosenergia-termeléshez szükséges CO<sub>2</sub>-kvótákat ingyenesen, ill. a 2008-2012-es második allokációs időszakban nagy mértékben ingyenesen bocsátották rendelkezésére, a 2013-tól érvényes harmadik allokációs időszakban az összes szükséges CO<sub>2</sub>-kvótát meg kell vásárolniuk. Így most már a „virtuális” költség igazi költséggé alakul át a megfelelő eszközfelhasználással. Ez a termelés fajtájától függően a berendezések üzemeltetőit különféleképpen érinti. Kibocsátásmentes vagy kevés kibocsátással járó termelési fajták esetén, pl. víz- vagy gázerőművek, nincs terhelés, vagy csak nagyon kis mértékű. Az intenzív kibocsátással járó villamosenergia-termelési fajták - mint pl. a barnaszén-alapú villamosenergia-termelés - számára ez plusz teher, amely sokkal magasabb is lehet, mint a tulajdonképpeni tüzelőanyag-költség.

A kibocsátás-kereskedelem jelenlegi piacbázisú kezdeményezése a levegőszennyezés állami kormányzati utasít és ellenőriz („command and control”) eszközök mérséklésének illetve megszüntetésének tradicionális és szigorú alap gondolatából ered, vagyis abból, hogy a hatóság az emisszió felső határértékét állapítsa meg, majd ellenőrizze azok betartását. Elméleti tanulmányok rámutatnak arra, hogy a meghatározott normák betartatását lényegesen kisebb költséggel lehet elérni, mint a hagyományos „command and control” kezdeményezéssel.<sup>1</sup>

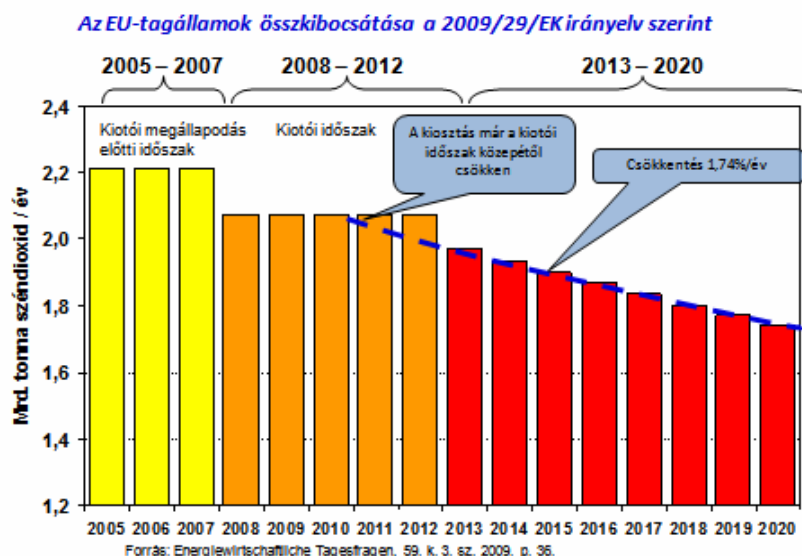
A kibocsátás-kereskedelem energiagazdaságra gyakorolt széles körű hatásaival a rendszer bevezetése óta foglalkozom. Tapasztalataim szerint a különböző - egyik oldalon (környezet-)politikai és a másikon gazdasági - pozíciók és érdekek nagymértékben megkeményítették a frontokat. Ezt megerősítette a rendszer működéséről és hatásairól a szakértőkkel, és érintettekkel (a kibocsátás-kereskedelemben szereplő energiagazdaságot képviselőkkel és a nemzeti és európai politikát alakító, valamint a környezetvédelmi szövetségeket képviselő személyekkel) folytatott élénk eszmecsere és interjú. Ezért igyekeztem a kérdést tudományosan megközelíteni, különösen azon villamosenergia-termelők szemüvegén keresztül, akik a kibocsátás-kereskedelem gazdasági hatásaival kényszerülnek megküzdeni, ugyanis a peremfeltételek legalábbis 2020-ig már fixek és mint adott dolgot kell elfogadni.

2013-tól kezdve különösen a sok CO<sub>2</sub>-t kibocsátó barnaszénerőműveket fogja terhelni a CO<sub>2</sub>-kvóták miatti plusz költség. Az erőmű-üzemeltetők számára ezzel olyan alapvető kérdések merülnek fel, mint a jövedelmezőség és a stratégiai orientáció. Ez a CO<sub>2</sub>-kibocsátások csökkentését célzó műszaki optimalizációs beruházások esetén a gazdaságosságát, az alternatív tüzelőanyagok - pl. biomassa - bekeverésének mértékét vagy új erőműépítésbe történő hosszú távú beruházást érinti, egészen a gazdaságosságig és a régi nem hatékony erőművek továbbüzemeltetéséig menően. Időközben a jelenlegi barnaszénerőművek üzemeltetői számára bizonyára világossá vált, hogy az összes műszaki optimalizációs megoldás, amennyiben ezek gazdasági értelemben ésszerűek, a csökkenő jövedelmezőség folyamatát csak kismértékben képesek késleltetni.

Ennek tükrében a berendezések üzemeltetői számára az a kérdés, hogy a piac elvisel-e, azaz a villamosenergia-ár fedez-e és ha igen, milyen mértékű CO<sub>2</sub>-költséget, egyre nagyobb jelentőségű. A jelenlegi erőműveknél meg kell vizsgálni, hogy 2013 után lehet-e még ezeket gazdaságosan tovább üzemeltetni, és új erőművekbe történő beruházásoknál pedig azok kielégítő jövedelmezőségének kérdése merül fel, különösen azért, mert növekvő CO<sub>2</sub>-kvótaárakkal kell számolni. A növekvő CO<sub>2</sub>-kvótaárak nemcsak a politika óhaja, de a

<sup>1</sup> vgl.: Tietenberg, T.: The Evolution of Emissions Trading, 2008

kibocsátás-kereskedelem rendszeréből automatikusan adódnak, mivel az aukcióra kerülő CO<sub>2</sub>-kvóták mennyisége évről évre csökken.



1. ábra: A teljes CO<sub>2</sub>-kvótamennyiség évenkénti kiosztása 2020-ig  
Forrás: Szerzők nélkül, Energiewirtschaftliche Tagesfragen (2009).

Empirikus vizsgálatok azt mutatták, hogy a CO<sub>2</sub>-költséget csak részben lehet a villamosenergia-áron keresztül tovább adni. Azon berendezések üzemeltetőinél, ahol a CO<sub>2</sub>-kvótaigény magasabb, plusz költség keletkezik, amely az árrést szűkíti, így az alacsony CO<sub>2</sub>-költségű berendezések üzemeltetőihez képest viszonylagos versenyhátrány alakul ki. Ez különösen a barnaszénművek üzemeltetőit érinti, hiszen a fajlagos CO<sub>2</sub>-kibocsátási rátájuk az összes villamosenergia-termelő között a legmagasabb.

1. táblázat: Erőműtípusok széndioxid emisszói

Erőműtípus	CO <sub>2</sub> emisszió t/MWh
Barnaszén	1,18
Kőszén	0,83
Szén (általában)	1,01
Olaj	0,75
Gáz	0,51
Gáz (GUD)	0,33
Gáz	0,42
Atomenergia	0
Vízenergia	0
Szélenergia	0

Forrás: Stromerzeugungsarten Quelle: Entnommen aus Seifert (2010)<sup>2</sup>.

<sup>2</sup>Die Tabelle 1 zeigt die durchschnittlichen Emissionen von CO<sub>2</sub> in Tonnen pro erzeugter MWh Strom für die unterschiedlichen Kraftwerkstypen. CO<sub>2</sub>-äquivalente Treibhausgase und nicht auf reiner Stromerzeugung basierende CO<sub>2</sub>-Emissionen wurden nicht berücksichtigt. Für Kohle Gesamt und Gas Gesamt wurde eine Gewichtung von jeweils 50 % veranschlagt.

Az európai CO<sub>2</sub>-kibocsátáskereskedelem a beláthatatlan, de messzire nyúló hatásaival a villamosenergia-termelő ágazatot nagy kihívások elé állítja.

### **CO<sub>2</sub> kereskedelem a gyakorlatban**

Az Európai Unió Kibocsátás-kereskedelmi Rendszere [European Emission Trading System (EU-ETS)] súlyos beavatkozást jelent az energia-intenzív vállalatok, kiváltképp a villamosenergia-termelők üzemgazdasági struktúrájába. Az Európai Unió szándéka az, hogy állami irányítással elérje, hogy a villamosenergia-termelés új irányt vegyen, egészen a CO<sub>2</sub>-mentes, ill. alacsony kibocsátású villamosenergia-termelésig. Ennélfogva a CO<sub>2</sub>-kvóták aukciója egyfajta füstgázadóhoz hasonlít, azzal a különbséggel, hogy nem fixen kalkulálható kulcsot kell fizetni, hanem ennek mértéke erősen ingadozhat és így kevésbé kalkulálható. Az alacsony CO<sub>2</sub>-kibocsátású energia-termeléshez vezető folyamat nem alakítható ki máról holnapra, hanem ez egy hosszú távú folyamat, mivel az európai villamosenergia-termelési struktúra a nagy erőműveivel nemcsak egy tőke intenzív terület, hanem nagyon hosszú távra orientált is. Az erőművi beruházások rendszerint 40 éves, nem ritkán 60 éves időszakra szólnak.

Kutatásaim eredményei alapján az erőmű-üzemeltetők a szükséges CO<sub>2</sub>-kvótamennyiséget származékos ügyleteken keresztül biztosítják maguk számára, rendszerint tőzsdéi kereskedésű határidős ügyletekkel, maximum három éves, az ún. likvid időszakra. Ez egyrészt a gyakorlati mérlegelésekből következik, mert a CO<sub>2</sub>-kvóták maximális kereskedési időszaka a tőzsdén csak három év, és - átláthatósági és likviditási okok miatt - a villamosenergia-termelők a CO<sub>2</sub>-kvótákat túlnyomórészt a villamosenergia-tőzsdén szerzik be. Másrészt a kockázati szempontoknak van nagy szerepe. A kockázati controlling előírásai alapján nyitott pozíciók nem keletkezhetnek, azaz a villamosenergia-értékesítésnek és a termeléshez szükséges CO<sub>2</sub>-kvóták hozzátartozó fedezetének egymással szinkronban kell megtörténnie. Mivel az eddigi gyakorlat szerint a villamos energia szintén csak három évre adható el előre, az ezen túlmenő CO<sub>2</sub>-kvóták hedzselése fedezetlen lenne és árkkockázatnak lenne kitéve.

Ha a likvid időszakra vonatkozó hedzselés eddigi gyakorlata az első és a második allokációs időszakra még elegendő is volt, azonban meggyőződésem szerint a harmadik allokációs időszakban paradigmaváltásra lesz szükség a CO<sub>2</sub>-kvóták hosszabb távú hedzselése érdekében. Ugyanúgy önmagában zárt vagy nagymértékben zárt volt az első és második allokációs időszak, a megszokott hedzseléshez illeszkedő három ill. ötéves időtartammal. A harmadik kibocsátási időszakot nyolc évre bővítették, ezáltal több mint kétszer olyan hosszú, mint a CO<sub>2</sub>-kvóták likvid időszaka. Ráadásul az első két kiosztási időszakban a CO<sub>2</sub>-kvótákat még ingyenesen, ill. nagymértékben ingyenesen osztották ki. A harmadik allokációs időszaktól kezdve az összes CO<sub>2</sub>-kvótát meg kell vásárolni, ezáltal aránytalanul növekszik az érintett erőmű-üzemeltetők számára a jövedelmezőség kockázata, aminek oka a CO<sub>2</sub>-kvóták növekvő árára vezethető vissza.

### **Alkalmazott módszerek és megválaszolendő kérdések**

Kutatásom során egy olyan hosszú távú stratégiai modell kifejlesztésére összpontosítottam, amellyel a jelenlegi CO<sub>2</sub>-kvótaárak a 2016-2020-as vizsgált időszakra hedzselhetők. Impliciten a 2012. évet feltételezzük kiinduló évnak. Ebből kifolyólag a 2013-2015 közötti időszak a likvid időszak, amelyben a szükséges CO<sub>2</sub>-kvóták hedzselése az eddigi gyakorlat szerint történik. Egy ilyen modell relevanciája a hosszú távú ár- és tervezési biztonság igényéből származik. A megtervezett modellel egyrészt ár- és tervezési biztonságot értünk el a CO<sub>2</sub>-kvótaköltség tekintetében a 2016-2020-as vizsgált időszakra, másrészt biztosítjuk a jövedelmezőség megtartását. A 950 MW-os Mátrai Barnaszénerőmű (Visonta/Magyarország) példáján mutatom be ezen modell relevanciáját és megvizsgálom, hogy milyen hatást gyakorol 2016-tól kezdve a

CO<sub>2</sub>-kvóták teljes mértékű beszerzése által keletkeztetett plusz költségterhelés a költségstruktúrára és a jövedelmezőségre, a megtervezett hosszú távú modell alkalmazásával és anélkül.

A megtervezett modell a barnaszén-tüzelésű erőművekre vonatkozik, mert ezeket érinti különösen az EU-ETS 2013-tól. Ezeknek zsinórterhelésű erőművekként nagy a kihasználása, és a saját tüzelőanyag-ellátás révén az atomerőmű után a legkedvezőbb költségű villamosenergia-termelésű fajta. Viszont a magas CO<sub>2</sub>-kvótatényező a jövőben hátrányosan hat a versenyképességre, és csökkenti a jövedelmezőséget. A villamosenergia-ár szintjétől függően ez negatív is lehet. Ezért az üzemeltetők körében nagy a bizonytalanság az üzemeltetési költség és a villamosenergia-ár változásának jövőbeli mértékét illetően. Emellett felmerül a további piacképesség kérdése is. Bár az üzemeltetők különféle scenáriókkal számolnak, amikre stratégiákat is kidolgoznak, viszont a piacon mégis inkább várakozó magatartás figyelhető meg. A piacon maradás érdekében a barnaszénerőművek üzemeltetőinek alkalmazkodni kell a megváltozott helyzethez. Ebből adódik, hogy azon jövőbeli stratégiák szerepe értékelődik fel, amelyeknek választ kell adni az alábbi kérdésekre.

- Melyek a barnaszénerőmű rövid- és hosszú távú kockázatai és lehetőségei az EU-ETS alapján 2013-tól kezdve?
- Milyen hatással van a CO<sub>2</sub>-kereskedelem 2013-tól a barnaszénerőművek költségstruktúrájára?
- Hogyan és milyen mértékben kompenzálódik a plusz CO<sub>2</sub>-költség 2013-tól a villamos energia árán keresztül?
- Mely stratégiai opciókkal számolhat egy barnaszénerőmű piacképességének biztosítása érdekében, különösen 2016-tól?
- Hogyan hatnak a különféle CO<sub>2</sub>-stratégiák a jövedelmezőségre?
- Hogyan egyenlíthetők ki a CO<sub>2</sub>-kvóták ingadozó árai és ezáltal hogyan érhető el nagyobb tervezési biztonság?

Tanulmányomban a Mátrai Barnaszénerőmű (Visonta/Magyarország) példáján keresztül törekedtem a kérdésekre választ adni és a barnaszénerőmű-üzemeltetőknek a megváltozott helyzetből adódó lehetséges jövőbeli viselkedését bemutatni.

A saját tüzelőanyag-ellátással rendelkező barnaszénerőművek hasonló struktúrája révén az eredmények példaszerűnek tekinthetők az összes többi európai barnaszénerőmű számára, és így alapvető jelentőségűek.

A kibocsátás-kereskedelemben résztvevő 27 EU-tagállamból 10-ben fedezik a villamosenergia-igény nagy részét barnaszénerőművek. Ezekben az országokban összesen 57 db, egyenként 200 MW fölötti kapacitású barnaszénerőmű áll kerekén 61.000 MW beépített összkapacitással a villamosenergia-ellátás fedezésére rendelkezésre.

### **A elért eredmények**

A CO<sub>2</sub>-kvótakereskedelem bevezetése óta a villamosenergia-ár képzésének súlypontja annak a kérdésnek a vizsgálatán van, hogy a CO<sub>2</sub>-kvóták költsége a villamos energia árában mennyire vannak figyelembe véve. Erre építve egy olyan modellt terveztem, amely lehetővé teszi a CO<sub>2</sub>-kvóták jelenlegi árainak hosszú távra, azaz a 2020-ig tartó teljes harmadik allokációs időszakra történő hedzselését. Mivel a 2013-2015-ös időszak az általánosan érvényes szabályok szerint hedzselhető, itt egyértelműen az ezen túlmenő, a 2016-2020 közötti időszak van a fókuszban. A modell kifejlesztésekor különös súlyt fektettem a kockázati controlling igényeire is, miszerint nem keletkezhetnek fedezetlen, azaz nyitott pozíciók.

A modell kifejlesztésével párhuzamosan a piaci szereplők látásmódjának feltérképezésére egy átfogó kérdőív alapján szakértőket is megkérdeztem a piaci szereplőknek az EU-ETS-ről és a hosszútávú hedzselés igényéről alkotott véleményükről. A modell gyakorlati

működőképességét a Mátrai Erőmű (Visonta/Magyarország), mint reprezentatív barnaszén-erőmű hosszú távú terve alapján mutatom be a hozzá kapcsolódó üzemgazdasági hatásokkal.

### A CO<sub>2</sub>-kvótaköltségének hedzselésére kifejlesztett modell, a 2016-2020 közötti időszakra

A villamosenergia-termelőknél szokásos CO<sub>2</sub>-kvótaárhedzselési módszerek csak az előre három évre történő tőzsdei kereskedési időszakot ölelik fel. A dolgozatban bemutatott modell lehetővé teszi az aktuális áraknak a három éves időszakon túlmenő hosszabb időszakra, tehát a harmadik allokációs időszak utolsó, 2020-as évének végéig történő hedzselését. Ebben az esetben a hedzselés a CO<sub>2</sub>-kibocsátások költségének csak arra a részére történik, amelyet a villamosenergia-ár nem fedez, az ún. viszonylagos versenyhátrányra. Ezáltal különösen a kockázati controlling követelményeit vesszük figyelembe, miszerint spekulációs indokok alapján nyitott pozíciók nem állhatnak elő.

Az általános gyakorlat szerint a villamosenergia-termelők a szabad termelési kapacitásaikat három évre előre eladják. A villamosenergia-értékesítéssel egyidőben a termeléshez szükséges CO<sub>2</sub>-kvóták tőzsdei beszerzése is megtörténik. A kockázati controlling követelményeinek megfelelően ezzel bezárultak a pozíciók és az árrés ill. a jövedelmezőség biztosított. A CO<sub>2</sub>-kibocsátások ezen felül történő hedzselése nyitott pozíciónak tekintendő és így a kockázati controlling szempontjai szerint nem megengedett. Az első ill. a második allokációs időszak három ill. öt év volt. Ennyiben illeszkedtek ezek az időszakok a tőzsdei kereskedésű ill. likvid időszakokhoz. Hozzájön még, hogy a villamosenergia-termelők ingyenesen, vagy nagymértékben ingyenesen kapták meg a CO<sub>2</sub>-kvótájukat, a CO<sub>2</sub>-kvótaköltség további hedzselésére ebből kifolyólag nem volt szükség.

A harmadik allokációs időszakot azonban nyolc évre meghosszabbították és az energia-termelőknél a szükséges CO<sub>2</sub>-kvótáikat 100%-ban a piacon kell megvásárolniuk. Ezáltal a peremfeltételek alapvetően változnak meg. Különösen érinti ez a magas kibocsátási rátájú villamosenergia-termelőket, mint pl. a barnaszén-erőműveket. Tudományos vizsgálatok szerint a CO<sub>2</sub>-költség egy részét a villamosenergia-ár a költségáthárítási tényezőn keresztül visszatéríti. Azon barnaszén-erőműveknél, amelyek fajlagos CO<sub>2</sub>-kibocsátási tényezője a költségáthárítási tényező fölötti, a fajlagos CO<sub>2</sub>-kibocsátási tényező és a piaci költségáthárítási tényező különbsége mértékéig versenyhátrány keletkezik.

$$\text{COMT} = (\text{CO}_2\text{F}_t - \text{PFT}) \times \text{EMGepl}_t$$

Ahol:

- COMT a szükséges CO<sub>2</sub> kibocsátási egységek mennyisége a kiválasztott időszakban
- CO<sub>2</sub>F<sub>t</sub> a barnaszén erőművek kibocsátási tényezője, (1,18)
- PFT a piaci által elvárt kibocsátási tényező (0,51),
- EMGepl<sub>t</sub> a tervezett lefedett villamosenergia mennyisége (MWh) ugyanebben az időszakban,
- (CO<sub>2</sub>F<sub>t</sub> - PFT) a relatív versenyhátrányt kifejező tényező

Ha az erőmű 2016-ban tervezett termelése 3492 GWh, akkor a versenyhátrány csökkentésének költsége a következő lesz.

$$\text{COM}_{2016} = (\text{CO}_2\text{F}_{2016} - \text{PF}_{2016}) \times \text{EMGepl}_{2016}$$

$$\text{COM}_{2016} = (1,18 - 0,51) \times 3.492.000$$

$$\text{COM}_{2016} = 0,67 \times 3.492.000$$

$$\underline{\text{COM}_{2016} = 2.339.640}$$

A piaci tendenciákhoz való igazodás érdekében szükséges beállítani a kívánt árrést is.

$$\text{MM}_t \leq \text{VE}_t - \text{VK}_t - \text{CO}_2\text{K}_t$$

Az előző példa paramétereinek alapján a barnaszénerőmű szabadon eladja 2015-ig az energiát. A várható eladási ár 55€ / MWh, de szeretnének elérni egy minimális 10€ / MWh árrést. A középtávú terv alapján arra számítanak, hogy aváltozóköltés38€ perMWh2015évre.

$$\begin{aligned} MM_{2015} &\leq VE_{2015} - vK_{2015} - CO_2K_{2015} \\ 10 &\leq 55 - 38 - CO_2K_{2015} \\ 10 &\leq 17 - CO_2K_{2015} \\ 10 + CO_2K_{2015} &\leq 17 \\ CO_2K_{2015} &\leq 7 \end{aligned}$$

Ahhoz, hogy a minimális 10€ árrést elérjék az szükséges, hogy ajövöben egy tonnaCO<sub>2</sub>ára ne haladjon meg a 7 € -t.

A modell a barnaszénerőmű-üzemeltetők számára lehetővé teszi az individuális versenyhátrányuk, tehát a költségáthárítási tényező és a fajlagos kibocsátási ráta közötti különbségnek a teljes harmadik allokációs időszakra történő hedzselését. A 2012. évből kiindulva a villamosenergia-termeléshez szükséges CO<sub>2</sub>-kvótákat 2013-2015-re a villamos energia értékesítésével egyidőben lehet hedzselni. A 2016-2020-as évekre a hosszú távú terv szerinti villamosenergia-termeléshez szükséges CO<sub>2</sub>-kvóták hedzselése csak a versenyhátrány mértékéig történik, évről évre gördülő módon, a villamosenergia-tőzsdén keresztül. Erre az időszakra nincs villamosenergia-értékesítés a likviditási hiány miatt. Mivel a versenyhátrány mértékének megfelelő CO<sub>2</sub>-kvótagény a teljes CO<sub>2</sub>-kvótagénytől külön van választva és nem korrelál a villamos energia árával, a nyitott pozíció érve megszűnik. Ezáltal a versenyhátrány mértékű hedzselés nem spekuláció és így a kockázati controlling követelményeivel konform.

2. táblázat: Fizetési forgalom gördülő határidős szerződéseknél 2020-ig

	2012	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Összesen
Kvótánkénti Forward ár	8,00	15,00	17,00	19,00	21,00	22,00	0,00	
Kvótamennyiség Mill.	11,70							
<b>Kiadás</b>		<b>93,6</b>	<b>175,5</b>	<b>159,12</b>	<b>131,86</b>	<b>96,39</b>	<b>47,96</b>	<b>704,43</b>
Visszatartott kvótánkénti ár		0,00	<del>15,00</del>	17,00	19,00	21,00	22,00	
Visszatartott kvóta Mill.		0	2,34	<del>2,42</del>	2,35	2,41	2,18	
<b>Visszatartott kvóták értéke</b>		<b>0</b>	<b>35,1</b>	<b>41,14</b>	<b>44,65</b>	<b>50,61</b>	<b>47,96</b>	
Felesleges kvóták értékesítési ára		15,00	17,00	19,00	21,00	22,00	0,00	
Felesleges kvóták értékesítése		11,70	9,36	6,94	4,59	2,18	0	
<b>Bevétel</b>		<b>175,5</b>	<b>159,12</b>	<b>131,86</b>	<b>96,39</b>	<b>47,96</b>	<b>0</b>	<b>610,83</b>
<b>Bevétel/Kiadás szaldó</b>		<b>81,9</b>	<b>-16,38</b>	<b>-27,26</b>	<b>-35,47</b>	<b>-48,43</b>	<b>-47,96</b>	<b>-93,6</b>

A megtervezett modell azon villamosenergia-termelők számára nyújt gyakorlati hasznot, amelyek kibocsátási rátái a költség-áthárítási tényezőt meghaladják. A modell alkalmazásával a teljes harmadik allokációs időszakra kapnak hosszú távú ár- és ezzel együtt tervezési biztonságot. A CO<sub>2</sub>-kvóták ingadozó és emelkedő árai kiküszöbölésre kerülnek, az erőmű jövedelmezősége pedig megmarad.

Az általam elvégzett szakértői közvélemény-kutatások 2013 január-márciusi időszakban történtek. Ebben az időszokban éppen kezdetét vette a harmadik allokációs időszak és ebből kifolyólag kevésbé volt kutatott. Összesen 12 szakértőt kérdeztem meg az energia-termelés, az energia-ellátás és -kereskedelem, valamint a tanácsadás területén. Az Európai Kibocsátáskereskedelem (EU-ETS) és a CO<sub>2</sub>-kvótaköltség hosszú távú hedzselésének viszonylag új tematikája miatt, amely végül is a CO<sub>2</sub>-kvótaköltségnek a 2016-2020-as időszakra történő hedzselése érdekében a megtervezett modellhez vezetett, csak kevés szakértőt lehetett

megkérdezni. Az interjúra három szektorra osztott kérdőív készült, amely a dolgozatban bemutatásra került.

A kérdőív az alábbi súlyponti kérdésekre koncentrált:

- A villamosenergia- és a CO<sub>2</sub>-kvóta-árak korrelációja
- A hedzselési módszerek relevanciája és kockázatai
- A lehetséges hedzselési koncepciók értékelése

A CO<sub>2</sub>-kibocsátáskereskedelmet és ennek az érintett vállalatok jövedelmezőségére gyakorolt hatásait egyrészt tudományos szemzőgből, másrészt gyakorlati szempontból, példákon keresztül és nem utolsó sorban a kiválasztott eseti példa alapján mutatom be. A dolgozatban kifejlesztettem egy modellt, amely olyan erőmű-üzemeltetők számára, amelyek CO<sub>2</sub>-kibocsátási tényezője a költségáthárítási tényezőtől magasabb, megadja annak lehetőségét, hogy versenyhátrányukat a 2020-ig tartó teljes harmadik allokációs időszakra megszüntessék.

Bár tudományos körökben tárgyalják a CO<sub>2</sub>-kvótaárak hedzselését és ez bevett gyakorlat is a kibocsátáskereskedelem szereplőinél, de csak a tőzsdei három éves kereskedési időszakra. A 2020-ig tartó allokációs időszakot teljesen lefedő speciális hedzselés viszont nem ismert. A harmadik allokációs időszak megváltozott peremfeltételeire - meghosszabbított időszak és az összes szükséges CO<sub>2</sub>-kvóta teljes egészében történő megvásárlása - az erőmű-üzemeltetők máig nem kielégítő mértékben reagáltak.

A dolgozatban sikerült igazolni, hogy a CO<sub>2</sub>-kvótaárak három éves hedzselése a harmadik allokációs időszakban már nem felel meg a követelményeknek, mert nem nyújt elegendő ár- és tervezési biztonságot.

### ***Paradigmaváltás szükségessége az új peremfeltételek miatt***

Az elején feltett kutatási kérdések az Európai Kibocsátás-kereskedelem elméleti hátterére és arra a megváltozott helyzetre koncentráltak, amelynek a barnaszénerőművek a harmadik allokációs időszak új peremfeltételei miatt vannak kitéve. Alapos elméleti vizsgálatok segítségével a dolgozatban sikerült bemutatni, hogy az Európai Unió által bevezetett kibocsátás-kereskedelem lényegesen alkalmasabb a CO<sub>2</sub>-kibocsátások globális csökkentésére, mint az egyéb elméleti fejtegetések. Ebből a szempontból a piaci alapú kvótakereskedelemnek a cél elérése érdekében történő bevezetése következetes és így iránymutató.

Vizsgálataim tüzetesen foglalkoztak a harmadik allokációs időszak barnaszénerőművekre gyakorolt hatásaival. Az elméleti és gyakorlati ismeretek segítségével megállapítható volt, hogy a barnaszénerőművek a konkurens erőművekhez képest különösen hátrányban vannak. Egyrészt az összes szükséges CO<sub>2</sub>-kvóta teljes egészében történő megvásárlásával, másrészt, mert a versenyhátrány növekvő CO<sub>2</sub>-kvótaárakkal aránytalanul megnő. Ez ellentétes az első és második allokációs időszakokkal, ahol a CO<sub>2</sub>-kereskedelem hatásai a barnaszénerőművekre nem voltak vagy nem egyértelműen voltak érezhetőek. A vizsgálataim és a vállalatoknál és szakértőknél folytatott közvélemény-kutatásaim arra engednek következtetni, hogy ez a felismerés még nem eléggé érvényesült a piaci szereplőknél, így ezek eddig nem készítettek ellenstratégiákat és nem hoztak intézkedéseket.

*Kutatásaim igazolták, hogy az Európai Unió által bevezetett kibocsátás-kereskedelem (EU-ETS) a CO<sub>2</sub>-kibocsátáscsökkentést a lehető legkisebb költség mellett biztosítja és ezáltal hatékonyabb, mint a piacgazdaságba történő állami beavatkozások és a tulajdoni jogok elméleti szempontjai.*

Egy valamilyen maximális kibocsátási mennyiség és a kiadott CO<sub>2</sub>-kvóták szabad kereskedelmi lehetőségének lerögzítésével az Európai Unió által a globális CO<sub>2</sub>-



kibocsátáscsökkentés érdekében bevezetett kibocsátás-kereskedelem hatékonyabb, mint egyfajta adózási megoldás vagy a tulajdoni jogok elosztása, amelyet tárgyalásos megoldás követ. A piaci szereplőket ösztönzi a CO<sub>2</sub>-kibocsátásaiknak alacsonyabb kibocsátású technológiákba történő beruházások vagy alacsonyabb szintű termelés révén történő csökkentése. Mérlegelés történik a megfelelő technológiába történő beruházás költsége ill. a csökkentett termelés miatti elmaradt nyereség és a megtakarított CO<sub>2</sub>-kvóták eladásából származó árbevétel között. A piaci szereplők először is a kibocsátás elkerülésének legegyszerűbb és legolcsóbb fajtáját hajtják végre, mert a megtakarított CO<sub>2</sub>-kvóták eladásából származó bevétel és az elkerülési költség közötti különbség a legnagyobb. A CO<sub>2</sub>-kvótaáraknak a szabad kereskedelmen keresztül történő automatikus képzésével azt érzük el, hogy az eladásból származó árbevételek és az elkerülési költség közötti különbség mindig pozitív, amíg a kívánt és rögzített legmagasabb kibocsátási mennyiséget el nem érik. A kibocsátás-kereskedelem ezen piaci alapú szempontja biztosítja a CO<sub>2</sub>-kibocsátáscsökkentést a lehető legkisebb költséggel.

Ellenben a CO<sub>2</sub>-kibocsátás adózással történő csökkentése nem olyan hatékony, mert nem piaci alapú. Kibocsátás-csökkenés csak akkor lehetséges, ha a választott adókulcs magasabb mint az elkerülési költség. Információhiány miatt nem lehet az adókulcs optimális mértékét meghatározni, hogy ezáltal a legkisebb költség mellett váljon lehetővé a kibocsátás-csökkentés. Szintén rosszabb határfokú a tulajdoni jogok felosztásának és a magánkereskedelmi megoldás szempontja a nagyszámú kereskedelmi partner miatt.

Míg az egyéb villamosenergia-termelési fajták átlagos CO<sub>2</sub>-kibocsátási tényezője 0 kg/kWh és 0,83 kg/kWh közötti, addig a barnaszénművek átlagos CO<sub>2</sub>-kibocsátási tényezője 1,18 kg/kWh. Mivelhogy az összes villamosenergia-termelési fajtára egységes villamosenergia-ár érvényes, az EU-ETS miatt a barnaszénművek üzemeltetőinek termelt kilowattóránkénti költségráfordítása magasabb.

Az első és második allokációs időszakban az EU-ETS által okozott gazdasági hátrányokat nem kellett viselni, mert a villamosenergia-termelők CO<sub>2</sub>-kvótaigényüket ingyenesen, ill. nagymértékben ingyenesen kapták meg. Csak a 2013-ban kezdődött harmadik allokációs időszakkal kell a villamosenergia-termelőknek a CO<sub>2</sub>-kvótaigényüket teljes egészében megvásárolni. Így válik a kalkulált költség tényleges költséggé. *Az EU-ETS a barnaszénműveket különösen sújtja. 2013-s évtől kezdve a villamosenergia-termelés egyéb fajtáihoz képest különösen hátrányba kerültek, mert náluk a legmagasabb a termelt kilowattóránkénti CO<sub>2</sub>-kibocsátási tényező.*

A villamosenergia-árak az ún. költségáthárítási tényezőn keresztül a CO<sub>2</sub>-árak változásaira reagálnak. Ez ugyan pótolja a plusz CO<sub>2</sub>-kvótaköltséget, a barnaszénművek számára viszont a pluszköltséget nem teljes terjedelmében, mert ezek kibocsátási tényezője a piaci adottságú költségáthárítási tényezőtől magasabb. Különösen az atomerőművek, amelyek a zsinórterhelésű tartományban a konkurens erőművek, profitálnak a CO<sub>2</sub>-kvóták növekvő áraiból. Nulla kibocsátási tényező esetén nem kell CO<sub>2</sub>-kvótát venniük, viszont részesednek a növekvő CO<sub>2</sub>-árak által kiváltott villamosenergiaár-emelkedésből. A gázerőműveknél a növekvő CO<sub>2</sub>-kvótaárak mindamelllett nagymértékben semleges hatásúak, mivelhogy a kibocsátási tényezőjük a költségáthárítási tényezőn vagy annak közelében van. *Növekvő CO<sub>2</sub>-kvótaárakkal aránytalanul növekszik a barnaszénművek kikényszerített versenyhátránya az egyéb hagyományos villamosenergia-termelési fajtákhoz képest.* (Hauck, 2011)

Vizsgálataim megerősítették, hogy az egyes villamosenergia-termelési fajták közötti konkurencia-szerkezet tartósan meg fog változni a barnaszénművek különös hátrányára. Egyrészt a 2013-ban kezdődött harmadik allokációs időszak paradigma-váltása, miszerint az összes szükséges CO<sub>2</sub>-kvótát meg kell vásárolni, másrészt a CO<sub>2</sub>-kvóták mesterségesen növekvő árának szisztematikája miatt. Mindez, a végrehajtott szereplőket gondolkodás-váltásra készíti, és új módszereket kell a versenyhátrányuk csökkentésére kidolgozniuk.

### Új modell kifejlesztése a CO<sub>2</sub>-kvótaárak hosszú távú hedzselésére

*A CO<sub>2</sub>-kvótaáraknak maximum három évre történő szokásos hedzselése az első allokációs időszakban (2005-2007) és a második allokációs időszakban (2008-2012) még elegendő volt, de a harmadik allokációs időszakra (2013-2020) már nem célravezető, mert ennek az allokációs időszaknak a futamideje összesen nyolc év és ezen felül nincs már ingyenes kiosztás.*

A vállalatok a CO<sub>2</sub>-kvóták ingadozó áraival szemben rendszerint határidős ügyletekkel biztosítják be magukat. A tőzsdén kereskedhető ezen termékek futamideje maximum három éves időszakot fog át, ez az ún. likvid időszak. Jelen dolgozatban megmutattam, hogy ez a fajta hedzselési szisztematika az első és második allokációs időszakra megfelelő és ésszerű volt, mert a két időszak futamidejével megegyezett és azért is, mert a termelési folyamathoz szükséges CO<sub>2</sub>-kvótáknak csak viszonylag kis részét kellett hedzselni. Ezzel lett megszüntetve a CO<sub>2</sub>-kvóták árkockázata, ill. ezzel sikerült korlátozni.

A dolgozatban részletesen bemutatott vizsgálatok eredménye, hogy a harmadik allokációs időszakban a maximális három éves hedzselés már nem elég, mert ebben az esetben az árkockázatot már nem lehet teljes egészében kikapcsolni. A harmadik allokációs időszak nyolc évet fog át és így a maximális hedzselési időszakot öt évvel haladja meg. Így a nem hedzselte időszakokra túlzott árkockázatok keletkeznek. Ezek a paradigmaváltás miatt még erősödnek is, miszerint a harmadik allokációs időszaktól kezdve megszűnik az ingyenes kiosztás és így az összes szükséges CO<sub>2</sub>-kvótát meg kell vásárolni.

Tanulmányozásaim eredményeiből az a következtetés vonható le, hogy az érintett piaci szereplők ezt az ismeretet még nem kielégítő mértékben valósították meg. Ez könnyen meglehet, mert a harmadik allokációs időszak még csak most kezdődött és közvetlen cselekvési nyomás még nem alakult ki.

A vállalatok a CO<sub>2</sub>-kvótaárakat hosszú távra ma még nem biztosítják be. A dolgozat készítése folyamán kifejlesztettem egy olyan modellt, amely a felhasználónak lehetővé teszi, hogy a termelési folyamathoz szükséges CO<sub>2</sub>-kvótáit a teljes nyolc éves harmadik allokációs időszakra hedzselje és ezáltal az árkockázatait semlegesítse. A fejlesztési folyamatot és a modell struktúráját a dolgozatban részletesen bemutattam és kifejtettem. Ezen felül az inputparaméterek levezetésére függvény-egyenleteket fejlesztettem ki, amelyek a jobb megértést szolgálják és a modellt megfoghatóbbá teszik.

A gördülő árhedzselési tulajdonság révén és mert csak a szükséges CO<sub>2</sub>-kvóták azon részének hedzselése történik, amely nem korrelál a villamosenergia-árral, a kifejlesztett modell struktúrájában új és ezáltal új ismeretekkel szolgál a CO<sub>2</sub>-kvótaárhedzselés kutatási területén. Hasonló modellek nem találhatók az irodalomban. Szintén erre a modellre fejlesztettem ki a függvény-egyenleteket, és csak erre alkalmazhatók. A potenciális felhasználók ezen modell segítségével barnaszénerőművük jövedelmezőségét a teljes harmadik allokációs időszakra tudják biztosítani, és a többi hagyományos villamosenergia-termelési fajtával szembeni versenyhátrányt kiegyenlíteni. Ez hasznos eszköznek bizonyul a barnaszénerőművek üzemeltetői számára a CO<sub>2</sub>-árkockázataik minimalizálására. A modell működését és a gyakorlati működőképességét a Mátrai Erőmű ZRt. eseti példáján keresztül teszteltem.

*Igazoltam, hogy egy barnaszénerőmű-üzemeltető a kifejlesztett hosszú távú hedzselési modellel a teljes harmadik allokációs időszakra konstans CO<sub>2</sub>-kvótaárakra és ezzel 2020-ig ismét tervezési biztonságra tesz szert. Amegtervezett új hosszú távú modell csökkenti a barnaszénerőművek azon gazdasági hátrányait, amelyek a harmadik allokációs időszakban az emelkedő CO<sub>2</sub>-árak miatt jelentkeznek.*

A modell alkalmazása a gördülő árhedzselés funkciójával hosszú távú stabil CO<sub>2</sub>-kvótaárakat biztosít és ezáltal semlegesíti az áringadozásokat, amelyek a kibocsátás-

kereskedelem kialakítása miatt állnak elő. A barnaszénerőművek üzemeltetői visszakapják tervezési biztonságukat, és ismét abba a helyzetbe kerülnek, hogy stabil alapon hozhassanak stratégiai döntéseket, pl. az erőmű fenntartásába és bővítésébe történő beruházásokról. Az energia-ágazatban a beruházások jobbra hosszú távra orientáltak, és ezzel együtt a tervezési biztonság fontos és elengedhetetlen tényező. A modell támogatja a felhasználókat a számukra fontos döntéshozatali folyamatban.

Megfelelő kockázati controllingot működtető vállalatoknál nyitott pozíciók elfogadása alapvetően nem engedélyezett. Ebből adódik, hogy az erőmű-üzemeltetők a szükséges CO<sub>2</sub>-kvótaikat csak akkor hedzselik, ha az ennek megfelelő villamosenergia-mennyiséget eladták. Előre ez persze csak a három éves likvid időszakra lehetséges. A vállalatok és szakérték közötti közvélemény-kutatás eredménye, hogy a CO<sub>2</sub>-kvótaárak likvid időszakon túli hedzselése nem történik meg, mindenekelőtt azért, hogy a nyitott pozíciókat elkerüljék. A dolgozat készítése folyamán elkészült modell a harmadik allokációs időszak utolsó évének, 2020 végéig, és ezáltal a likvid időszakon túl teszi lehetővé a CO<sub>2</sub>-kvóták árának bebiztosítását. A modell szerint csak a viszonylagos versenyhátránynak megfelelő CO<sub>2</sub>-kvótaigény van hedzselve. Ezáltal ez az igény a teljes CO<sub>2</sub>-kvótaigénytől lekapcsolódik. A CO<sub>2</sub>-kvóták viszonylagos versenyhátrány mértékű aránya nem korrelál a villamosenergia-árral, azaz független a villamosenergia-ár mozgásaitól. Ha változik a villamos energia ára, a viszonylagos versenyhátrány költsége változatlan marad. Ez nem fedezetlen hedzselés, miáltal a kockázati controlling követelményeivel konform.

*A kockázati controlling szempontjainak különös figyelembe vételével ez a modell a viszonylagos versenyhátrány által érintett barnaszénerőművek üzemeltetői számára praktikusán alkalmazható.*

## **Összegzés**

A kifejlesztett modell a piaci szereplők számára a villamosenergia-termelési folyamathoz szükséges CO<sub>2</sub>-kvóták árának teljes mértékű hedzselését teszi lehetővé, a teljes harmadik allokációs időszakra, 2020-ig, azaz a likvid tőzsdei kereskedési időszakon túlra. Így be tudják biztosítani magukat a környezetpolitikailag kívánatos és az európai kibocsátás-kereskedelem kialakítása szerint létrehozott, növekvő CO<sub>2</sub>-kvótaárakkal szemben. Ezáltal hosszú távú ár- és tervezési biztonságot kapnak és biztosítják jövedelmezőségüket. A járulékos hatás a kockázat minimalizálása, mert a hedzselés csak a viszonylagos versenyhátrány mértékében történik. Ez lehetővé teszi a hedzselésnek a kockázati controlling követelményeivel konform végrehajtását. Az olyan áringadozások, amelyek a múltban is megfigyelhetők voltak, eliminálódnak. A barnaszén-, ill. magas CO<sub>2</sub>-kibocsátási tényezővel rendelkező erőműveknek az Európai Kibocsátás-kereskedelem bevezetésével kikényszerített, az egyéb villamosenergia-termelési fajtákhoz viszonyított növekvő pozícióromlása a modell alkalmazásával megszüntethető, ill. a mai állapotban befagyasztható.

A jelentős áringadozásoknak kitett hosszabb távú kötelezettségek leképezése a mérlegben a hedzselési módszerek teljes egészében történő üzemgazdasági vizsgálatának integráns részét képezi. Azonban annak érdekében, hogy a CO<sub>2</sub>-kvóták hosszú távú hedzselési modelljét az érintett piaci szereplőkhöz közelebb vihessük, az egészet lefedő vizsgálati módszerre van szükség. Ebből kiindulva a komplex kérdéskör teljessé tétele érdekében a további kutatások szükségesek a származékos ügyletek mérlegkészítési területén, ami persze a teljes likviditásmenedzsmentet is érinti. Mivel a szükséges CO<sub>2</sub>-kvóták fedezetére jelentős pénzeszközt kell felhasználni, ajánlott és szükséges a villamosenergia-értékesítés bevételei és a CO<sub>2</sub>-kvóták kiadásai közötti szinkronizáció.

**Irodalom**

EUROPEAN ENERGY EXCHANGE (EEX) (2012):

<http://www.eex.com/en/Market%20Data/Trading%20Data/Emission%20Rights/EU%20Emission%20Allowances%20%7C%20Spot> (12. Oktober 2012)

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2004), Richtlinie 2004/101/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 2003/87/EG über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Gemeinschaft im Sinne der projektbezogenen Mechanismen des Kyoto-Protokolls, Amtsblatt ABI. L 338 vom 13.11.2004

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2009): Richtlinie 2009/29/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Änderung der Richtlinie 2003/87/EG zwecks Verbesserung und Ausweitung des Gemeinschaftssystems für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikate, ABI. L 140 vom 5.6.2009, S. 63–87

KYOTO-PROTOKOLL (1998): im Gesetz zu dem Protokoll von Kyoto vom 11. Dezember 1997 zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen, erschienen in der amtlichen deutschen Übersetzung im Bundesgesetzblatt, 2 Mai 2002

STEUWER, DAGMAR SIBYL (2007), Der Europäische Emissionshandel und die Rolle der Europäischen Kommission, ibidem-Verlag, Stuttgart, ISBN 978-3-89821-793-4

TIETENBERG, TOM (2008): The Évolution of Emissions Trading,

[http://www.aeaweb.org/annual\\_mtg\\_papers/2008/2008\\_90.pdf](http://www.aeaweb.org/annual_mtg_papers/2008/2008_90.pdf) (29. Mai 2014)

HAUCK, TORSTEN (2011): Environmental and economic aspects of coalfiring in electric power generation, *Bányászat és Geotechnika*, Miskolci Egyetem, HU ISSN 1417-5398

**Mika János – Csabai Edina – Kovács Attila – Rázi András – Wantuchné Dobi Ildikó**

### **Nap- és szélenergia potenciál becslés Eger térségében**

*A CarpatClim adatbázis- és az ennek elkészítésében fel nem használt, független egri állomás adatai alapján vizsgáljuk a vízszintes felületre érkező napsugárzást és a 10 m-es szint szélességének köbét. Az első cél a rácsponti adatok verifikálása, aminek tapasztalata egyértelműen pozitív a globálsugárzás terén, de negatív a szélenergia vonatkozásában. Az első tapasztalat annak ellenére öröndetes, hogy a rácsponti adatok a napfénytartamból kerültek megállapításra. A szélenergia jelentős felülbecslésének valószínű oka, hogy a rácsponti adatok kényszerűen a nappali három mérésből származnak. Bemutatjuk a havonkénti átlagok és szórások éves menetét. Emellett végeztünk térségi és állomási eloszlásvizsgálatokat, a két mutatóra egyenként, valamint együttesen is. Ez utóbbi vizsgálat tanulsága, hogy általában nem igaz a két energiaforrás kiegészítő jellege, sőt télen kimondottan pozitív korreláció mutatkozik. Végül, elemzzük a rácsponti adatok időbeli trendjeit és megállapítjuk azok statisztikai kapcsolatát az 1976-2005 közötti, monoton melegedő földi klímájú időszakban is.*

*Kulcsszavak:* napenergia, megújuló energiaforrások,  
*Jel-kód:* Q42, Q20

#### **Bevezetés**

Egy térség társadalmi és gazdasági fejlődését többek között olyan természetföldrajzi tényezők is meghatározzák, mint az éghajlat, a domborzat és a víz rendelkezésre állása. E kapcsolatok állnak a középpontjában azon kutatásoknak, melyet az Egri Energia Régió 23 településére és ezek környezetére nézve 2012-ben megkezdtünk a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0016. projekt keretében. Az OMSZ-szal és az MTA CSFK Földrajztudományi Kutatóintézetével közösen kutató terület nagysága 718 km<sup>2</sup>, népessége 2009-ben 92483 fő volt.

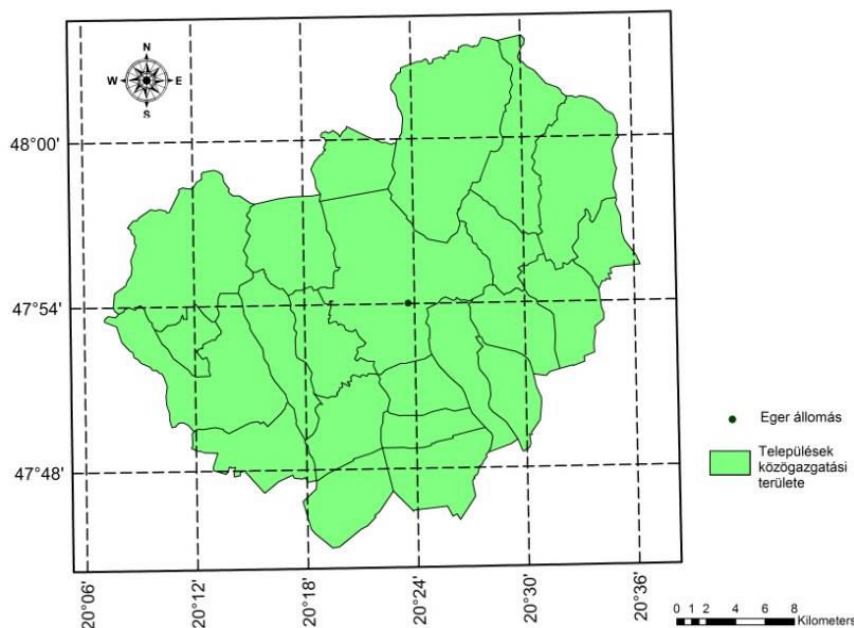
A térség nap- és szélenergia készletét első közelítésben Mika et al. (2014) mutatja be a közelmúlt éghajlati feltételei között. A jelen közlemény ennek kiegészítése két vonatkozásban. Egyrészt számszerűsítjük, hogy mennyiben helytálló az a gyakran hallott feltételezés, hogy a nap- és a szélenergia jól kiegészíti egymást, azaz negatív korrelációt mutat. Ehhez 1961 és 2010 közötti fél évszázad hosszúságú rácsponti adatokat használunk fel.

A második részben pedig a megfigyelt adatokban tapasztalt tendenciák és a félgömbi hőmérséklet közötti statisztikai kapcsolatokat vizsgáljuk. Ehhez az 1976-2005 közötti, az északi féltekén monoton növekedő átlaghőmérséklet és a helyi globálsugárzás (vízszintes felületre eső napenergia) illetve a szélesség köbe (10 m magasságban mért szélenergiával arányos mennyiség) közötti regressziós kapcsolatokat állapítjuk meg.

#### **Módszertan**

Az alábbiakban az Egri Energia Régiót (1. ábra) tartalmazó, kb. 50x50 km<sup>2</sup> területű négyzetre vonatkozó számításokat végeztük el. A vizsgált területet a 47,6 and 48,1 fok északi szélességgel és a 20,0 és 20,7 fok keleti hosszúsággal jellemezhető sarokpontok határolják. A terület mérete 6x8 rácspont. Az adatokat (www.carpatclim-eu.org) adatbázisból töltöttük le.

Az interpolációt a teljes ország, sőt néhány határon túli, hosszú idősorú állomásai alapján végezték az OMSZ kutatói. A rácsponti adatok 1961 és 2010 között készültek el, de a vizsgálat céljára az 1976-2005 közötti, monoton globális melegedést mutató időszakot használtuk fel, amely az IPCC (2013) Jelentés szerint is emelkedő tendenciát mutat.



1. ábra: Az Egri Energia Régió elhelyezkedése a 0.1x0.1 fokos földrajzi hálózatban. A fekete pont Eger középpontja, míg a vonalak a 23 település igazgatási határait jelölik.

A számításokat változatos domborzatú területre végeztük el. A terület átlagos tengerszint feletti magassága 205 m, de a 48 rácspont magasságának szórása 150 m. A legmagasabban fekvő rácspont 866 méterrel emelkedik a tengerszint fölé, míg a legalacsonyabb rácspont csupán 86 méterrel. A 100 méternél is mélyebben fekvő rácspontok száma 12 (25 %), míg ugyanennyi rácspont 300 méternél is magasabban van. Ezeket a sajátosságokat az interpolációs eljárás figyelembe veszi.

Az állomási adatokat még az interpoláció előtt homogenizálásnak vetették alá (MASH, SZENTIMREY T., 1999). Az alkalmazott interpoláció (MISH, SzentimreyésBihari, 2006)sajátossága, hogy a térbeli korrelációk mellett figyelembe veszi az időbeli kapcsolatokat is. Mindkét eljárás megismerhető a <http://www.carpatclim-eu.org/docs/mashmish/mashmish.pdf>.

Az adatbázisban a globálsugárzást a sugárzási állomások kis száma miatt azAngström formulával (Angström,1924) számolták, amit Prescott(1940) módosított:

$$R_{CC} = \left( 0,25 + 0,50 \frac{n}{N} \right) R_a, \quad (1)$$

ahol:  $R_{CC}$  a globálsugárzás [ $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ],  
 $n/N$  relatív napfénytartam [-],  
 $n$  aktuális napfénytartam [óra],  
 $N$  maximálisan lehetséges napfénytartam (nappal hossza) [óra],  
 $R_a$  légkör külső határára érkező sugárzás [ $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ].

Mika et al. (2014) elvégezte az így kapott globálsugárzás adatok verifikációját Eger állomás adataival a tőle 1 km-nél kisebb távolságra eső rácspontra vonatkozóan 2001 és 2010 között. Az eredmény mind az átlagok, mind a magasabb statisztikai momentumok esetében – erre az egy pontra – kiváló eredményt adott úgy, hogy a rácsponti adatok előállításakor Eger adatait nem vették figyelembe sem a napfénytartam, sem a globálsugárzás vonatkozásában.

A szélesség adatokat ugyancsak országos és határon túli adatokból állították elő az OMSz szakértői. A fentihez hasonló verifikáció Mika et al. (2014) azonban azt mutatta ki, hogy a szomszédos rácspont szélesség-köb adatai jelentősen fölé becslik a tényleges

szélsébséget. A különbség oka az lehet, hogy a rácsponti adatok – a terület egységes kezelése érdekében – csak a nappali órák három mérését tudták felhasználni. A szélsőséges éjszaka kihagyása a szélsőségek napi átlagai tekintetében már bő 25 %-kal túlbecslik a ténylegesen megfigyelt értékeket. Emellett, a megfigyelt 2001-2010 évek és az itt vizsgált 1981-2010 szélsébség-köbei között is számottevő a különbség (lásd később a változás elemzését).

1. táblázat: A rácsponti (CC index) és az Eger állomáson megfigyelt (Obs index) statisztikai mutatók a jelzett időszakokban a globálsugárzás (S: MJ/m<sup>2</sup>/nap) és a szélsébség köbe (F:m<sup>3</sup>/s<sup>3</sup>) mennyiségekre.

Globálsugárzás(MJ/m <sup>2</sup> nap)			Időszak	Szélsébségek köbe (m <sup>3</sup> /s <sup>3</sup> )		
S <sub>CC</sub>	S <sub>C</sub>	S <sub>Obs</sub>		F <sub>CC</sub>	F <sub>CC</sub>	F <sub>Obs</sub>
1981-2010	2001-2010	2001-2010		1981-2010	2001-2010	2001-2010
12,00	12,27	12,06	Átlag	30,07	25,07	19,94
10,67	11,00	10,61	Medián	10,65	10,22	9,26
7,59	8,36	8,44	Szórás	69,29	52,18	34,38
10957	3652	3652	Napok száma	10957	5479	5479

Az egyezés a globálsugárzás esetében megfelelő, viszont a szélsébség köbe erősen túlbecsült, az éjszakai mérések hiányamiatt. (Mika et al., 2014)

### Az instrumentális változók módszere

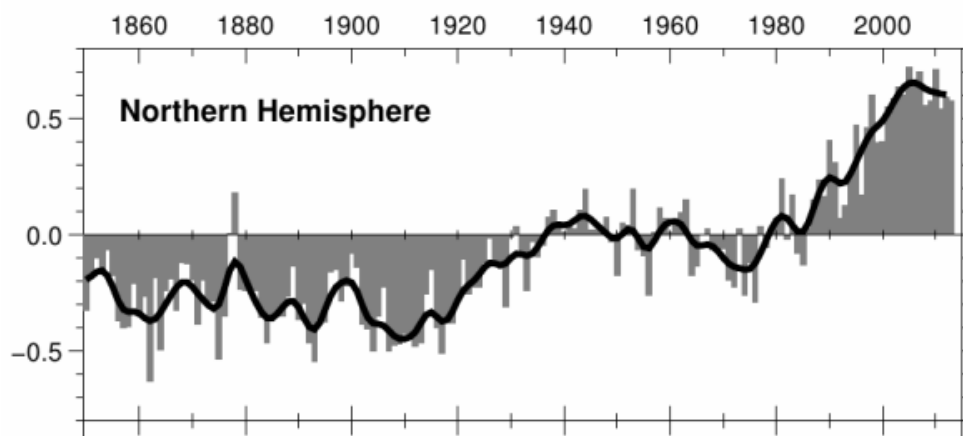
A módszer segítségével egy viszonylag rövid, globálisan melegező időszakban számszerűsítjük a félgömbi átlaghőmérsékleti sorok és valamely helyi adatsor közötti lineáris regressziós kapcsolatot. A vizsgált időszak az 1976 és 2005 közötti 30 év, amikor a félgömbi hőmérséklet erősen melegező (+0,36 K/évtized) trendet mutatott (2. ábra). Az alábbi módszer a szeleltetés módszerének (Mika, 1988) egyszerűsített változata, amely ugyan nem igényel százéves hosszúságú idősorokat, de nincs mód az egyszerű szignifikancia vizsgálatra.

Az egyik lehetséges módja egy lineáris sztochasztikus kapcsolat ( $Y=Y_0+bx$ ) regressziós együtthatója becslésére, az ún. instrumentális változók módszere, amit Groisman és kollégái (Vinnikov, 1986) alkalmaztak először a klimatológiában. Ez az eljárás olyankor ajánlható, amikor korreláció feltételezhető a független változó értékei és a függő változó reziduális értékei között (Körösi et al., 1990). Egy instrumentális változó kritériumai a következők:

- nem-zéró korreláció a független változó megfigyelt értékeivel,
- a korreláció hiánya a független változó hibáival,
- a korreláció hiánya a regresszió maradékaival (hibáival) a független változóban.

Egy Z instrumentális változó esetében a lineáris regressziós együtthatót az alábbi kovarianciák hányadosaként számítjuk ki:

$$b = \frac{Cov(Y, Z)}{Cov(X, Z)} \quad (2)$$



2. ábra: Az északi félgömb átlaghőmérséklete a Kelet-Angliai Egyetem számításai szerint

Forrás: (<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/#sciref>).

(A közölt számítások ezeket az adatokat 1976 és 2005 között használták fel.)

A mi megközelítésünkben az  $X$  független változó a félgömbi átlaghőmérsékletek sorozata (Jones et al., 2012),  $Y$  ahelyi éghajlati elem (esetünkben pl. a globálsugárzás), a  $Z$  instrumentális változó pedig egy 30 elemű vektor, amelynek komponensei 1976, 1977, ..., 2005. Az alkalmazott módszer lehetővé teszi a regressziós együttható torzítatlan, pontszerű becslését. Ugyanakkor nehéz szignifikancia kritériumot megadni ezekhez a pontszerű becslésekhez (Vinnikov, 1986), ami hátrányt jelent a hagyományos regressziós közelítésekkel szemben, melyek azonban hosszabb idősorokat követelnek.

### A globálsugárzás és a napi szélesség adatok korrelációja

#### *Megfigyelt kapcsolatok Eger térségében*

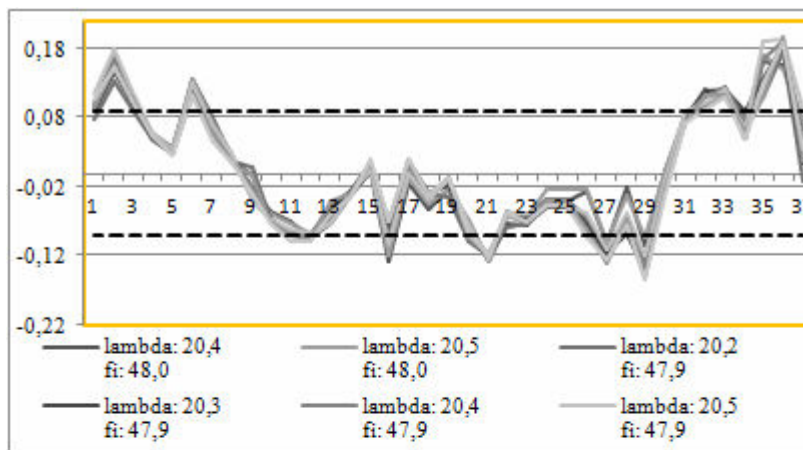
A vizsgálathoz a Carpatclim adatbázis 1961 január 01-től 2010 december 31-ig tartó, 50 éves, napi adatsorát használtuk fel. Először az adatokat dekádokra bontottuk, így harminchat dekád, és egy fél (pentád), egyenként 500 ötszáz (a végén 250) nap adatait tartalmazó időszak állt rendelkezésünkre. Az előállt adatokkal dekádonként korrelációszámítást végeztünk, amelynek a régió belül található rácspontjaira vonatkozó végeredményét a 3. ábra mutatja meg.

Ha igaz lenne az állítás, hogy a hibrid rendszerek egyenletesebb ellátást tudnak biztosítani, akkor a dekádonként számított korrelációk jelentős részének negatív szignifikáns eltérést kellene biztosítani, de ahogy a 2. táblázatban és a 3. ábrán (felül) is látható, erős negatív összefüggés sehol sincs, sőt gyenge negatív kapcsolatot is csak az esetek alig 10%-ában találunk. Összességében, a vizsgált adatok alapján nincs egyirányú összefüggés az adatok között, viszont az évnél téli időszakokban pont a pozitív összefüggés dominál.

2. táblázat: Szignifikáns eltérések száma az összes rácspontra vonatkoztatva

Gyenge pozitív összefüggés	63
Gyenge negatív összefüggés	38
Nincs szignifikáns összefüggés	195





3. ábra: A dekádokra vonatkoztatott korrelációs számítások éves menete az egri kísérleti régióra vonatkoztatva (felül) rácspontként és (alul) az egri pontszerű mérések alapján

Rátérve az egri állomás méréseire, negatív korrelációs együttható ezekben sem jellemzi az adatokat. Mindenesetre, azt leszögezhetjük, hogy a negatív korreláció hiánya nem csak az interpolált széladatok hibás voltának a következménye.

### Szinoptikus magyarázat

Magyarország szélviszonyainak alakításában két fő tényező kölcsönhatása ismerhető fel. Az egyik tényező az általános légkörzés által meghatározott alapáramlás, a másik a helyi domborzati viszonyok módosító hatása. Ezekhez járulnak hozzá a helyi szelek, melyek a földfelszín anyagában, a sugárzásnak kitettségében rejlő különbségek folytán eltérő nappali felmelegedés és éjszakai lehűlés miatt elinduló sűrűségkiegyenlítődések révén alakulnak ki.

A vizsgált térségdomborzata változatos, a szél iránya és sebessége erősen módosul a tengerszint feletti magassággal és a lejtők égtáj szerinti irányultságával. A terület kívül esik az országra jellemző két fő szélcsatornán, az északnyugati-és az északkeleti szélmaximum általi kirajzolt „V” alak közepén, azaz kevésbé szeles területen fekszik (Mersich, 2001.)

*A gyenge téli pozitív korreláció magyarázata.* Ahhoz, hogy megértsük a téli hónapokban a szél és a napsugárzás kapcsolatát, az inverzió témakörét kell először körüljárjunk. Az inverzió fordított hőmérsékleti rétegződést jelent a légkörben, és ilyenkor a magassággal nem csökken, hanem nő a hőmérséklet. Az inverzió jelentősége abban áll, hogy egy ilyen hőmérsékleti rétegződés ebben a rétegben a függőleges irányú légmozgásokat kizárja. Ilyen időjárási helyzetekben alig van légmozgás.

Inverzió ezen kívül melegadvekciónak is gyakran előfordul a Kárpát-medencében. A magasban érkező egyre enyhébb levegő nem tudja kiszorítani a felszín közelében télen legtöbbször meglévő hideg légréteget, hanem fölé csúszik, stabilizálja az inverziót, mintegy termikus falat képezve a légáramlás megindulása előtt. Ilyenkor előfordul, hogy a magasban, a Kékes-tetőn is viharos szél fúj, a hegyek lábainál ezzel szemben meg se rezdül a levegő.

A téli félév gyakori jelensége, az inverzió gyakori látványos jelensége a köd. Legtöbbször az éjszakai kisugárzás hatására alakul ki. Az éjszaka képződő köd az őszi, téli időszakban szél hiányában sokszor nagyon nehezen, vagy egyáltalán nem oszlik föl napközben sem, akár napokig is képes megmaradni. Ilyenkor az egymást követő éjszakákon a ködréteg annyira megvastagodhat, hogy az a felszínről kiinduló sugárzást nem engedi teljes mennyiségben a világűr felé eltávozni. Ezáltal a felszín további lehülése megszűnik, sőt a talaj mélyebb rétegeiből lassan fölfelé érkező hő hatására kissé melegszik is. A kisugárzás döntő része eközben áthelyeződik a ködréteg tetejére, a további lehülés ott folytatódik.

A hőmérsékleti rétegződést ekkor úgy képzelhetjük el, hogy a magassággal fölfelé haladva pár száz méterig csökken a hőmérséklet. A ködréteg fölött kb. 50 m-rel van a leghidegebb rész, e fölött hőmérsékleti ugrás következik be, néhány 10 m-en belül akár 5-10 fokot is emelkedhet a hőmérséklet. Hazánkban 600-1100 m körül alakul ez a szint. A Kárpát-medence sajátossága, hogy a hegyektől körülvett és medence alján könnyen fölhalmozódik ez a hideg, ködös, párás levegő. Az ilyen helyzetet nevezzük *hidegpárnának* (Kovács, 2011).

Anticiklonális időjárási helyzetben a téli félévben néhány nap alatt kialakul a hidegpárna a térségben. Ilyen időjárási helyzetben gyenge szelek, és borús, ködös idő jellemző. Vizsgálatunkban ez pozitív összefüggést mutat a szél és a napsütés között, hiszen legtöbbször egyik elem sincs. A hidegpárnát csak erős hidegfront tudja fölszakítani. Ezt követően a napos és szélcsendes időjárás 1-2 napig szokott előfordulni egy-egy hidegfront átvonulását követően. A légtömeg nyugalomba kerülése után 1-2 nap alatt kialakul a ködös hidegpárna. Vastagabb hóréteggel borított felszín fölött tartósabban is kialakulhat napos, szélcsendes időjárás, de ez a situáció meglehetősen ritka a vizsgált térségben.

Borús és szeles időjárás frontos helyzetben alakulhat ki. Leginkább mediterrán ciklon átvonulásakor. Ez a szinoptikus helyzet rendkívül változatos gyakorisággal fordul elő: akár hónapokig is elkerülhetnek bennünket, de egyes időszakokban akár 2-3 naponta válthatják egymást a mediterrán ciklonok, de ez utóbbi lényegesebben ritkábban fordul elő.

*A nyári negatív korreláció és véletlent meg nem haladó korreláció lehetséges okai.* A nyár a nagy térségű cirkuláció gyengülésének és a kisebb méretű, rövid ideig jelentős szelet okozó, konvektív képződmények időszaka. Bár frontok és ciklonok ebben az időszakban is elérhetik a Kárpát-medencét, jóval ritkábban, mint télen és tavasszal.

Nyáron az erős besugárzás hatására a felszínről származó nedvesség nem tud annyira fölhalmozódni a legalsó légrétegben, mint a téli időszakban, hiszen a fölszálló légáramlások nyomán az elkeveredik a magasabb rétegekben. E miatt nyáron jóval kisebb az átlagos felhőborítottság. Borult időszakokban általában front, vagy ciklon található a térségben, amihez többnyire erős szél párosul. Ez negatív korrelációt eredményez a két paraméter között.

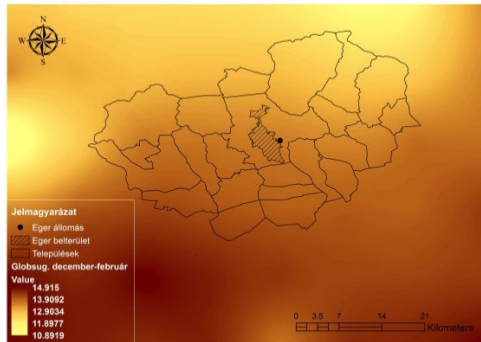
Prefrontális és posztfrontális időjárási helyzetben is jellemzően napos az időjárás, viszont erős (40-60 km/h), akár viharos (60 km/h fölött) lehet a szél, ami pozitív korrelációt okoz a két paraméter között. E helyzetet bonyolítja a konvekcióhoz kapcsolódó légmozgás. Ezek a nap viszonylag rövid időszakában okoznak jelentős szelet (pl. egy zivatar kifutószele).

Frontmentes (napos) időben legfeljebb csak élénk a légmozgás, ez a legjellemzőbb nyári időjárási helyzet. A domborzat hatására eltérő felmelegedés okozta kiegyenlítődő légmozgás a jellemző, ami szintén negatív korrelációt eredményez a két paraméter között.

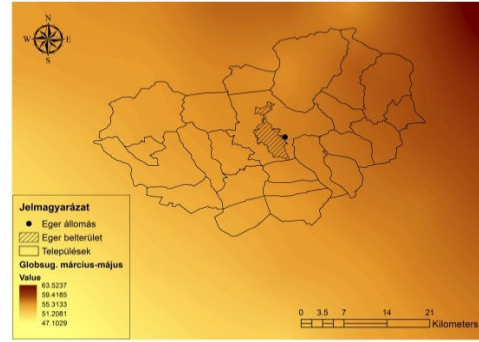
Az őszi időszakra jellemző leginkább a szeles, borongós időjárás, ami együtt jár az országra jellemző második legcsapadékosabb időszakokkal. Nem véletlen, hogy ebben az időszakban fordul elő a legnagyobb negatív korreláció a napsütés és a szélesség között.

### Változások a globálsugárzásban

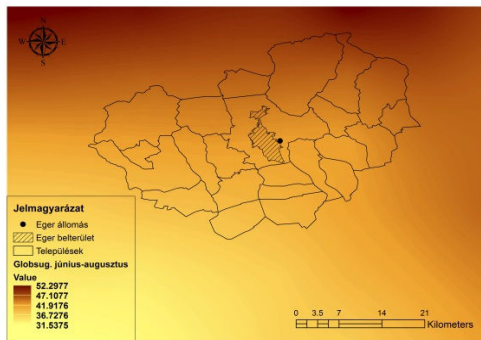
Amint ez a 4. ábrán látható, a globálsugárzás az év folyamán túlnyomó többségben pozitív előjelű kapcsolatot mutatott a félgömbi átlaghőmérséklettel. Csak az őszi évszakban csökkenti a felhőzet tapasztalt növekedése ezeket az értékeket. A téli, tavaszi, nyári illetve őszi értékekre rendre +3,3; +3,9; +2,3 illetve -0,5 %-os változást jelent. Az évi összes változás +2,4%.



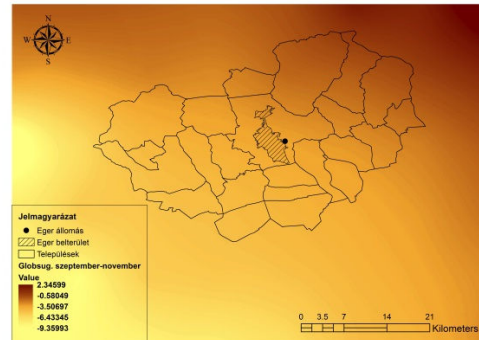
Tél



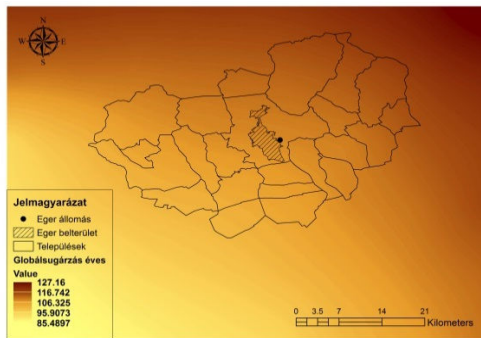
Tavaszi



Nyár



Ősz



Év

4. ábra: A globálsugárzás megváltozása ( $MJ/m^2$ ) a vizsgált térségben,  $0,5^\circ C$ -os félgömbi melegedés esetén az 1976-2005 közötti empirikus regressziós kapcsolat alapján. Évszakos és éves összegek.

Számottevő az ingás a területen belül, nemcsak az abszolút, de relatív arányok terén is. Ugyancsak a fenti évszakok illetve évi összegek terén a legnagyobb és legkisebb változások rendre a következők: télen +1,6 – 3,7 %; tavasszal +3,3 – 4,8 %; nyáron 1,6 – 3,9 illetve összességként +1,2 – +0,3; évi összességként +1,9 és 3,4 % között.

A különbségeknek határozott területi rendje van, amint ezt az 5. ábra bal oldalán be is mutatjuk. Ezen a százalékos változásokat kiátlagoltuk a 8-8 rácspontra és így hat-hat övezetes átlagot kaptunk. Három évszakban a változás relatív értéke növekszik (pozitív irányba tolódik) a földrajzi szélességgel, míg télen csökken.

Természetesen a kapott regressziós együtthatók szigorúan csak a vizsgált 30 évre érvényesek. Extrapolációjuk a jövőre nézve nem biztos, illetve független fizikai igazolást kíván, hiszen a fenti egyezés is csak kb. ennek az időszaknak az érvényességét erősíti, kiterjeszhetőségét nem. Erre az IPCC (2013) Jelentés 12.17 ábrája utal, ahol a legenyhébb kibocsátás-növekedés szerint is pár százalékos felhőzetcsökkenés várható 2081-2100-ra az 1986-2005 évekhez képest.

### Változások a szélsébség köbében

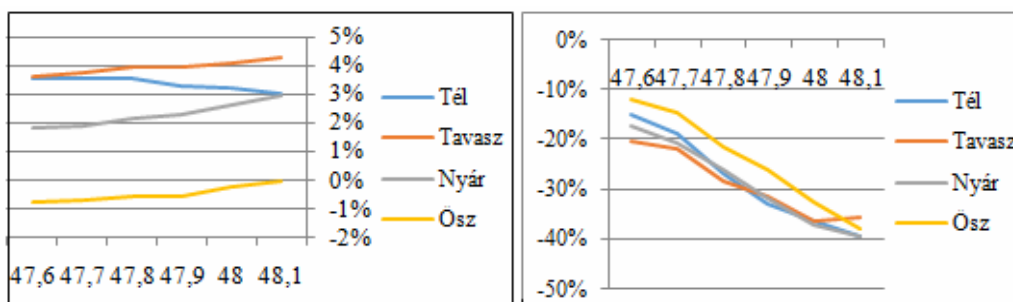
A szélsébség napi értékeit harmadik hatványra emelve, majd ezeket a napi értékeket összegezve egy szélenergia szerű mennyiséget állítottunk elő. Itt elsősorban a relatív változás az érdekes, azaz a teljes 30 év (1976-2005) átlagához viszonyított eltérés. Valójában a szélenergia arányos a levegő sűrűségével is, de az ideális gáz állapotegyenletéből ( $p/\rho = RT$ ) kiindulva, 1 K hőmérsékletváltozás is csak 0,3 %-os változást okoz, állandó nyomás mellett.

Folytatva a globálsugárzás ismertetését, először e megváltozások övezeten belüli értékeit elemezzük. Az 5. ábra jobb oldalán nagyon erős változást és annak is valószínűtlenül meredek övezeten belüli csökkenését látjuk a földrajzi szélesség mentén mindössze 0,5 fokkal északabbra húzódva. E változás nagysága, még inkább annak erős zonalitása gyanút keltő jelenség, ami nem erősíti a rácsponti széladatok megbízhatóságába vetett hitünket.

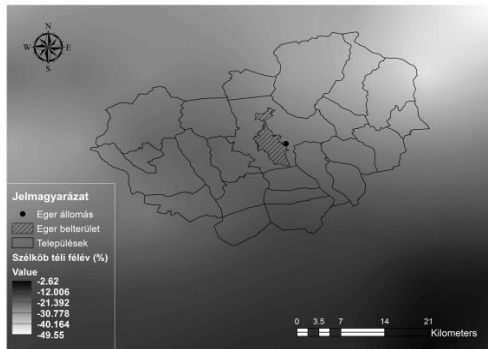
Végül, a 6. ábrán bemutatjuk a félévi változások relatív értékeit. A terület átlagában a téli félévben a -22,6%-os, míg a nyári félévben -33,6%-os csökkenés adódik a regressziós eljárásból 0,5 °C félgömbi melegedésre átszámítva.

Ekkora változások aligha hihetőek, bár közvetlenül nem vezethetők le abból a tényből (Mika et al., 2014), hogy a napi szélsébséget az éjszakai órák kihagyása túlbecsüli. Az évi összes energia relatív megváltozása -27,8%.

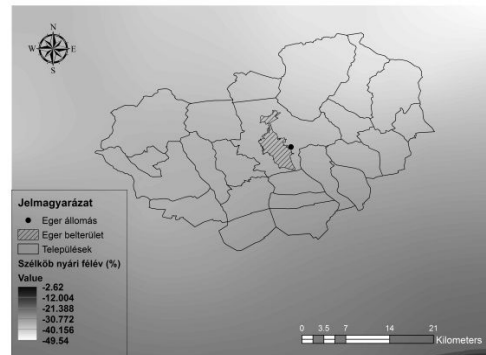
A szélsébség köbének erős változásai összhangban vannak a havi átlag szélre elvégzett ugyanilyen vizsgálatokkal. A szélsébség csökkenései a téli és a nyári félévben valamint évi összegben rendre -5,1%, -9,4% ill. -7,3%. Ha e számokat megszorozzuk 3-mal, (vö. hatványfüggvény deriválása) akkor hozzávetőleg megkapjuk a szélköbök megváltozásait.



5. ábra: A relatív változások övezetes rendje 0,5 K félgömbi melegedésre átszámítva a négy évszakban a térség kb. 50x50 km-es területén. Balra a globálsugárzás, jobbra a napi szélsébség köbének relatív változásai láthatók.



Télifélév



Nyárfélév

6. ábra: A szélesség köbének relatív változásai(%) a vizsgált térségben, 0,5 °C-os félgömbi melegedésre átszámítva az 1976-2005 közötti kapcsolat alapján. Féléves változások.

A szürke színnel arra utalunk, hogy a széladatok bizonyított túlbecsülése (Mika et al., 2014) miatt a megváltozás konkrét számértékei kevésbé bizonyosak.

### Megvitatás

Egy korábbi tanulmányunkban (Mika et al., 2006) az időnek instrumentális változóként szerepeltetéséhez szükséges, monoton globális melegedésnek szintén megfelelő 1973-1996 időszakban megvizsgáltuk a felhőzet alakulásának kapcsolatát a félgömbi átlaghőmérséklettel. Ehhez felhasználtuk a felszínről történt vizuális felhő-fedettségű idősorok adatait (Hahn és Warren, 1999). Az állomási adatokat először 2,5x2,5 fokos gömbi négyzetekbe rendeztük, amelyekbe mindig jutott 4–23 darab állomás. A mi térségünket tartalmazó nagyobb terület átlagában a téli félévben -4%-os, míg a nyári félévben -5%-os felhőzetcsökkenés tartozott. Figyelembe véve az Angström formula együtthatóit ez egybecseng a fentebb kapott, 2-3 %-os globálsugárzás-növekedéssel.

Természetesen a kapott regressziós együtthatók szigorúan csak a vizsgált 30 évre érvényesek. Extrapolációjuk a jövőre nézve egyáltalán nem biztos, illetve független fizikai igazolást kíván, hiszen a fenti egyezés is csak kb. ennek az időszaknak az érvényességét erősíti, kiterjeszhetőségét nem. Erre az IPCC (2013) Jelentés 12.17 ábrája utal, ahol a legenyhébb kibocsátás-növekedés szerint is pár százalékos felhőzetcsökkenés várható 2081-2100-ra az 1986-2005 évekhez képest.

Előjelét és nagyságrendjét tekintve tehát helytálló, független becslést kaptunk a globálsugárzás változására, ami nagy valószínűséggel nem csak a vizsgált 30 év véletlen velejárója. Ugyanakkor, a szélenergiát közelítő eljárás nehezen hihető mértékben erős csökkenést adott, ami a megfigyelési adatokkal kapcsolatos gyanakvásra ad okot, akkor is, ha az éjszakai szélsőséges órák kihagyásából a változás irreálisan gyors felerősödése még nem következik.

*Köszönetnyilvánítás:* A kutatásokat a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0016 támogatta. A rácsponti adatokat a CarpatClim Project biztosította (<http://www.carpatclim-eu.org/pages/home/>).

### Irodalom

- ANGSTRÖM, A., (1924): Solar and terrestrial radiation. Quart. J. of the Royal Meteorological Society. 50:121-125.
- HAHN, C. J. - WARREN, S.G. (1999): Extended Edited Synoptic Cloud Reports from Ships and Land Stations Over the Globe 1952-1996. Internet publication and data <http://cdiac.esd.ornl.gov/epubs/ndp/ndp026c/ndp026c.html>

- IPCC, (2013): ClimateChange 2013. The Physical Science Basis. (Final version, downloadable from <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>) 2260 pp.
- JONES, P.D., LISTER, D.H., OSBORN, T.J., HARPHAM, C., SALMON, M. AND MORICE, C.P., (2012): Hemispheric and large-scale land surface air temperature variations: an extensive revision and an update to 2010. *Journal of Geophysical Research* **117**, D05127, doi:10.1029/2011JD017139.
- KOVÁCS A. (2011): Novemberi szmog-helyzetek Miskolcon: Letölthető az OMSZ honlapjáról: [http://met.hu/ismerettar/erdekessegek\\_tanulmanyok/index.php?id=100&hir=2011\\_novemberi\\_szmog-helyzetek\\_Miskolcon](http://met.hu/ismerettar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=100&hir=2011_novemberi_szmog-helyzetek_Miskolcon)
- KÖRÖSI G.– MÁTYÁS L.–SZÉKELY I., (1990): Gyakorlati ökonometria. KJK, Budapest 481 p.
- MERSICH I. ET AL. (SZERK) (2001): Magyarország éghajlata, Országos Meteorológiai Szolgálat
- MIKA J., 1988: A globális felmelegedés regionális sajátosságai a Kárpát-medencében. *Időjárás* **92**, 178-189
- MIKA J., BÁLINT G., CSÍK A., GULYÁS M., BARTÓK B., BORSOS E. AND SCHLANGER V., (2006): Precipitation and cloud coverage tendencies in the Upper Danube Catchment with respect to global warming. 23 Conference of the Danube Countries, Beograd, 2006
- MIKA J., CSABAI E.K., DOBI I., MOLNÁR ZS., NAGY Z., RÁZSI A., TÓTH-TARJÁNYI ZS., PAJTÓK-TARI, I., 2014: Mapping solar and wind energy resources, including their long-term tendencies. *Hungarian Geographical Bulletin*, vol.63, 17-27 ([http://www.mtafk.hu/konyvtar/hungeobull\\_63\\_1\\_2.html](http://www.mtafk.hu/konyvtar/hungeobull_63_1_2.html))
- PÉCZELY, GY., (1979): Éghajlattan, Tankönyvkiadó, Budapest
- PRESCOTT, J.A., (1940): Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Transactions of the Royal Society of South Australia*. 64:114-118.
- RÁZSI A., CSABAI E.K., KOVÁCS A., (2014): A nap- és szélenergia együttes eloszlása Eger térségében. In: *Környezettudatos Energiatermelés és – Felhasználás III.*, (Szabó Valéria és Fazekas István, szerk.) 90-95 pp.
- SZENTIMREY T., (1999): Multiple Analysis of Series for Homogenization (MASH). Proc. of the 2nd Seminar for Homogenization of Surface Climatological Data. Budapest; WMO. WCDMP-No. 41. pp. 27-46
- SZENTIMREY T., BIHARI Z., (2006): MISH (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis). COST-719. The use of GIS in climatology and meteorology. (O.E. Tveito. et al. ed.) 54-56
- VINNIKOV, K. YA., (1986): Sensitivity of climate Gidrometeoizdat. 219 p. (In Russian)