AZ ENERGETIKAI IRÁNYVÁLTÁS KÜSZÖBÉN

ENERGIAFÖLDRAJZI KUTATÁSOK

MAGYARORSZÁGI MINTATERÜLETEKEN

AZ ENERGETIKAI IRÁNYVÁLTÁS KÜSZÖBÉN:

ENERGIAFÖLDRAJZI KUTATÁSOK MAGYARORSZÁGI MINTATERÜLETEKEN

SZERKESZTETTE:

BUDAI EDINA ÉS DR. MUNKÁCSY BÉLA

LEKTORÁLTA:

DR. CSÜLLÖG GÁBOR

KIADÓ:
EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM, TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR
Földrajz-és Földtudományi Intézet
Földrajztudományi Központ
Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék

BUDAPEST, 2016

ISBN 978-963-284-819-8

A KIADVÁNY AZ **OTKA K112477** SZÁMÚ „A MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK ALKALMAZÁSÁNAK TÁJVÉDELMI SZEMPONTÚ VIZSGÁLATA HAZAI MINTATERÜLETEKEN – KIHÍVÁSOK ÉS LEHETŐSÉGEK” CÍMŰ PÁLYÁZAT KERETÉBEN KÉSZÜLT

TARTALOMJEGYZÉK

BÁNFALVI ANDRÁS: A szélenergia alkalmazása a Kisalföldön 5

KORENCSÁK ISTVÁN – MUNKÁCSY BÉLA – BUDAI EDINA – DARABOS GABRIELLA – HARMAT ÁDÁM: Energiagazdálkodás és erdőgazdaság – a tűzifa hasznosításának energetikai megtérülése a Salgótarjáni Erdészet térségében 37

PÓCZ ANNAMÁRIA – HARMAT ÁDÁM: Az elektromos közlekedés jelene és jövője a Bükk LEADER Térségben 64

SZÜCS PÉTER NOEL – DARABOS GABRIELLA: Szilárd biomasszára vonatkozó energetikai megtérülési számítás egy Komárom-Esztergom megyei esettanulmány példáján 80

ELŐSZÓ

Jelen kiadvány az ELTE TTK Környezet- és Tájföldrajzi Tanszékén folyó **energiaföldrajzi kutatások** keretében készült írásokat tartalmaz. Tanszékünkön a fenntartható energiagazdálkodás oktatása jelenleg több egymásra épülő tantárgy keretében folyik, így a leginkább érdeklődő hallgatók akár két teljes éven át is foglalkozhatnak a témával. Ennek során az alapozástól eljuthatnak az energiatervezés elméletéig és gyakorlatáig, eközben részt vehetnek a tanszéken folyó **energiatervezéssel kapcsolatos kutatási tevékenységben**, így például az „Erre van előre" energiatervezési kutatócsoport munkájában, vagy az ELTE által támogatott projektben, ami az energiatárolás lehetőségeit vizsgálja egy komplex környezetgazdálkodási-energiagazdálkodási környezetben, esetleg az OTKA által támogatott energiaföldrajzi-tájföldrajzi kutatásban. Ez utóbbi projekt keretében három magyarországi mintaterületen folynak vizsgálatok a decentralizált energiarendszer terjedésével várhatóan együttjáró tájvédelmi jellegű konfliktusok elkerülése, mérséklése érdekében. Jelen kötetbe gyűjtött írások ezen kutatási projekt egyes részproblémáinak feltérképezését, feldolgozását célozzák.

Tanulmánykötetünk olvasóinak tartalmas időtöltést kívánunk!

2016. október 11.

Dr. Munkácsy Béla

BÁNFALVI ANDRÁS

A szélenergia alkalmazása a Kisalföldön

Bevezetés

Napjainkban a megújuló energiaforrásoknak, köztük a szélenergiának is egyre nagyobb szerep jut világszerte. A 20. században nyilvánvalóvá vált az emberiség környezetre gyakorolt káros hatása, napjaink egyik legsúlyosabb környezeti problémája, a globális klímaváltozás. Az emberiség energiaigényét főleg fosszilis energiaforrásokból fedezi, amelyek a készletek kimerülése miatt egyre inkább drágulni fognak. Az utóbbi évtizedekben a globális klímaváltozás okainak a felismerése és a folyamatos technológiai fejlődésnek köszönhetően a megújuló energiaforrások szerepe megnövekedett az energiafelhasználásban, mivel ezeknek a technológiáknak a környezeti terhelése jóval alacsonyabb, mint a fosszilis energiaforrásoké.

Ebben a munkában elsősorban a Kisalföld szélenergiájának hasznosítását vizsgáljuk két különböző földrajzi fekvésű és adottságú szélerőművet bemutatva. Az elmúlt három év termelési és szélmérési adatait hasonlítjuk össze egy mosonmagyaróvári és egy bábolnai 2-2 MW teljesítményű erőmű között – azzal a céllal, hogy rávilágítsunk az erőművek különböző földrajzi elhelyezkedéséből és műszaki tulajdonságaiból adódó előnyökre és hátrányokra.

Módszertan

A munka módszertani szempontból két főbb egységre bontható. Az első a fellelhető szakirodalom bemutatása, míg a második egység a két kiválasztott kisalföldi szélerőműről megszerzett tényadatok összehasonlítását és elemzését tartalmazza. A szakirodalom feldolgozásánál hazai és külföldi forrásokat egyaránt feldolgoztunk. A második főbb egység az önálló adatfeldolgozásról és adatelemzésről szól. Az elmúlt három évre vonatkozóan két kisalföldi szélerőmű 10 perces részletességű adatsorait sikerült beszerezni. Az adatsorok a termelési, a szélirány- és a szélerősség adatokat tartalmazzák. A rendelkezésünkre álló adatokkal számításokat végeztünk, ezeket táblázatba rendeztük, diagramokat készítettünk.

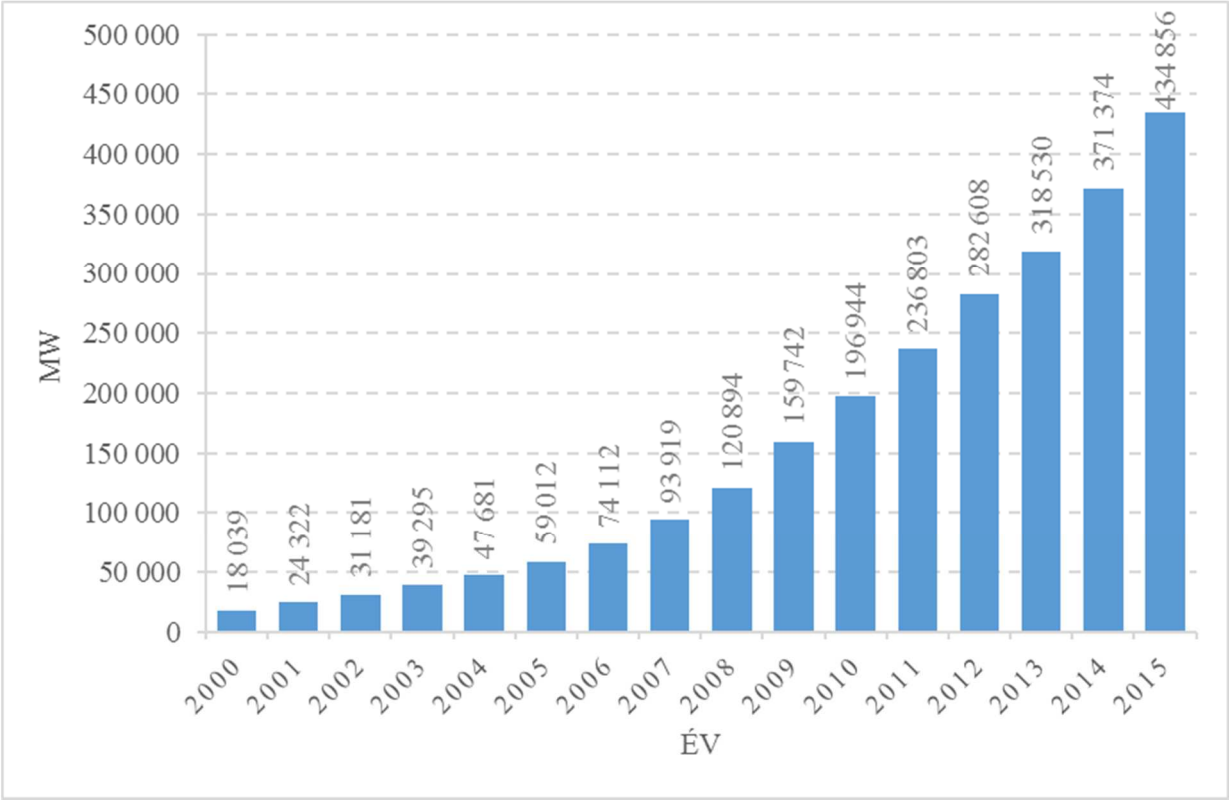
Szélenergia-hasznosítás napjainkban

A szélenergia fejlődése évről évre minden várakozást felülmúl, az iparág világszerte robbanásszerűen növekszik. A klímaváltozás és a környezeti aggályok növekedésével egyre nagyobb szükség lesz a megújuló energiaforrásokra. A szélenergia pedig az egyik legmegfelelőbb energiaforrás, hiszen az energiatermeléskor nem bocsát ki szennyezőanyagokat, így segít visszaszorítani a CO_2 kibocsátást. A szélenergia felbecsülhetetlen érték a fenntartható környezet érdekében, és már ma is világszerte az egyik legolcsóbb energiaforrás. Ahmed–Cameron (2014) véleménye szerint az egyik legfontosabb cél a szélenergia-iparban a hatékonyság fenntartása, hogy az erőművek hosszabb élettartamúak legyenek és a teljesítményük kevésbé csökkenjen. Egy kutatás szerint az Angliában üzemelő szélerőművek teljesítménye évente átlagosan 1,57%-kal csökken (Green–Staffell 2014). A mai erőművek becsült élettartama 20–30 év, de a technológia fejlődésével ez is tovább növekedhet.

A fejlődésnek köszönhetően a hálózati rendszerek, a szélerőművek teljesítménye és a turbinák méretei is egyre növekednek. 2012-ben az értékesített szélturbinák átlagosan 1,8 MW teljesítményűek voltak, míg a tengeri szélerőművek esetében már akkor 4 MW névleges teljesítmény volt az átlag (Blaabjerg–Ma 2013). Napjainkban a legnagyobb szárazföldi szélerőművek teljesítménye eléri a 7,5 MW-ot, a tengeri szélerőművek esetében pedig már megjelentek az első 8 MW-os prototípusok (Höge et al. 2016). Figyelembe véve a technológia fejlődését 2018-ra az egyes szélerőművek teljesítménye elérheti a 10 MW-ot (Blaabjerg–Ma 2013).

A technológia fejlődésén túl további fontos szempont, hogy a szélenergia a jövőben felvegye a versenyt a fosszilis tüzelőanyagokkal, eközben pedig társadalmi elfogadottsága tovább növekedjen. 2035-re a szélenergia lehet a leginkább hasznosított megújuló energiaforrás a világon. A termelés ingadozását és kiszámíthatatlanságát pedig egy széles körben elterjedt összehangolt globális, vagy kontinentális villamosenergia-hálózattal lehetne megoldani, melyben az energiatermelés feladata főleg megújuló energiaforrásokra hárulna (AHMED–CAMERON 2014).

Az *1. ábra* a világ beépített szélenergia-kapacitásának 2000 és 2015 közötti gyors ütemű növekedését mutatja. A világ legnagyobb szélenergia-termelő országa Kína, ahol a beépített teljesítmény 2015-re elérte a 148 000 MW-ot. A második az Egyesült Államok, a harmadik helyen pedig Németország áll. 2015-ben világszerte rekordot jelentő 63,7 GW teljesítményt integráltak a rendszerbe, így az összes szélerőmű teljesítménye elérte a 435 GW-ot. Jelenleg a világ villamosenergia-felhasználásának körülbelül 4 százalékát fedezik szélenergiából (WWEA 2015). JACOBSEN–ARCHER (2012) véleménye szerint 2030-ra ez az arány elérheti az 50%-ot. A WWEA (World Wind Energy Association) 2020-ra a világ szélerőmű kapacitását 1 millió MW-ra becsüli.



1. ábra: A Föld szélerőmű-kapacitásának növekedése 2000–2015-ig (forrás: WWEA 2016)

2015 végén az Európai Unió szélerőmű-teljesítménye 142 GW volt, melyből 131 GW szárazföldi, 11 GW pedig tengeri, illetve óceáni kapacitás. Az elmúlt évben 12 800 MW új erőművet építettek, ami 6,3%-kal nagyobb, mint a 2014-es bővülés. Az Európai Unióban 2015-ben létrehozott új villamosenergia-termelő rendszerek 44%-a volt szélerőmű, így a szélenergia lett a harmadik legjelentősebb villamosenergia-forrás az EU-ban, a maga 16,5%-os részesedésével. 2015-ben Németország telepítette a legnagyobb kapacitást, 6 013 MW-t, ez az EU-s bővítésnek majdnem a fele. A második Lengyelország 1266 MW teljesítménybővítéssel, míg a harmadik Franciaország volt, 1 073 MW-tal. Az Európai Uniós országok közül Németország

rendelkezik a legnagyobb beépített teljesítménnyel (45 GW), a második Spanyolország (22 GW), míg a harmadik Nagy-Britannia (14 GW). Magyarország a maga 330 MW-os beépített teljesítményével az utolsók között van az Európai Unióban (EWEA 2016).

A terljesítmények összevetésénél lényegesen többet árul el a technológiának az egyes országok energiaellátásában betöltött szerepe. Dániában állnak e tekintetben a legjobban, hiszen 2015-ben szélenergiából fedezték a villamosenergia-termelésük 42,1%-át, sőt, 2050-re azt a célt tűzték ki, hogy saját energiatermelésüket 100%-ban megújuló energiaforrásokból fogják fedezni (ENERGINET.DK É.N.). Németország egyes tartományaiban – főleg a tengerparti tartományokban, például Schleswig-Holsteinben – a szélerőművek részesedése az áramtermelésből 80% körüli, így gyakori, hogy a szélerőművek termelése meghaladja a fogyasztás mértékét, vagyis csak szélenergiából eladható többletenergia keletkezik (ENDER 2015).

A környező országok szélenergetikai összehasonlítása

1. táblázat: Néhány környező ország szélerőmű teljesítménye 2015-ben

	Magyaro.	Ausztria	Cseho.	Lengyelo.	Szlovákia	Ukrajna	Románia	Szerbia	Horváto.	Szlovénia
Teljesítmény (MW)	330	2412	282	5100	3	514	2976	10	423	3,4
1000 km^2-re jutó teljesítmény (MW)	3,54	28,76	3,58	16,31	0,06	0,85	12,48	0,11	7,47	0,17
1000 lakosra jutó teljesítmény (kW)	33,24	284,64	26,81	132,36	0,55	11,30	148,94	1,40	98,60	1,65

Az *1. táblázat* Magyarország és a környező országok szélerőmű-teljesítményét, 1 000 km^2-re jutó teljesítményét, illetve az 1 000 lakosra jutó szélerőmű-teljesítményét mutatja be – a 2015 év végi adatok alapján. Ez az összehasonlítás azért érdekes, mert a környező országok szélklímája hazánkéhoz hasonló. A beépített összteljesítmény alapján Lengyelország az első, 5 100 MW kapacitásával. Ausztria és Románia is jóval Magyarország előtt jár, a beépített teljesítmény mindkét országban meghaladja a 2 400 MW-ot. Szlovákiában, Szerbiában és Szlovéniában szinte jelentéktelen a szélenergia

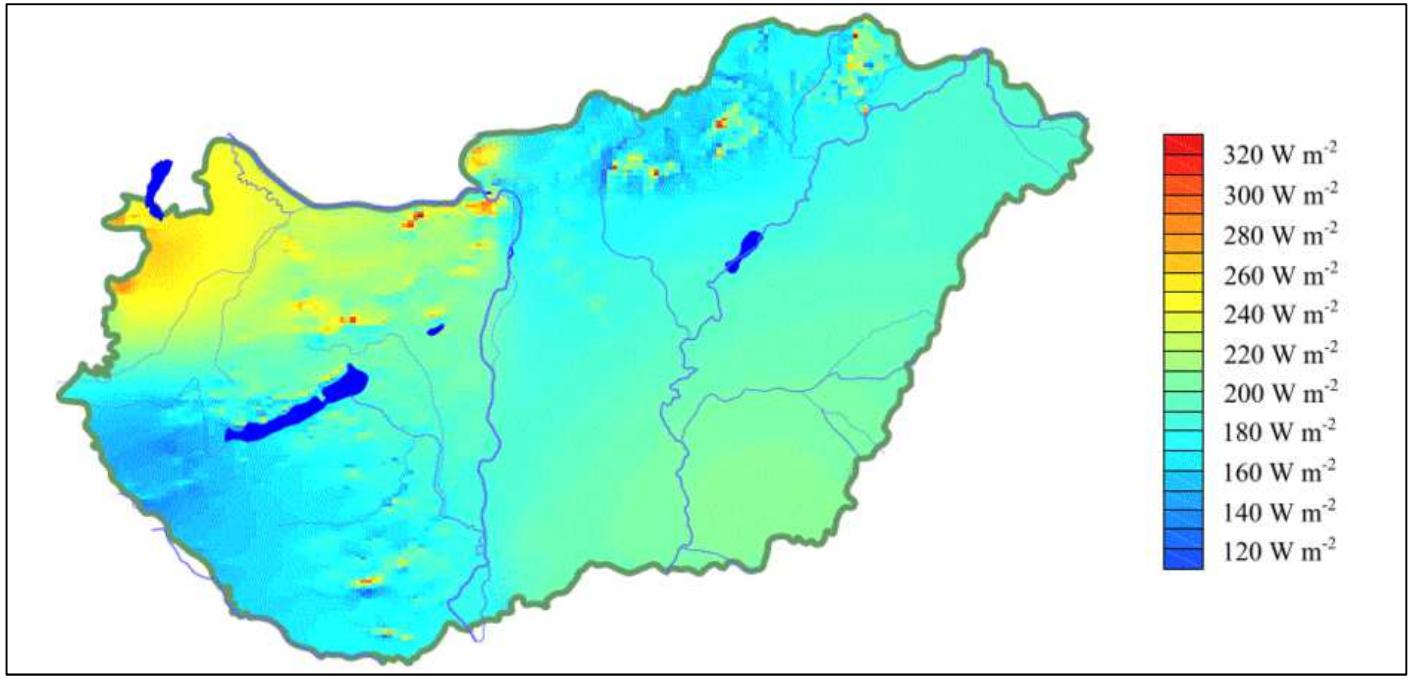
alkalmazása. Ez jól látható a számított mutatókból is. Az ezer lakosra jutó szélerőmű-kapacitás mindhárom országban 1 kW körüli. Magyarországon az 1 000 km^2-re jutó teljesítmény 3,54 MW, míg az 1 000 lakosra jutó teljesítmény 33,24 kW. A környező országok közül mindkét mutató alapján Ausztriában a legjelentősebb a szélenergia hasznosítása, az 1 000 km^2-re jutó teljesítmény 28,76 MW, míg az ezer lakosra jutó teljesítmény 284,64 kW.

Magyarország szélklímája

Az 1990-es években megkezdődött hazánk szélenergetikai vizsgálata, melynek egyik fő célja a regionális szélklíma átlagos értékeinek, szélsőértékeinek és tendenciáinak részletes elemzése volt.

Hazánk az európai szélosztályozási kategóriákat tekintve a **mérsékelten szeles** tartományba sorolható (BARTHOLY et al. 2014). Az átlagos és maximális szélsebesség nagy térbeli változékonyságot mutat, az uralkodó szélirány relatív gyakorisága alacsony, a szélcsendes időszakok aránya néhány térségben kifejezetten magas. Szélklímánk az év során kiegyenlítettnek számít, az ország területén belül viszont jelentős különbségek mutatkoznak a szélsőértékek előfordulásának gyakoriságában, azok eloszlása viszont jól követi az átlagos szélsebességi mezőt. A széljárásban tavaszi maximum, míg nyári minimum figyelhető meg (BARTHOLY et al. 2012).

BARTHOLY–RADICS (2008) Magyarország részletes széltérképezését végezték, 36 mérőpont szélerősség és szélirány adatait elemezték. Az ország különböző területein 10 méteres magasságban mért többéves adatokat komplex statisztikai elemzéseknek vetették alá. A szélenergia regionális változékonyságának elemzéséhez a WAsP szoftvert használták, ami a természetes felszín és a domborzat áramlásmódosító hatását is figyelembe vette. Ennek a segítségével készítették korábban az európai szélatlaszt is. BARTHOLY et al. (2008) véleményük szerint az **ország északnyugati területe a legalkalmasabb a szélenergia hasznosítására**, azonban a délkeleti területek is rendelkeznek a megfelelő szélenergia-potenciállal. Magyarországon 10 méteres magasságban 10 m/s-nál nagyobb szél mindössze 0,5%-ban fordul elő (BARTHOLY–RADICS 2008).



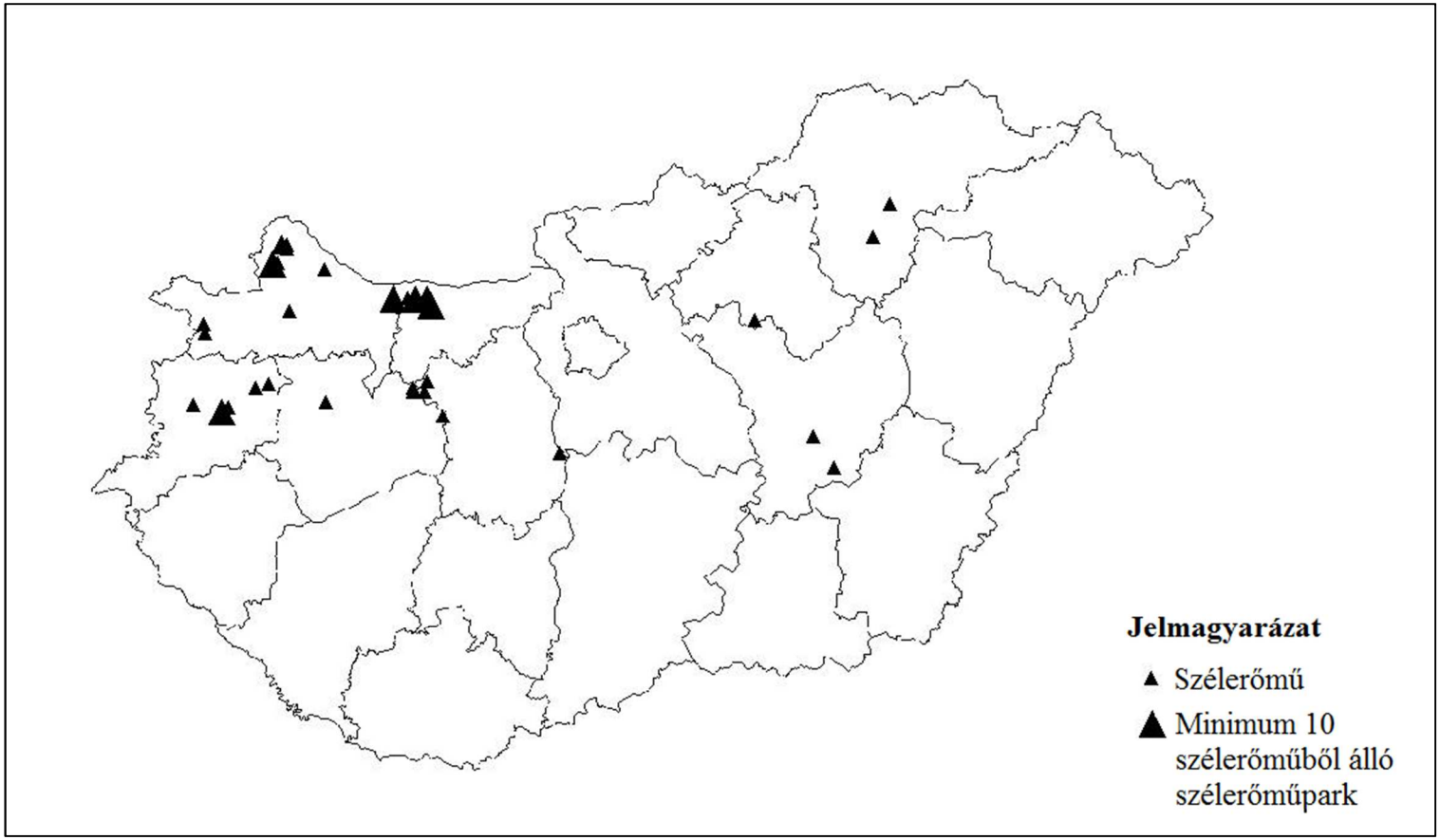
2. ábra 120 m felszín feletti magasságra modellezett rendelkezésre álló szélteljesítmény (RADICS 2004)

A *2. ábrán* Magyarországon 120 méteres felszín feletti magasságban rendelkezésre álló szélteljesítmény látható. A 120 méteres magasságban fújó szelek 1,5–3-szor intenzívebbek, mint a 10 méteres magasságban fújók. Ez alapján még nagyobb különbség figyelhető meg az ország egyes területei között. A kis távolságok alatt kiugró értékek a hegységekben figyelhetők meg (BARTHOLY–RADICS 2008). Összevetve más szárazföldi európai térségek 120 méter magasságra modellezett szélteljesítmény térképeivel, látható, hogy hazánk is rendelkezik akkora szélenergia-potenciállal, mint azok az országok, ahol a szélenergia-hasznosításnak komoly jelentősége van.

Szélenergia-hasznosítás Magyarországon

Hazánkban az Európai Unió többi tagállamához képest későn kezdődött meg a szélenergia modern technológiájú felhasználása. Az első közüzemi hálózatra kapcsolt szélerőművet Kulcson adták át 2001. május 23-án. Az első szélerőműpark 2005-ben kezdte meg működését 5 turbinával, ami 10 MW összteljesítményt jelentett. A 2007-es Villamos Energia Törvény (VET) a zöldenergia kötelező átvételével biztosítja a megújuló energia beruházások megtérülését. Ebben az időben fellendült a hazai szélerőműtelepítési kedv. Azonban hazánkban 2011 óta nem építettek újabb szélturbinát, mivel 2006 óta nem adtak ki új engedélyt a kapacitás bővítésére. A kormányzat 330 MW-ra adott engedélyt, amely kapacitás 2011-re épült ki. 2009-ben a Magyar Energia Hivatal kiírt egy újabb tendert 410 MW-os kapacitásbővítésre. 68 pályázat érkezett be, összesen 1 118 MW bővítésre, azonban az Energia Hivatal később visszavonta a kiírást.

Jelenleg 172 szélerőmű működik hazánkban. Ezek legnagyobb része az ország északnyugati térségében található. Itt húzódik a **zurndorfi szélcsatorna***,* ahol a mérések szerint 65 méteres magasságban az átlagos szélsebesség 6 m/s, ami jóval magasabb az országos átlagnál (ROMVÁRI 2013/a). Az országos 330 MW teljesítményből 277 MW található ebben a térségben, ami az összkapacitásból 84%-os arányt jelent.



3. ábra Szélerőművek Magyarországon (adatok forrása: mszit.hu)

Az Európai Unió 2020-ig a megújuló energiaforrásból előállított bruttó energiafogyasztásra 20%-os arányt javasolt, ebből a magyar döntéshozók 13% teljesítését vállalták. A kormány 2020-ig a 14,65%-os részarányt célozta meg, melyet Magyarország Megújuló Energia Hasznosítás Cselekvési Tervében fogalmaztak meg. E szerint 2020-ig 750 MW kapacitás a cél, ehhez további 420 MW még hiányzik. A MAVIR (Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító) álláspontja szerint azonban a hazai villamosenergia-rendszer nem képes további szélerőmű-kapacitás befogadására, ezt a

szélerőművek kiszámíthatatlan termelésével indokolják. A Magyar Szélenergia Ipari Társaság szerint a jelenlegi rendszer is gond nélkül képes lenne a meglévőnél jóval nagyobb arányú szélenergiát befogadni. Hazánk jelentős mennyiségű villamos energiát importál más országokból, miközben megoldható lenne a helyben termelt energia fölhasználása is. A hazai villamosenergia-termelő erőművek teljesítménye várhatóan csökkenni fog az elkövetkezendő években az erőművekben uralkodó rossz állapotok és a romló hatékonyság következtében, tehát mindenképp gondolkozni kell a hosszú távú megoldásokon.

Szabályozási rendszer

A hazai szélenergia-termelés fejlődését a jó adottságok ellenére visszafogja a bonyolult és gyorsan változó jogszabályi környezet, illetve az ehhez kapcsolódó engedélyezési eljárások. A Villamos energiáról szóló 2007. évi LXXXVI. törvény (VET) szerint a 0,5 MW teljesítmény alatti szélturbina nem működési engedély köteles. FERENCZI (2009) véleménye szerint Magyarországon kb. 500 ezer háztartásban lehetne hasznosítani a szélenergiát kisebb teljesítményű szélgenerátorokkal, főleg a tanyás térségekben és az Alföldön. A Nemzeti Cselekvési Terv 2020-ig összesen 10 MW összteljesítményű kis- és közepes méretű szélturbina-kapacitással számol Magyarországon, ami meglehetősen szerény vállalás még a jelenlegi magyarországi kapacitáshoz képest sem, nemhogy a nemzetközi viszonyokhoz.

A 0,5 MW és 50 MW közötti teljesítmény esetén az erőművek kiserőművi összevont engedélykötelesek, míg 50 MW fölötti teljesítmény esetén létesítési-működési engedélyt kell kérni. A 0,5 MW teljesítmény alatti erőművek viszont csak elvileg nem engedélykötelesek. Ugyanis a VET. 7. § 2. bekezdése szerint ha háztartási méretűnél (50 kW-nál) nagyobb teljesítményű erőművet a hálózatra szeretnénk csatlakoztatni akkor már pályázni kell rá.

A hazai szélerőművek beruházásai nem kaphatnak állami támogatást, csak a szükséges mértékű Kötelező Átvételi Támogatást (KÁT) biztosítják, amellyel az Állam a megújuló energiaforrásokat a megtérülésig támogatja. A KÁT olyan támogatási rendszer, amelyben a piaci árnál jóval drágábban veszik át a megtermelt villamosenergiát. A hazai villamosenergia rendszerirányító (MAVIR) által felügyelt KÁT rendszerben szereplő erőművek kötelesek napi

menetrendet adni a várható termelésről, az ettől való jelentős eltérések (±50%) esetén kiegyenlítő energia díjat kell fizetni a MAVIR-nak. Így tehát az a minimális támogatás is csökken, hiszen ennyire pontosan nem minden esetben lehet előre meghatározni a szélerőművek általi menetrendet.

A szélturbinák tájba illesztése és társadalmi megítélése

A szélenergia a legkisebb környezeti terhelést okozó villamosenergia-termelő technológia. Életciklusa alatt szinte jelentéktelen mennyiségű víz- és talajszennyezéssel kell számolni. Ugyanakkor csak a természetvédelmi szempontok teljes körű figyelembevételével tekinthető fenntartható energiatermelési módnak (MUNKÁCSY 2003, MUNKÁCSY 2010).

A szélerőművek méreteinek növekedése a szárazföldi viszonyokra tervezett erőművekre különösen igaz, ami a tájba illesztés szempontjából egyre nagyobb kihívást jelent. A technológia a teljes életciklusa alatt jóval kisebb területet igényel, mint a fosszilis tüzelőanyagokkal működő erőművek. Egy szélerőmű közvetlen helyigénye 300 m^2, valamint 3,5–5 méter széles szervizutak vezetnek az erőművekhez (CSŐSZI et al. 2005). A szélerőművek telepítésre a legalkalmasabb helyszínek a mezőgazdasági területek, főként kevésbé értékes szántók, illetve az elhagyott ipari területek. A szélturbinák meglehetősen feltűnő elemként jelennek meg a tájban, különösen szembetűnők a szélfarmok, ahol a szélerőművek csoportosan üzemelnek. Azonban ez a tájvédelem szempontjából jobb megoldás, mintha egy-egy torony állna szétszórtan, mivel így kisebb területre vannak sűrítve az erőművek. A szélfarmokban célszerű valamilyen geometriai rend szerint rendezni a turbinákat, és az is fontos, hogy csak ugyanolyan típusú erőművek kerüljenek egy szélparkba. Németországban az ilyen szélfarmok leggyakrabban az autópályák közelébe kerülnek, mivel ezeken a területeken már azelőtt sem volt meg az eredeti vegetáció (MUNKÁCSY 2008). Hasonló a tájkép a Kisalföldön is, ahol a turbinák nagy része az autópálya közelében üzemel.

A feldolgozott külföldi tanulmányok szerint a turbinák nem zavarják jelentősen az embereket. Észak-Türingiában lakossági közvélemény-kutatást végeztek, amelyben az embereket a szélerőművek tájképre gyakorolt hatásáról kérdezték. A megkérdezettek 37 százaléka szerint pozitív hatással vannak a szélerőművek a tájképre, 29% szerint negatív, 34% véleménye pedig semleges. A kutatás szerint összefüggés van a tájkép megítélése és a megkérdezettek lakhelye között, aki a szélerőművek közelében lakik, annak általában negatívabb a véleménye azokról. A megkérdezettek 68 százaléka

tekinti a szélerőműveket gazdaságilag hasznosnak, míg az üdülőhelyeken egyértelmű többség ellenzi azokat (WEISE et al. 2002). Az Egyesült Királyságban a megkérdezettek 63%-a támogatja a szélenergia-hasznosítást, 28% semleges, mindössze 5% van ellene, 4% pedig nem tudja (KALDELLIS–KONDILI 2012).

Csehország szélerőmű-kapacitása csupán 282 MW. Egy cseh tanulmány (BETAKOVA et al. 2015) szerint a szélerőművek vizuális hatása a legfontosabb a közvélemény számára, a negatív hatások pedig a szélerőművek számának gyarapodásával arányosan növekednek. A tájkép szempontjából a szélerőművek száma a legmeghatározóbb, a szélfarmok lennének a legnagyobb befolyással a tájképre. A cseh hatóságok még mindig nem találták meg a középutat a turbinák elhelyezése, a tájkép és a közvélemény között. A Cseh Környezeti Minisztérium közlése szerint a tervezett szélfarmok 85%-át a negatív vizuális hatásuk miatt vetették el. A tanulmány szerint (BETAKOVA et al. 2015) a szélerőművek vizuális hatása 10 km után eltűnik, míg kevésbé látványos területeken már 5 km távolság után sem zavaró. A legzavaróbbnak a 1,5 kilométeres vagy annál kisebb távolságban lévő szélerőműveket tartják az emberek.

4. ábra: Szélerőművek Bábolna környékén (Fotók: Balogh Antal)

A társadalmi elfogadottság szempontjából nagyon fontos a szélerőművek és a szélparkok tulajdonviszonya. Külföldi tanulmányok (McFayden–Warren 2010, Kuik–Musall 2011) alapján a helyi tulajdonosok számának növekedése elősegíti a társadalmi elfogadottság növekedését a helyi lakosok körében a szélerőművek iránt. A kutatások azt mutatják, hogy ahol magas a közösségi tulajdonban lévő szélerőművek száma, ott magasabb a társadalmi elfogadás is a technológia iránt. Egy skót közvélemény-kutatás alátámasztja ezt. A környező lakosságnak jóval pozitívabb volt a véleménye ott, ahol a szélerőművek közösségi tulajdonban vannak, mint ahol vállalatok tulajdonában vannak az erőművek (McFayden–Warren 2010).

5. ábra Szélerőművek Mosonmagyaróvár környékén (Fotók: Bánfalvi A.)

A szélerőművek hatása a flórára és faunára

A szélerőművek építésekor az alapozás és az utak építése miatt a növényzet csupán kis mértékben sérül. A szélturbinák helyigénye a működésük során kicsi: a mezőgazdasági területnek csak néhány százalékát veszik el, a művelést szinte semmiben nem akadályozzák. A természetvédelem célja, hogy a turbinák olyan helyekre kerüljenek, ahol az eredeti vegetáció már nincs meg. A szakirodalom szerint a szélerőművek minimálisan veszélyeztetik az állatvilágot, csupán a repülő állatok szempontjából jelentenek némi kockázatot. SMITH et al. (2015) szerint a szélenergia jóval kisebb veszélyt jelent a madarakra, mint más energiatermelési módok. Becsléseik szerint az Amerikai Egyesült Államokban évente 140 ezer madár halálát okozzák a szélerőművek, míg például a fosszilis tüzelőanyaggal működő erőművek évente 14 millió madár haláláért felelősek. Fontos leszögezni, hogy a madárpusztulás vizsgálatára nincs egységes gyakorlat, mivel minden területnek más és más a madárállománya. Azonban a szélerőművek nemcsak a madarak haláláért felelősek, hanem a működésükkel zavarhatják a madarakat és szűkíthetik az élőhelyüket (RSPB, É.N.). A szélenergia nem jelent nagyobb veszélyt az állatvilágra, mint más emberi tényező, ugyanakkor a kockázatos területeken a szélerőművek telepítését ki kell zárni, hogy a flóra- és faunaállomány a lehető legkisebb kárt szenvedje a szélenergia hasznosítása miatt (MUNKÁCSY 2004).

A vizsgált szélerőművek bemutatása

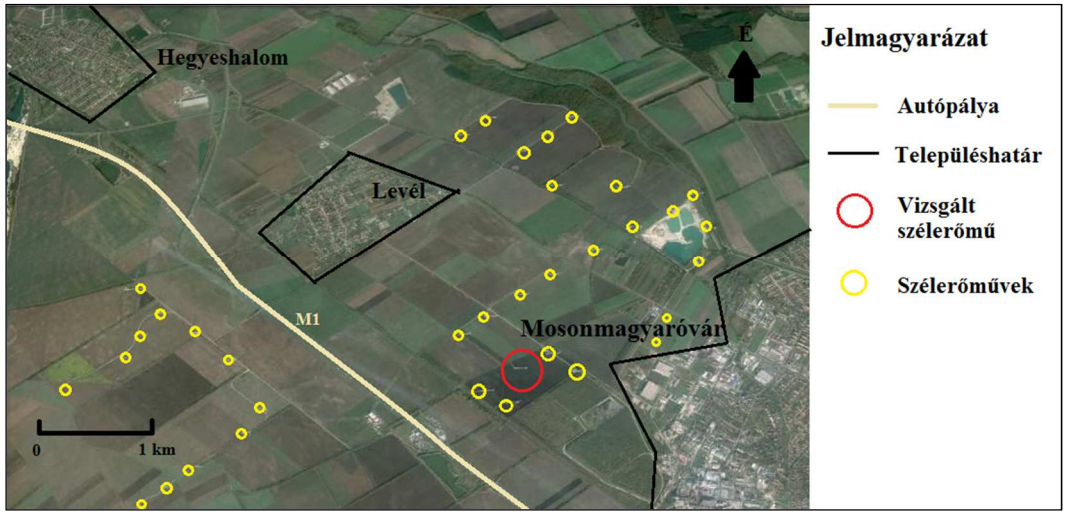
A tanulmány két szélerőművet vizsgál, amelyek a Kisalföld keleti és nyugati szélén találhatóak. A keleti szélerőmű Komárom-Esztergom megyében üzemel, Bábolnától északkeletre, az M1-es autópályától délre. Ez az erőmű, egy 7 szélerőműből álló szélerőműpark része. A park 6 db 2 MW-os és 1 db 3 MW-os turbinából áll. Mind a 7 szélerőművet a dániai Vestas cég gyártotta, amely a világ legnagyobb szélerőműgyártó vállalata. Elemzésül a 2MW-os turbinák közül a legjobban teljesítőt kaptuk, amely működése óta a legtöbb villamos energiát termelte. A park építése 2010 áprilisában kezdődött, majd a szélerőművek 2010. augusztus 1-jén kerültek kereskedelmi üzembe. A szélerőmű **Vestas** V90 típusú, tengelymagassága 105 méter, rotorátmérője 90 méter. Névleges teljesítménye 2 MW.

6. ábra A mosonmagyaróvári (bal) és a bábolnai (jobb) szélerőművek (Fotó: Balogh Antal)

A másik vizsgált szélerőmű a Kisalföld északnyugati területén üzemel, Mosonmagyaróvár északnyugati határában, az 1-es út és az M1-es autópálya között. Ez az erőmű is egy szélparkban üzemel, amely öt 2 MW teljesítményű turbinából áll. Az erőmű **Enercon** E70 típusú, német gyártmány, tengelymagassága 113 méter; a rotorátmérője 71 méter.

Mindkét szélerőmű vállalkozói tulajdonban van. A mosonmagyaróvári szélpark 5 db turbinája öt különböző magyarországi kisvállalkozáshoz tartozik. A bábolnai erőművek egy magyar projekttársasághoz tartoznak, azonban ennek az anyavállalata 100 százalékos spanyol tulajdonban van.

A bábolnai erőmű koordinátái: é. sz. 47,655°, k. h. 18,005°. A mosonmagyaróvári turbina koordinátái: é. sz. 47,877°, k. h. 17,225°. A két szélerőmű légvonalban egymástól 63,25 km távolságra található. A kis távolsághoz és a sík felszínhez képest jelentős eltérések figyelhetők meg a két vizsgált szélerőmű adatai között.



7. ábra A mosonmagyaróvári szélerőmű és környezete

8. ábra A bábolnai szélerőmű és környezete

A *fenti ábrákon* a két vizsgált erőmű és a környezetük láthatók műholdfelvételen. Szembetűnő, hogy mindkét vizsgált erőmű környezetében további jelentős számú szélerőmű üzemel. A bábolnai erőműnél a beépítettség még sűrűbbnek mondható, az egy kilométeres körzetében tizenkét másik szélerőmű áll, míg a mosonmagyaróvári szélerőmű egy kilométeres körzetén belül nyolc szélerőmű üzemel. Főleg gyengébb szélerősség esetében nem ritka, hogy az egymástól néhány száz méterre álló ugyanolyan típusú erőművek között jelentős – akár többszörös – különbség figyelhető meg. Ennek legfőbb oka a parkhatás, az egymás előtt álló erőművek szélárnyékot, illetve turbulenciát okoznak. Ennek köszönhető, hogy az egyes erőművek között gyakori a nagy különbség mind a szélmérésben, mind a termelésben.

Műszaki tulajdonságok

A két vizsgált szélerőmű teljesítménye megegyezik, azonban műszakilag sok tényezőben eltérnek. A két erőmű generátora különböző működési elvű: az Enerconé egy tengelyes, váltómű nélküli, a rotor alacsony fordulatszámon működő nagy átmérőjű sokpólusú generátor, míg a Vestasé a rotor fordulatszámát három fokozatú váltóművel sokszorozva magas fordulatszámon működő hagyományos generátor. Az Enercon spontán, a szél nyomására indul, és a szél pörgeti fel a lapátokat. A Vestas elegendő szélsebesség esetén a hálózatból felvett energiával, a generátort motorként működtetve indul, de egy bizonyos fordulatszámra felpörögve generátor üzemmódra vált, ettől kezdve a szél pörgeti a lapátokat. Így az Enercon és a Vestas erőmű fogyasztása között többszörös differencia figyelhető meg. Például 2013-ban az Enercon erőmű 2800 kWh-át fogyasztott, míg a Vestas erőmű fogyasztása meghaladta a 14000 kWh-át.

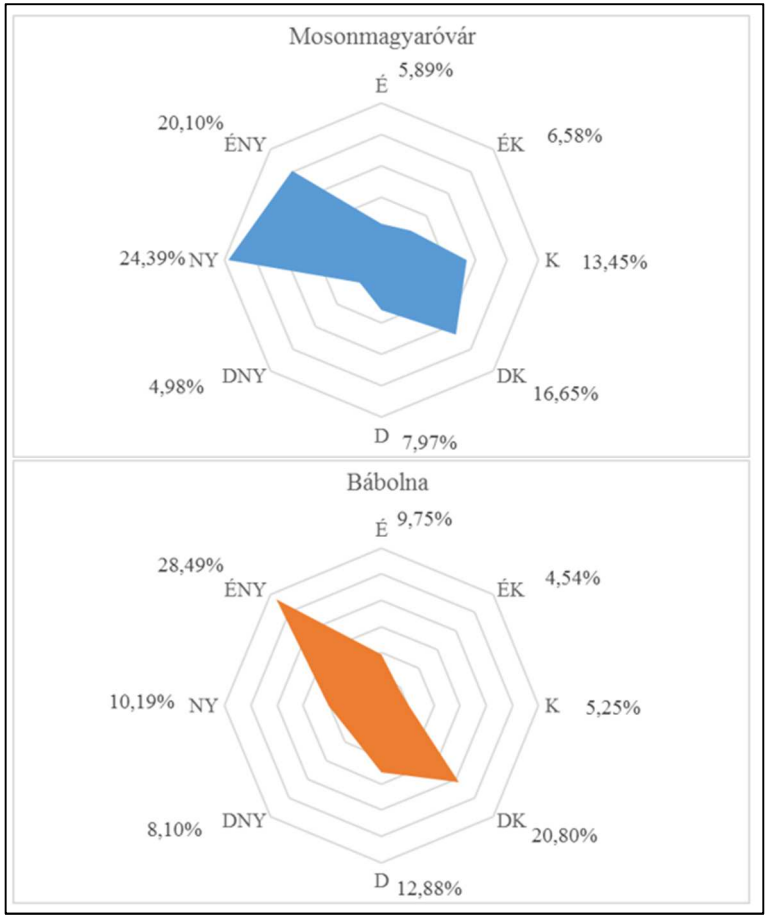
A mosonmagyaróvári szélerőmű nyolc méterrel magasabb, betonból készült a tornya, amelynek átmérője nagyobb, mint a 105 méter magas bábolnai szélerőműé, melynek acél tornya van. A lapátok hossza is jelentősen eltér, a bábolnai erőmű lapátátmérője 90 méter, a lapátok vége egyenes, a mosonmagyaróvári erőmű lapátátmérője 71 méter és a lapátok a végükön visszagörbülnek. Ez a jelentős különbség a lapátok hosszát illetően abból adódik, hogy több év eltérés van a telepítések között. A mosonmagyaróvári szélerőmű 2005-ben épült, amikor hazánkban még csak tengerparti

(rövidebb lapáthosszú) Enercon erőmű volt beszerezhető. A bábolnai erőmű 5 évvel később, 2010-ben épült. A fejlesztéseknek és korszerűsítéseknek köszönhetően az egyre újabb generációs szárazföldi szélerőművek lapátátmérői és toronymagasságai évről évre növekednek.

A gyári adatok szerint a német erőmű 2,5 m/s-os szélerősségnél kezd el energiát termelni, míg a dán erőmű 4 m/s-os szélsebességnél. Mindkét vizsgált erőmű 12,5 m/s-nál éri el a maximális teljesítményét. 25 m/s-os, túlzottan erős szélnél mindkét erőmű lapátjai biztonsági okok miatt kifordulnak a szélből és leállnak az erőművek.

A Kisalföld szélviszonyai

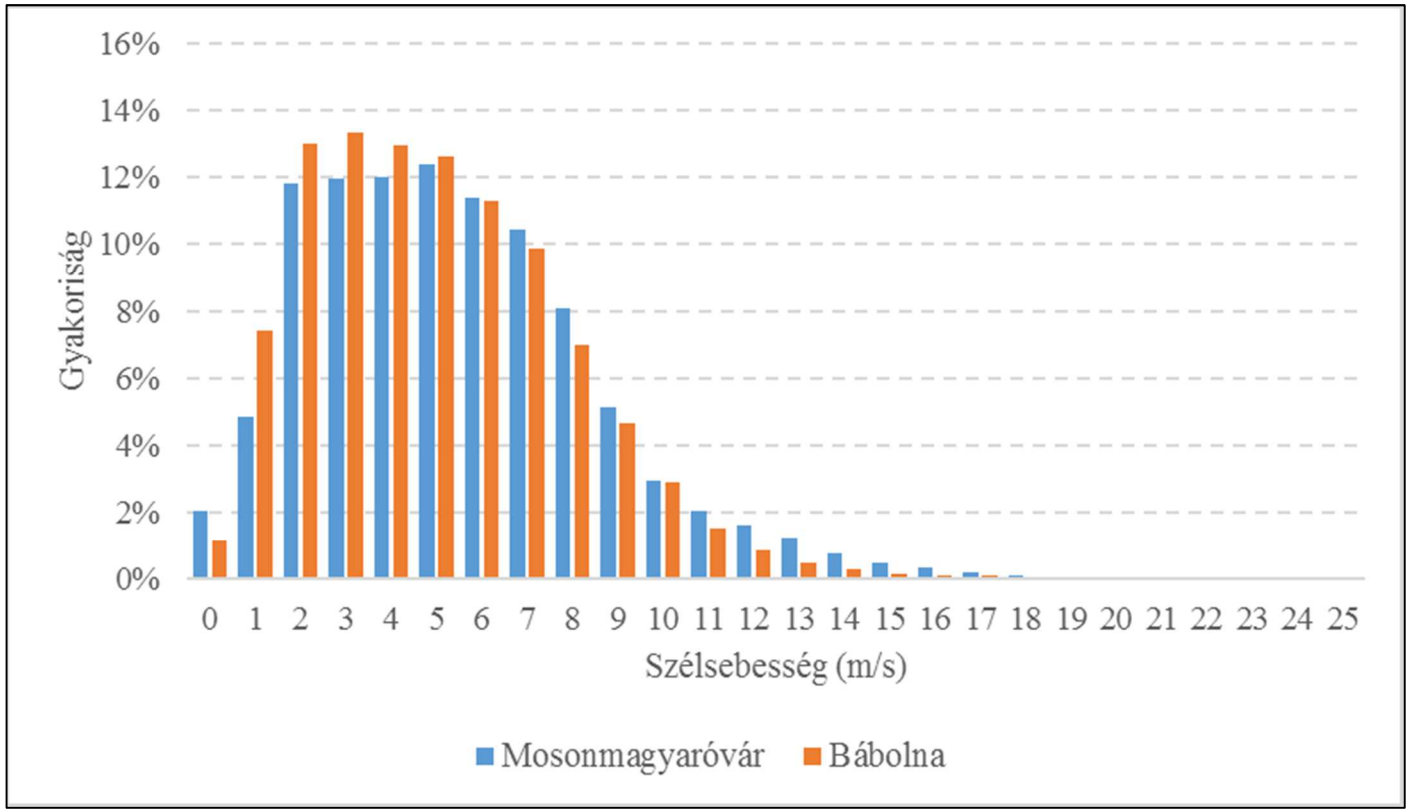
Jelentős különbségek figyelhetők meg a két térség szélirány eloszlásában. A 9.ábra a mosonmagyaróvári és a bábolnai szélerőmű által mért 3 éves szélirány adatokból készült. Látható, hogy mindkét területen az uralkodó szélirányok az északnyugati és a délkeleti szelek, a többi szélirány kevésbé jellemző a térségre. Azonban a mosonmagyaróvári adatokból látszik, hogy az ottani széljárás inkább nyugatias jellegű, a szél 45%-ban nyugatról, és északnyugatról érkezik. Bábolnán kevésbé dominál a nyugati szélirány. Ez az erőművek szempontjából fontos, hiszen ha az uralkodó szélirányok felől akadálytalanul érkezhet a szél, akkor jobb hatásfokon működhet az erőmű, míg ha az adott szélirány felől takarásban van – akár egy másik szélerőmű által – az negatív hatással lehet az erőmű termelésére. A szélsebesség mérési adatokból látszik, hogy **Mosonmagyaróvár szélellátottsága kedvezőbb** szélenergetikai hasznosítás céljából, mint Bábolnáé. A 3 év szélmérési adataiból számítva az előbbi térség szélátlaga 113 méteres magasságban 5,9 m/s, utóbbi terület átlagos szélsebessége 105 méteren pedig 5,43 m/s. Vagyis közel **0,5 m/s-mal** gyengébb szél fújt Bábolna térségében, mint Mosonmagyaróváron.



9. ábra Szélirány eloszlás Mosonmagyaróváron (113 m) és Bábolnán (105 m)

A **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** a mosonmagyaróvári és a bábolnai szélerőmű mérési adatai alapján az elmúlt 3 évre vonatkozó szélsebesség gyakoriságokat ábrázolja. Mosonmagyaróváron a szélcsendes időszakok – 3 m/s-nál gyengébb szelek – gyakorisága 18,7% volt, míg Mosonmagyaróvár környékén 113 méteres magasságban 10 m/s-nál erősebb szélerősség 7%-ban fordult elő. Az elmúlt 3 évben több mint 50 százalékban 3 és 7 m/s közötti szél fújt.

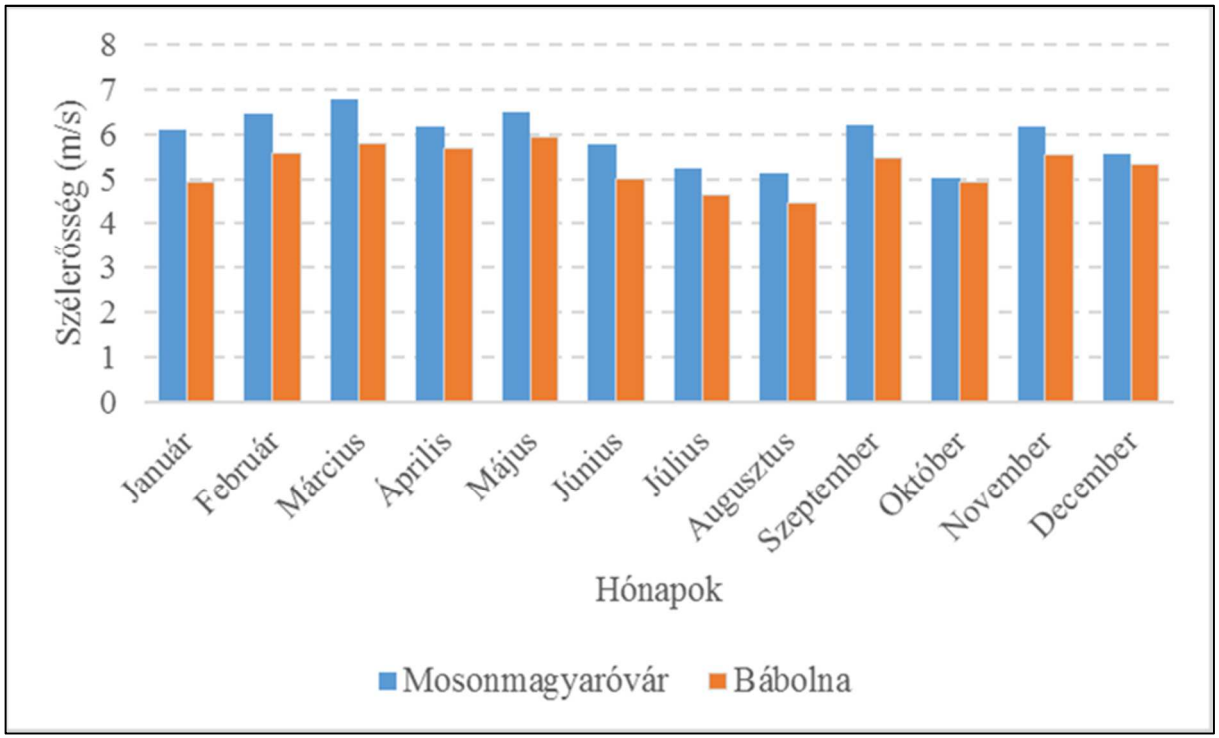
Látható, hogy Bábolnán gyakoribbak a szélcsendes időszakok, mint Mosonmagyaróváron, az esetek 21,6 százalékában volt 3 m/s-nál gyengébb a szélerősség. Az erős szél gyakorisága azonban Bábolnán 105 méteres magasságban alacsonyabb volt, a mosonmagyaróvári értéknek csaknem a fele, csak 3,7%-ban fordult elő 10 m/s-nál erősebb szélsebesség. Az elmúlt 3 évben az esetek 60%-ban 3 és 7 m/s közötti szél fújt Bábolnán.



10. ábra Az elmúlt 3 év szélsebesség gyakorisága Mosonmagyaróváron (113 m) és Bábolnán (105 m)

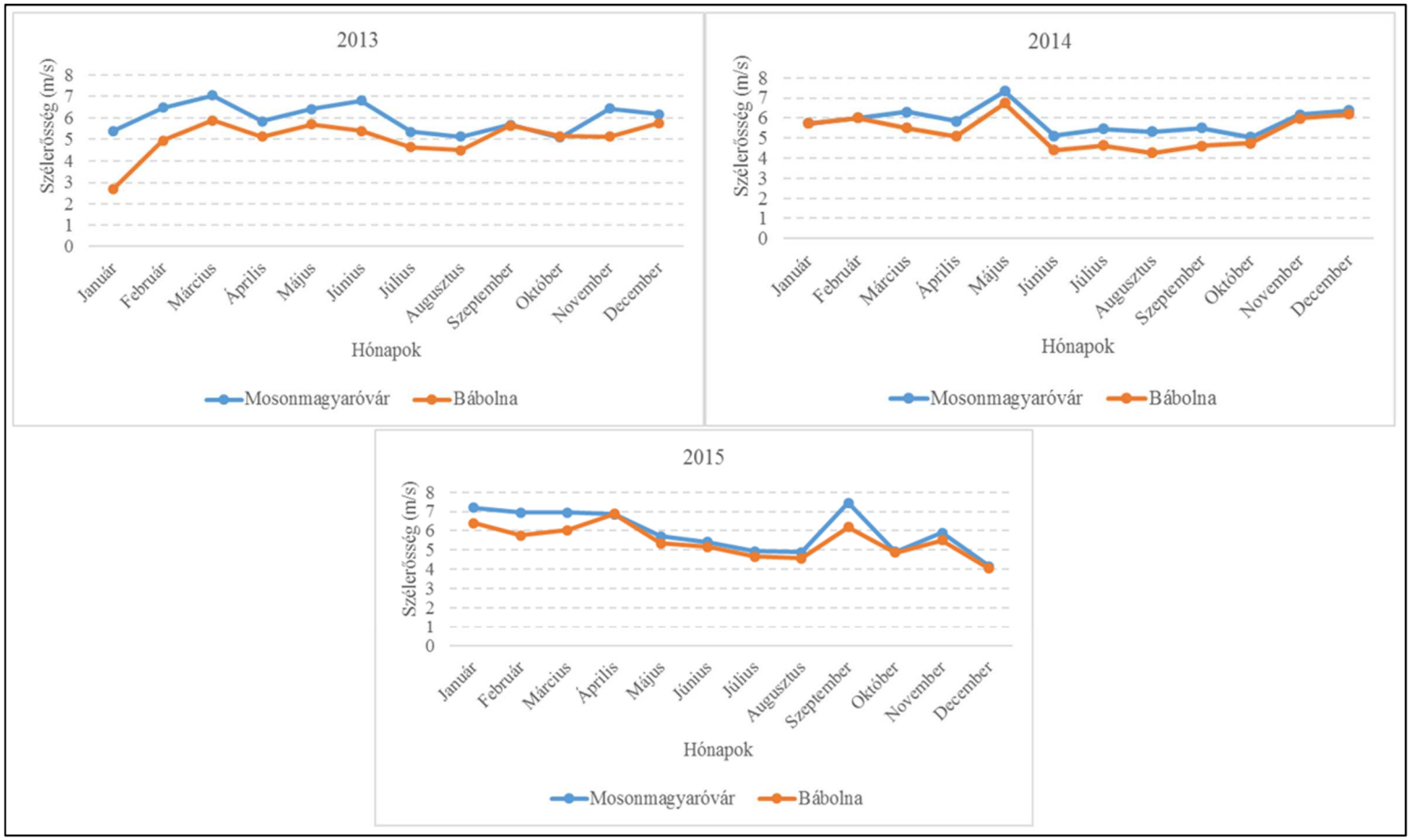
Havi átlagos szélsebességek

A 2013, 2014 és 2015-ös évek havi szélátlagaiból látszik, hogy Mosonmagyaróvár térségében szinte minden hónapban erősebb szél fújt (**Hiba! A hivatkozási forrás nem található.***).* A széljárásban tavaszi maximum és nyári minimum figyelhető meg. A tavaszi hónapok átlagos szélerőssége 6 m/s fölötti volt Mosonmagyaróvár térségében, míg nyári hónapok átlagos értéke alig haladta meg az 5,5 m/s-ot (**Hiba! A hivatkozási forrás nem található.**). Ez a különbség megfigyelhető Bábolna közelében is, itt a tavaszi átlag kevéssel elmarad a 6 m/s-tól, a nyári szélátlag pedig jóval kevesebb, 4,7 m/s-os.



11. ábra Összesített havi szélátlagok az elmúlt 3 év alapján

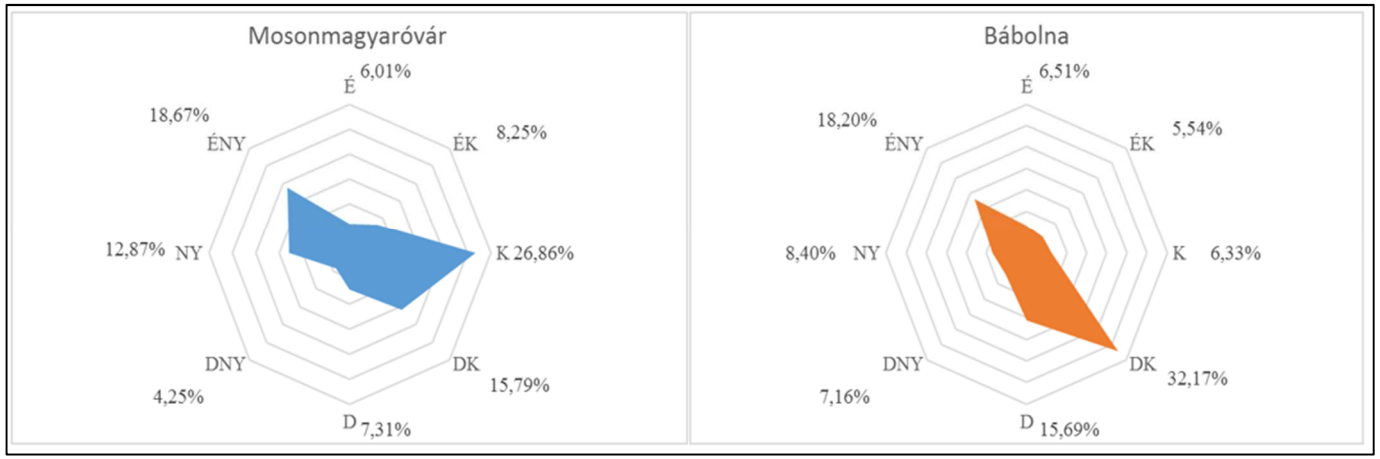
A 3 év adatai alapján Mosonmagyaróváron március számított a legszelesebb hónapnak, míg augusztus és október a leginkább szélcsendesnek. A bábolnai adatok mást mutatnak, itt május számított a legszelesebb hónapnak, augusztus pedig egyértelműen a legszélcsendesebbnek. Azonban fontos megjegyezni, hogy a havi széljárások évről évre is változékonyak.



12. ábra: Havi szélátlagok 2013-2015

A vizsgált időszakban Mosonmagyaróváron a legmagasabb havi szélátlag rendhagyó módon 2015 szeptemberében volt, átlagosan 7,44 m/s-os szél fújt. A legalacsonyabb szélsebesség átlag – ugyancsak rendhagyó módon – 2015 decemberében volt, 4,15 m/s. Bábolnán a legszelesebb hónap 2015 áprilisa volt (átlagosan 6,87 m/s), míg a legkevésbé szeles az 2013. január hónapja volt, mindössze 2,7 m/s-os átlag szélerősséggel.

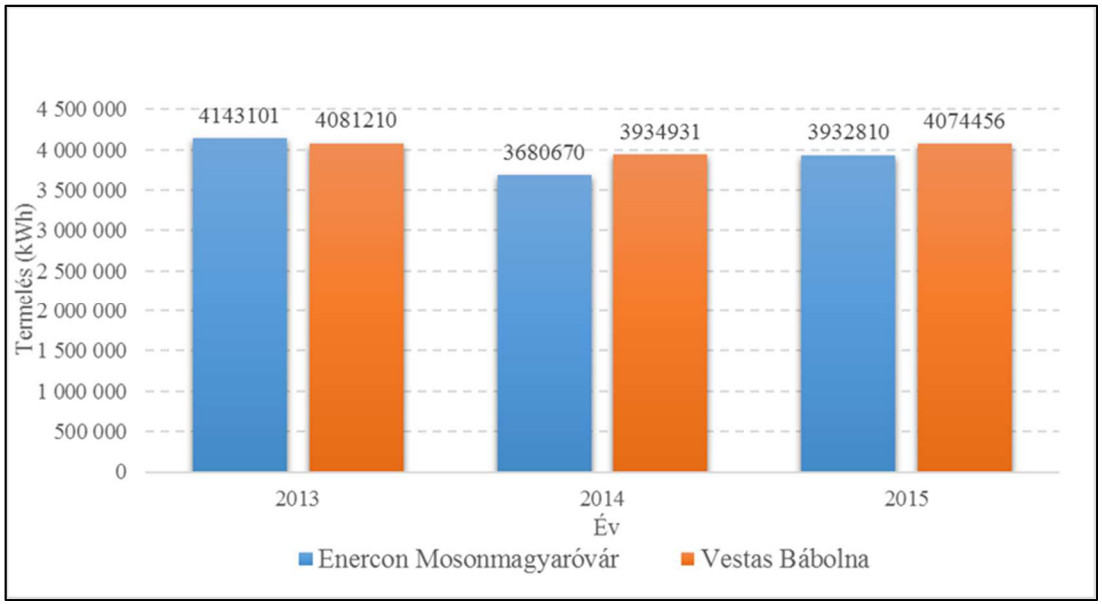
Az elmúlt 3 évben **csupán két olyan hónap volt, amikor a havi szélátlag Bábolnán volt magasabb**, 2013 októberében és 2014 januárjában. Azonban ebben a két hónapban is csak kevéssel, 0,05 m/s-mal haladta meg a mosonmagyaróvári havi szélátlagot. 2013 októberében az uralkodó szélirány kivételesen nem nyugati/északnyugati, hanem keleti/délkeleti volt. Ez eredményezi a bábolnai erőmű által mért szélátlagban a fölényt, hiszen a földrajzi helyzetéből adódóan ez az erőmű délkeletebbre található, mint a mosonmagyaróvári.



13. ábra: Mosonmagyaróvár (113 m) és Bábolna (105 m) szélrózsája 2013 októberében

Az erőművek villamosenergia-termelése

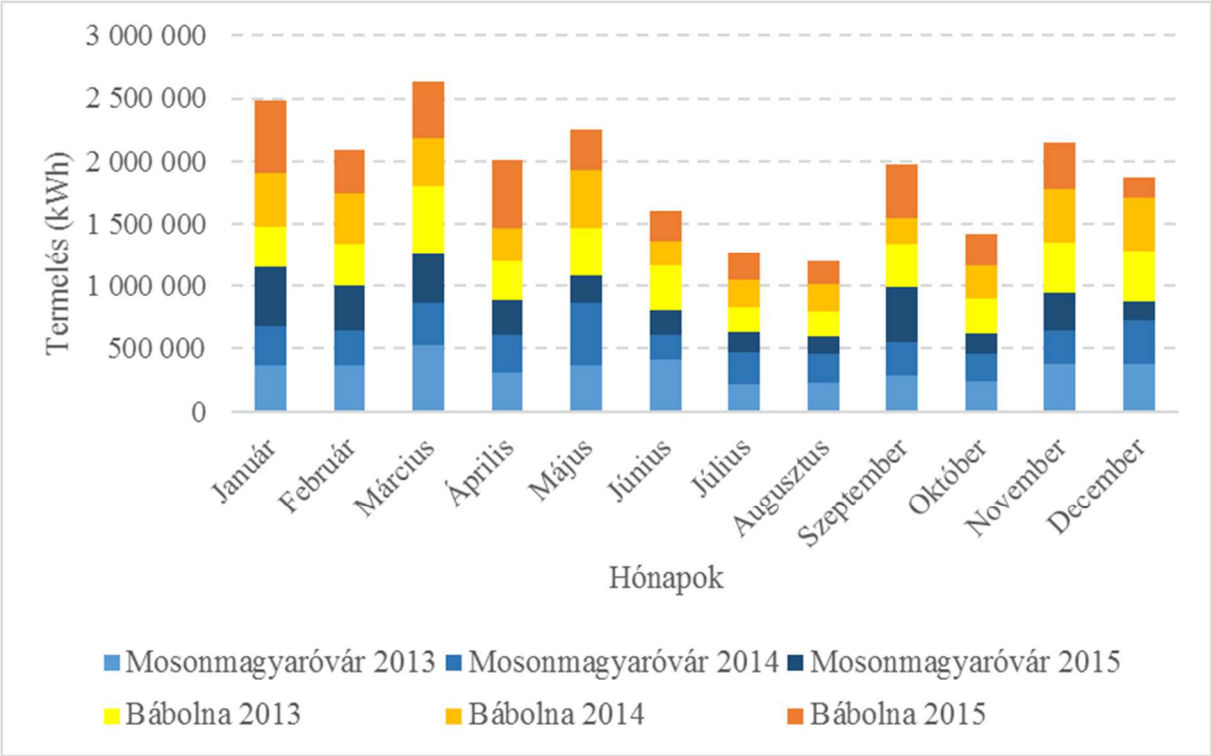
A szélerőművek termelési adatainak a feldolgozásakor figyelembe kellett venni, hogy az adatok tartalmazták a karbantartás és a meghibásodások miatt előforduló leállásokat, amikor az erőművek külső okokból kifolyólag nem üzemeltek. Ezek a szélerőművek üzemeltetéséhez hozzátartoznak. A termelési értékekben és a hatékonyágba ezeket a kimaradásokat is beszámítottuk. Ezek a leállások, vagy meghibásodások a mosonmagyaróvári erőműnél évente átlagosan 40–60 órát jelentenek, a bábolnai szélerőmű esetében valamennyivel kevesebb, évente 30–40 óra leállás fordul elő.



14. ábra: A mosonmagyaróvári és a bábolnai szélerőmű éves termelése

A 15. ábrán látható, hogy a Kisalföldön működő 2 MW teljesítményű erőművek éves termelése 4 millió kWh körül mozog, ami nagyjából 1000 átlagos magyar család éves villamosenergia-fogyasztását fedezi. A vizsgált három év adatai alapján a 2013-as évben termelték a legtöbb villamos energiát.

2014-ben és 2015-ben a bábolnai erőmű több energiát termelt, mint a mosonmagyaróvári. 2014-ben a bábolnai szélturbina 250 ezer kWh-val több villamos energiát termelt, mivel ebben az évben a mosonmagyaróvári erőművet többször szervízelték, és a széljárás miatt valószínűleg ebben az évben érződött legjobban a rövidebb lapáthossz, és a környező erőművek okozta takarások, turbulenciák hatása.



15. *ábra: A két szélerőmű havi termelései az elmúlt 3 évben*

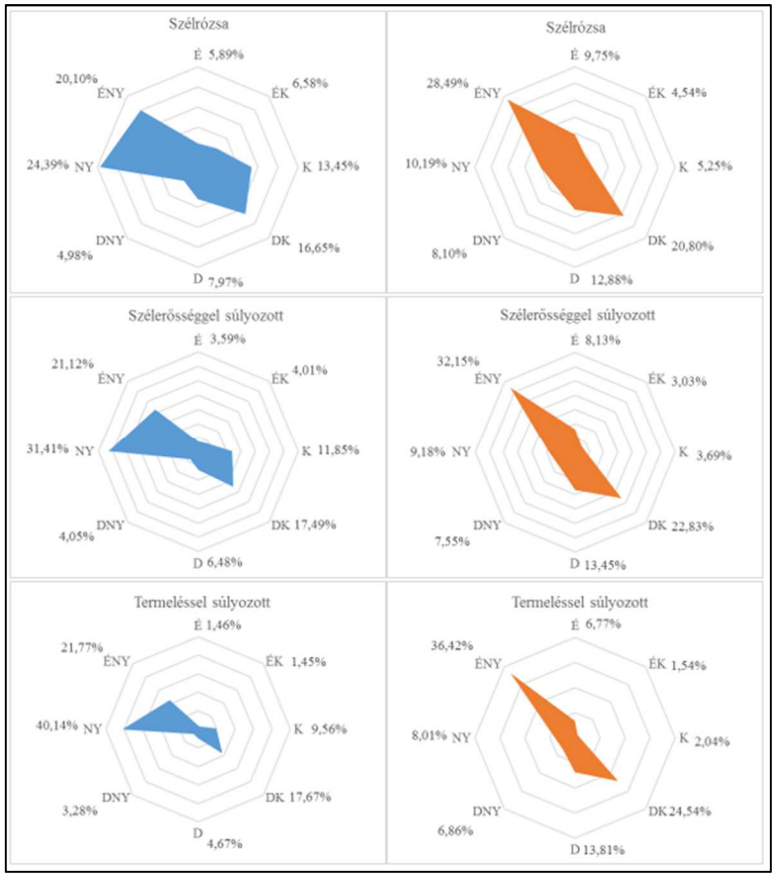
A *15*. ábra a két vizsgált szélturbina elmúlt 3 éves termelését mutatja havi bontásban. Látható, hogy a termelésben mekkora különbségek vannak az egyes hónapok között. A nyári hónapok termelése gyakran fele akkora sem volt, mint egyes tavaszi hónapoké. 2013 márciusában mindkét erőmű 500

ezer kWh fölött termelt, míg 2015 augusztusában egyik erőmű termelése sem érte el a 200 ezer kWh-t. A három év adatait elemezve – akár csak a széljárásban – tavaszi maximum és nyári minimum figyelhető meg a szélerőművek villamosenergia-termelésében. Kimagasló termelés (450 ezer kWh-nál magasabb) a mosonmagyaróvári erőmű esetében három hónapban fordult elő, 2013 márciusában, 2014 májusában és 2015 januárjában. Bábolnán ezalatt a három év alatt 5 hónapban volt kiugró a termelés, 2013 márciusában, 2014 májusában és 2015-ben háromszor, januárban, márciusban és áprilisban.

16. ábra: Az elmúlt 3 év havi termelése Mosonmagyaróváron és Bábolnán

A szélirányok és a termelés közti összefüggés

A 16. ábra az elmúlt 3 évre vonatkozó szélirányeloszlás, szélirányonkénti szélerősség-eloszlás és a szélirányonkénti termeléseloszlását ábrázolja. A szélirányok az adott irányból érkező szélsebesség-átlagokkal súlyozva megmutatják, hogy melyik irányból érkeznek az igazán erős szelek, ezeket az irányokat a termeléssel súlyozott ábrák még jobban kiemelik, mivel termelésben még nagyobb különbségek figyelhetők meg, mint szélerősségben.



17. ábra A szélirányeloszlás a szélerősséggel és a termeléssel súlyozva Mosonmagyaróváron (bal oldalon) és Bábolnán (jobb oldalon)

Mosonmagyaróváron a szél 40%-ban nyugatról, vagy északnyugatról fújt, azonban az ábrán látszik, hogy ezek a szelek adták az energiatermelésnek több mint a 60%-át. Bábolnán is hasonló volt a helyzet, az uralkodó szélirányok (északnyugati és délkeleti szelek) adták a termelés 70%-át, miközben ennek a két széliránynak a gyakorisága nem érte el az 50 százalékot sem. Az ábrák alapján kijelenthető, hogy a **legerősebb szelek északnyugatról és délkeleti irányból** érkeznek a Kisalföldre, míg a többi szélirány energiatartalma kevésbé meghatározó villamosenergia-termelés szempontjából.

A szélerőművek kihasználtságát az elmúlt évekre vonatkozóan kétféleképpen számítottuk ki. A hagyományos számítással az éves megtermelhető energiához viszonyítottam a ténylegesen megtermelt villamos energiát. Ez alapján a mosonmagyaróvári szélerőmű 2013-ban 23,65%, 2014-ben 21,01%, 2015-ben pedig 22,45%-os kihasználtsággal működött. A nagyobb lapáthosszú bábolnai szélerőmű kihasználtsági mutatói a 2013-as évet leszámítva jobbak, 2013-ban 23,29%, 2014-ben 22,46%, míg 2015-ben 23,26%. Tehát a SCHREMPF–TÓTH (2013) által közölt országos 21,5 százalékos kihasználtsági értéket a mosonmagyaróvári szélerőmű egy év kivételével, a bábolnai szélturbina pedig mindegyik vizsgált évben felülmúlta. Ennek okai: szélviszonyokat tekintve a jó földrajzi fekvés, az átlag feletti toronymagasság, valamint a bábolnai erőmű esetében az átlagosnál nagyobb rotorátmérő is. A másik kihasználtsági mutatónál az üzemórák alapján megtermelhető energiát viszonyítottam a ténylegesen megtermelt energiához. Üzemórának az az idő számít, amikor az erőművek ténylegesen energiát termelnek. A mosonmagyaróvári erőmű éves átlagos üzemideje 8000 óra körül van (a maximális 8760-ból), a bábolnai erőmű általában többet üzemel, évente körülbelül 8300 órát. Ez a különbség a működési elvük és a szervizelés gyakorisága miatt van. Az üzemórához viszonyított kihasználtsága a bábolnai erőműnek 2013-ban volt a legmagasabb, 24,21%. 2014-ben 22,95%, 2015-ben 23,9% volt. A mosonmagyaróvári erőmű üzemidőhöz viszonyított kihasználtsága a 2014-es év kivételével jóval magasabb értékeket mutat, 2013-ban 26,14%-ot, 2014-ben 22,82%-ot, 2015-ben 24,72%-ot.

Összegzés

A szélenergia-hasznosítás a technológiai fejlődés, a gazdaságosabbá válása és a kedvező hatásai miatt gyors ütemben terjed, egyes országok villamosenergia-termelésében már napjainkban is komoly szerepet tölt be. A tanulmány célja a magyarországi szélenergetika átfogó bemutatása és két kisalföldi szélerőmű adatainak elemzése volt

A kihasználtsági mutatóik alapján a vizsgált kisalföldi erőművek felveszik a versenyt Európa szárazföldi szélerőműveivel. A kiértékelt adatokból is látszik, hogy semmilyen összefüggés nincs az egyes évek és az éven belüli havi szélirányeloszlások, szélerősségek és hozamok eloszlásai között. Az erőmű üzemeltetők elmondásai is alátámasztják, hogy semmilyen korreláció nem tapasztalható az egyes évek hazai szélviszonyai között, csupán annyi mondható el, hogy a sokéves tapasztalatok szerint általában tavaszi maximum és nyári minimum figyelhető meg. De volt olyan év, amikor egy-egy nyári hónapban sokkal nagyobb szél fújt, mint a tavaszi hónapokban. Az elmúlt években kevésbé domináltak a korábban uralkodónak ítélt nyugatias szelek, a széljárás egyre inkább déli irányba fordul. A változékony energiatermelést hosszútávú energiatárolás megoldásával, rugalmas, gazdaságos tartalék áramtermelő kapacitásokkal, és összehangolt nemzetközi energiarendszerrel lehetne megoldani.

A jelenlegi kisalföldi helyzetről elmondható, hogy a termelés szempontjából a nyugatias szelek a kedvezőbbek, ezeknek mindkét erőmű vonatkozásában érzékelhetően nagyobb volt az átlagos sebességük és így az energiatartalmuk. Ezen kívül még a délkeleti szélirány számít gyakorinak, a többi szélirány gyakorisága és erőssége általában gyengébb volt. A vizsgált erőművek széladatai azt mutatják, hogy a mosonmagyaróvári térség szélviszonyai valamivel jobbak, mint a bábolnaié. Azonban a bábolnai erőmű éves termelése csak a vizsgált évek egyikén volt alacsonyabb, és akkor is csak kevéssel maradt el a mosonmagyaróvári erőmű termelésétől. A legutóbbi két évben a keletebbre fekvő erőmű a gyengébb szélviszonyok ellenére több energiát termelt. Ennek az a legfőbb oka, hogy az erőművek lapáthossza eltérő méretű. A hosszabb lapátú, 2 MW-os 105 méter magas **Vestas szélerőmű jobban megfelel a magyarországi szélviszonyoknak**.

A mai magyar szélenergia helyzetről tehát az mondható el, hogy vannak az országban szélenergetikailag kifejezetten kedvező térségek, ahol még a kevésbé korszerű erőművek is jó kihasználtsággal teljesítenek, azonban a jelenlegi szabályozás nem teszi lehetővé, hogy ez a szektor tovább fejlődjön. Csupán a Cselekvési Tervek oldalain látunk elkötelezettséget, a valóságban azonban semmilyen formában nem támogatják a szélenergiát.

Kutatásunkból azt a végső következtetést vonhatjuk le, hogy elsősorban egy olyan jogi környezetre lenne szükség, amely kedvező feltételeket teremt a szélenergia további fejlődésének, e mellett azonban szakértők bevonására, akik meghatározzák az erőművek legkedvezőbb telepítési helyét, hogy minimálissá váljon a szélviszonyok kiszámíthatatlanságának negatív hatása a termelésre és a tájra gyakololt negatív hatás. A két erőmű összehasonlításából kitűnik, hogy nagyon fontos szempont az adott környezetre leginkább megfelelő szélturbina típus kiválasztása, és a tájolás pontos

meghatározása. Ezen kívül természetesen a természetvédelem aktív bevonása, hogy minimálisra csökkenjen a környezetre gyakorolt esetleges káros hatás. Ha mindezekre megfelelő hangsúlyt fektetünk a tervezéskor és lépést tartunk a techológiai fejlődéssel Magyarországon is megvalósulhatna a szélenergia maximális kihasználása.

Irodalomjegyzék

AHMED, N. A. – CAMERON, M. (2014): The challenges and possible solutions of horizontal axis wind turbines as a clean energy solution for the future. – Renewable and Sustainable Energy Reviews, 38. pp. 439-460.

ALLENDORF, M. – KOCH, S. – WEISE, R. (2002): Windenergieanlagen im Landschaftsbild – Analyse einer Bevölkerungsumfrage in Thüringen. Naturschutz und Lanschaftsplanung, 8. pp 242-246.

ARCHER, C. L. –JACOBSEN, M. Z. (2012): Saturation wind power potential and its implications for wind energy. – Proceedings of the National Academy of Sciences, 39. pp. 15679-15684.

BARTHOLY J. – PÉLINÉ N. Cs. – RADICS K. (2012): Hazánk szélklímája, a szélenergia hasznosítása: Múlt, Jelen, Jövő. – Légkör, 4. pp. 153-155.

BARTHOLY J. – PÉLINÉ N. Cs. – RADICS K. (2014): Változik hazánk szélklímája? A szélenergia hasznosítása. – Természet világa: Természettudományi Közlöny 2. pp. 83-85.

BARTHOLY J.– RADICS K. (2008): Estimating and modelling the wind resource of Hungary. – Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12. pp. 874-882.

BETAKOVA, V. – SKLENICKA, P. –VOJAR, J. (2015): Wind turbines location: How many and how far? – Applied Energy, 151. pp. 23-31.

BLAABJERG, F. –MA, K. (2013): Future on Power Electonics for Wind Turbine Systems. – IEEE Journal of Emerging and Seelected Topics in Power Electronics, 3. pp. 139-152.

CSŐSZI M. – FISKUS O. – DUHAY G. (2005): Szélenergia és természetvédelem. – A Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium Természetvédelmi Hivatala, Budapest, 28 p.

ENDER, C. (2015): Windenergienutzung in Deutschland. – DEWI Magazin, 46. pp. 26-37.

EEA 2009: Europe's onshore and offshorewind energy potencial

ENERGINET.DK É.N.: New record-breaking year for Danish wind power

FERENCZI Ö. (2009): Áramtermelés nap és szélenergiából. – Cser Kiadó, Budapest. 124 p.

GREEN, R. –STAFFELL, I. (2014): How does wind farms performance decline with age? – Renewable Energy, 66. pp. 775-786.

HALLENGA, U. (2009): A Szélenergia hasznosítása. – Cser kiadó, Budapest. 88 p.

HÖGE, C. –MUCHE, T. – POHL, R. (2016): Economically optimal configuration of onshore horizontal axis wind turbines. – Renewable Energy, 90. pp. 469-480.

DR HOSSAIN, . J. (2015): Wind Energy 2050: On the Shape of Near 100% Renewable Energy Grid

KALDELLIS, J. K. – KONDILI, E. (2012): 2.16 – Environmental-Social Benefits/Impacts of Wind Power. – Comprehensive renewable energy, 2. pp. 503-539.

KREWITT, W. – NITSCH, J. (2003): The potential for electicity generation from on-shore wind energy under the constraints of nature conservation: case study for two regions in Germany. – Renewable Energy, 10. pp. 1645-1655.

KUIK, O. – MUSALL, F. D. (2011): Local acceptence of renewable energy – A case study from southeast Germany. – Energy Policy, 39, pp. 3252-3260.

MCFADYEN, M. –WARREN, C. R. (2010): Does community ownership affect public attitudes to wind energy? A case study from south-west Scotland. – Land Use Policy, 27, pp 204-213.

MUNKÁCSY B. (2003): A szélenergia magyarországi alkalmazásának környezeti vonatkozásai. In: Horváth G. (szerk.) A földrajz szolgálatában: A Magyar Földrajzi Múzeum és az Eötvös Loránd Tudományegyetem Tanárképző Főiskolai Karának Földrajzi Tanszéke által a Magyar Földrajzi Múzeum fennállásának 20. évfordulója alkalmából 2003. március 20-án Érden rendezett II. Balázs Dénes Tudományos Előadóülés előadásai. Érd: ELTE TFK Földrajz Tanszék, 2003. pp. 95-101.

MUNKÁCSY B. (2004): A szélturbinák alkalmazásának természetvédelmi vonatkozásairól. – MADÁRTÁVLAT, ISSN: 1217-7156, pp. 15-17.

MUNKÁCSY B. (2008): Szélturbinák a tájban – avagy a szélerőművek és a humán faktor. In.: Munkácsy B. (szerk.) Az energiagazdálkodás és az emberi tényező, ISBN: 978-963-06-4744-1, pp.73-82.

MUNKÁCSY B. (2010): A területi tervezés szorításában - A szélenergia-hasznosítás hazai lehetőségei. In: TERÜLETFEJLESZTÉS ÉS INNOVÁCIÓ, ISSN: 1789-0578, 4: (2) pp. 20-27.

PINEDA EWEA, I. (SZERK.) (2016): Wind in power, 2015 European Statistics

ROMVÁRI R. (2013): A szélenergia múltja, jelene és jövője a vidéki Magyarországon. – A Falu, 2. pp. 71-79.

ROMVÁRI R. (2013): A hazai szélenergia-ipar lehetőségei, figyelemmel a hazai szélpotenciálra és a Nemzeti Energiastratégiában megfogalmazottakra. – A Falu 3. pp. 71-76.

RSPB É.N.: Policy Makers Wind farms (http://www.rspb.org.uk/forprofessionals/policy/windfarms/)

SCHREMPF N. – TÓTH L. (2013): Szélerőművek szerepe ,,A megújuló energia hasznosítása" Nemzeti Cselekvési Tervben. – Mezőgazdasági technika 8. pp 12-15.

SMITH, P. – WANG, S. – WANG, S. (2015): Ecological impacts of wind farms on birds: Questions, hypotheses, and research needs. – Renewable and Sustainable Energy Reviews, pp. 599-607.

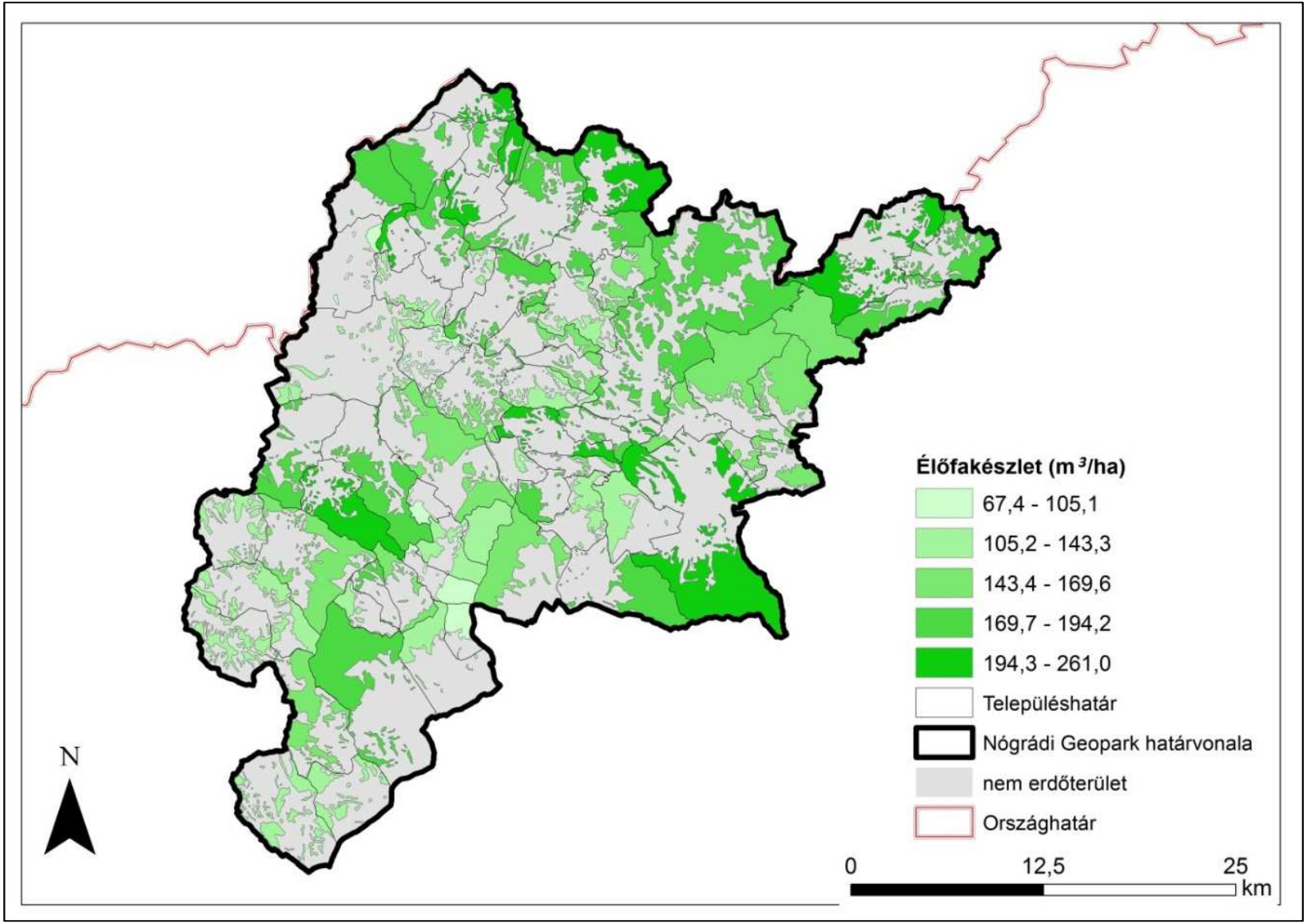
Jogszabály: A Villamosenergiáról szóló 2007. évi LXXXVI. törvény

KORENCSÁK ISTVÁN – MUNKÁCSY BÉLA – BUDAI EDINA – DARABOS GABRIELLA – HARMAT ÁDÁM

Energiagazdálkodás és erdőgazdaság – a tűzifa hasznosításának energetikai megtérülése a Salgótarjáni Erdészet térségében

Bevezetés

A jelenlegi európai energiapolitika központi elemeit az energiaellátás biztonságának erősítése és az éghajlatváltozás elleni fellépés jelentik. Ezekre való hivatkozással az Európai Unió országainak 2020-ra kötelezően el kell érniük a megújuló erőforrások energia ágazaton belüli 20%-os, a közlekedési ágazatban pedig 10%-os arányát. A kutatás fő célja a Novohrád-Nógrád Geopark településein az erdőből származó energetikai célra fenntartható módon hasznosítható biomassza potenciál számítása. Jelen tanulmány ennek egy részproblémáját, az energetikai megtérülést vizsgálja. A Geopark területének erdeit négy erdészet kezeli, amelyek a terület erdeit egymás között felosztják, valamint a Bükki Nemzeti Parknak is vannak kis kiterjedésű erdőrészletei a területen. A négy erdészet a következő: Nagybátonyi, Kelet-Cserháti, Bujáki, Salgótarjáni. Ezen erdészetek közül a Salgótarjáni Erdészet nyújtott betekintést az elkövetkezendő tíz évre (2016-2026-ig) előretekintő üzemtervbe (Erdészeti Szakmai Rendszer online adatbázisából), valamint rengeteg adatot biztosított az erdészet kezelése alatt álló tíz településre, ami öt erdőkerületre bontható (adatok az Országos Területfejlesztési és Területrendezési Információs Rendszer (TeIR) adatbázisából). Az országos települési szintű adatokkal az erdőállomány elmúlt 6 évben végbement változását vizsgáltuk. A geopark területi kiterjedésének nagysága miatt, illetve a többi erdészet elzárkózó magatartása okán az egész területre a részletes adatok nem álltak rendelkezésre.



18. ábra: Élőfakészlet a Novohrad-Nógrád Geoparktelepülésein 2014-ben (szerkesztés: Korencsák I., az adatok forrása: TeIR adatbázis)

Erdei biomassza lehetséges energetikai szerepe Magyarországon és az Európai Unióban

Az EU-országokban a faültetvények folyamatos növekedése tapasztalható. 2020-ra az erdőgazdálkodás és a fafeldolgozó ipar energetikai célokra történő termelése játszhatja a fő szerepet a bioenergia-előállításában. Az erdőkből származó lehetséges biomassza kínálat lényeges változása 2030-ig nem várható, azonban a potenciális faipari hulladékok mennyisége várhatóan mintegy 30%-al fog növekedni.

Magyarország *2,07 millió hektár* erdőterülettel rendelkezik, erdei biomassza produktumunk 264,9 millió tonna száraz anyagot tesz ki (FRA 2015). A 2015. évre a becslések szerint az erdőgazdálkodásból származó biomassza mennyisége 3,1 millió köbméter, amely *22,32 PJ/év* energiát jelent (NFM 2011). Hazánk a 2010-2020 között hatályos Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Tervben célul tűzte ki azt, hogy az energiafogyasztásban 2020-ra eléri a *14,65 százalékos* megújuló energia részarányt amelyhez a becslések szerint évi 7,8–8 millió tonna/év biomassza szükséges (NFM 2011). Jelenleg hazánk esetében a kitermelt biomassza bruttó 1,43 TWh elektromos energia megtermelésére ad lehetőséget (EUROBSERV 2015), ami a 48,4 TWh áramfelhasználásunk csekély hányada.

Nemzetközi összehasonlításban a megújulókból származó villamos energia, az Európai Bizottság 2012–es adatai szerint 723,2 TWh az Európai Unió 27 tagállamában, amelyből a biomassza (mind a szilárd, mind a biogáz) eredetű energia mennyisége 129,6 TWh (EUROPEAN COMMISSION 2014). Németország, Franciaország és Svédország használja fel a végső felhasználásra, eltüzelésre kerülő biomassza 42%-át (54,4 TWh). Utánuk következik Finnország és Olaszország. Az akciótervek szerint a 2020-ra Franciaország lehet a legnagyobb biomassza-felhasználó az Unió tagországai közül (EUROPEAN COMISSION 2014). Az elektromos áram előállítása terén az Egyesült Királyság lesz a jelentősebb szilárd biomassza felhasználó 13,85 TWh-val (köszönhetően a környezeti szempontból erősen kétséges folyamatnak, amely lényege a rossz hatásfokkal dolgozó nagyerőművek tüzelőanyagváltása) (EUROBSERV 2015). Hasonlóan kedvezőtlen a helyzet hazánkban is, hiszen erőműveinket a kénkibocsátás csökkentésének kényszere hívta életre, így a pécsi, borsodi és ajkai, mind szén tüzelőanyagról átalakított erőművek, amelyeket az átállás nélkül 2004-re be kellett volna zárni. Akad azonban pozitív példa is, amikor a

méretgazdaságosságot, a megtérülést, valamint a fenntarthatóságot szem előtt tartva építenek erőműveket. Körmenden egy 5 MW. Szombathelyen egy 7,5 MW teljesítményű biomassza alapú fűtőmű biztosítja mintegy 2000-2000 lakás, valamint számos középület távfűtését és melegvíz-szolgáltatását. Pornóapátiban két 600 kW fűtőművel oldják meg a távfűtési rendszer hőellátását, az alapanyagot a környező erdők szolgálják. A fent említett példák esetén szinte mindenhol a közvetlen környezetben fellelhető biomassza szolgáltatja az tüzelőanyagot, azonban a nagyobb erőműveknél már előfordul az importált tüzelőanyag is (például a borsodi erőműnél) (PAPPNÉ 2010).

A Novohrad-Nógrád Geopark legfőbb földrajzi jellemzői

Elhelyezezkedését tekintve a geopark Magyarország északi és Szlovákia déli határa mentén fekszik. A közigazgatási területéhez 64 magyarországi, valamint 28 szlovákiai település tartozik. Teljes területe 1610 km^2, amelyből 1272 km^2 hazánk területén található, 338 km^2 pedig Szlovákiában. Az itt élő népesség száma közel 150 000 fő. Magyarországi területén több kisebb-nagyobb kistérség tartozik ide, például a Salgótarjáni és a Szécsényi Kistérség, szlovák oldalról pedig a Rimaszombati és a Losonci (UNESCO 2015/b).

A geopark éghajlata a relatíve „kis” kiterjedéshez képest változatos, területén az óceáni és a szárazföldi éghajlat is érezteti hatását. Klímája általánosan tekintve mérsékelten hűvös és mérsékelten száraz. Az egyes kistájak közötti mezoklímatikus eltérések okai elsősorban a változatos domborzati viszonyokban keresendők, amelyek közül a kitettség és a tengerszint feletti magasság meghatározó tényezők. A napsütéses órák száma meglehetősen alacsony, az évi napfénytartam többnyire 1900-1950 óra. Az évi átlag középhőmérséklet is viszonylag alacsony, 8,5-9 °C körül alakul. A mező- és erdőgazdálkodás szempontjából fontos, vegetációs időszaki átlag középhőmérséklet sem túl magas, körülbelül 15,5-16,8 °C között mozog. Az éves csapadékérték átlagosan 600 mm, ebből a vegetációs időszakra 340 mm jut. Míg a hegységek hűvösebb, csapadékosabb klímája az erdőknek kedvez, addig a dombságok területén az erdészet és a mezőgazdálkodás osztozik. A Cserhátalja, a Terényi-dombság, a Szécsényi-dombság, a Karancs, a Litke-Etesi-dombság és a Medves-vidék területén az erdők dominanciája jellemző, amely kistájak ezáltal potenciális biomassza-forrásnak tekinthetők.

Talajviszonyait tekintve a területet mintegy 85-86%-ban erdőtalajok uralják. Felszíni vizei két nagyobb folyó, az Ipoly és a Zagyva vízgyűjtő területéhez tartoznak. A területen jelentősebb természetes állóvíz nem fordul elő (NÓGRÁDI GEOPARK EGYESÜLET 2014).

Erdősültség és biomassza energetikai felhasználásának lehetőségei

A megyei területfejlesztési koncepció 2012. évi adatai szerint az erdők a megye területének 38 százalékát fedik le. A geopark magyarországi településeinek esetében az összesített erdőterület *56620 hektár,* amelyek közül Salgótarján rendelkezik a legnagyobb erdőterülettel, 4988 hektárral. Ezen a több mint 55 ezer hektár erdőterületen *9,65 millió köbméter (m^3)* élőfakészlet található. A legfrissebb Földművelésügyi Minisztérium által kiadott tájékoztató szerint országunkban 1 940 000 hektárnyi erdőterület található, ezáltal a geopark birtokolja országunk erdeinek 2,8%-át (FÖMI 2015). Faállományok szempontjából a fafajcsoportokat figyelembe véve a kemény lombos társulások dominanciája jellemző. Közülük is a tölgy, cser és legnagyobb területi részesedéssel bíró akác a meghatározó. Fenyőfélék közül a megyében legnagyobb területen az erdei fenyő van jelen (KSH 2013). A térségben évente több mint *600 ezer m^3* faanyag „termelődik", melyből tervszerű és fenntartható erdőgazdálkodás mellett a kitermelhető fa mennyisége megközelítőleg *350 ezer m^3/év*, melyből 50-60 ezer m^3 energetikai célra hasznosítható. A területfejlesztési koncepció alkotói szerint *„a biomassza energetikai hasznosításában a fő felhasználási terület a termőterülethez viszonylag közeli fűtési célú hő, valamint a használati melegvíz előállítása, közösségi és egyéni hőtermelő berendezésekben. A szükséges eszközök, berendezések gyártása az újraiparosítás egyik fontos helyi iránya lehet Nógrád megyében, ahol régóta foglalkoznak tüzelőberendezések gyártásával*" (NÓGRÁD MEGYE TERÜLETFEJLESZTÉSI KONCEPCIÓJA 2013). Erdei biomassza felhasználásán alapuló erőművek már találhatóak a megyében, de szerencsére nagyobb erőmű (ami magában hordozná a rossz energetikai hatékonyságot) itt nem üzemel. Balassagyarmaton a fűtőműben egy 2,5 MW-os és egy 4 MW-os kazán található. Előkészítési fázisban megrekedt két kiserőmű: a Salgótarjánba 12,5 MW kapacitással tervezett biomassza-erőmű, amely a városi távfűtés jelenlegi hőigényének 60 százalékát volna hivatott fedezni, valamint a Mátraterenye külterületére tervezett 20%-ban biomasszával, nagyobbrészt azonban nógrádi és borsodi szénnel üzemelő 49,9 MW-os erőmű létesítése (NÓGRÁD MEGYE TERÜLETFEJLESZTÉSI KONCEPCIÓJA 2013).

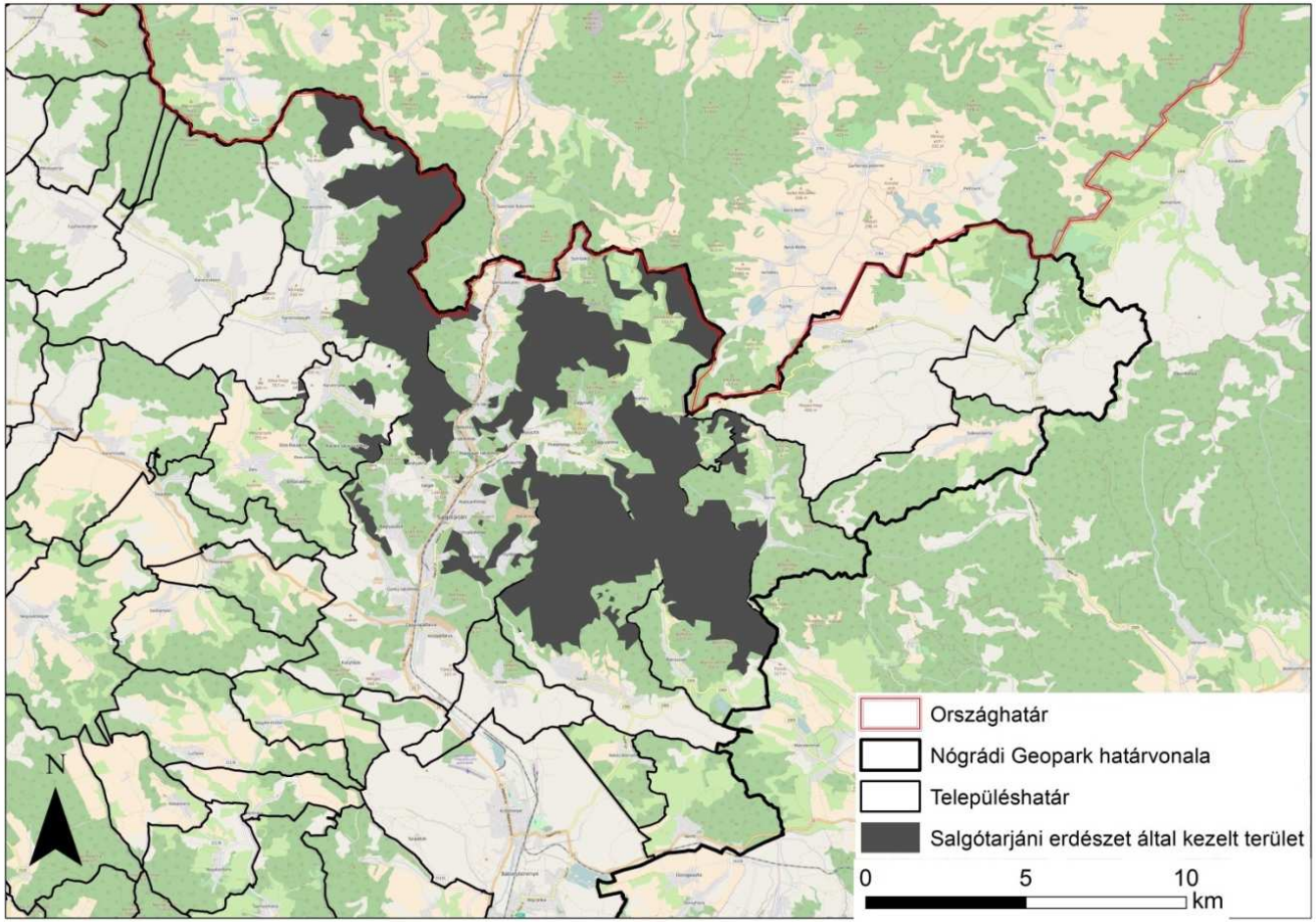
A Salgótarjáni Erdészet bemutatása

A Salgótarjáni Erdészet földrajzi fekvését tekintve a geopark északkeleti részén található erdőterületeket kezeli. Az erdészet kezelése alá *7477 hektár erdő* tartozik, amelynek 33%-a gazdasági rendeltetésű erdő (2496 ha), 62%-a pedig védelmi rendeltetésű erdő (4695 ha). A kezelt erdőknek több mint a fele áll védettség alatt, amelyből 380 hektárnyi erdőterület a Karancs-Medves Tájvédelmi Körzetben a fokozottan védett kategóriába tartozik, tehát területén nem folytat gazdálkodást az erdészet. Az erdészeti kezelés tíz településre terjed ki, amelyeket öt erdőkerületbe osztottak be (2. táblázat)

2. táblázat: Erdőterületek és kiterjedésük (Szerkesztés: Korencsák I., adatok forrása: Erdészeti Szakmai Rendszer adatbázis)

Helységnév	**Erdőterület (hektár)**
Bárna	179
Karancsalja	347
Karancsberény	1 046
Karancslapujtő	539
Kazár	1 582
Mátraszele	783
Salgótarján	1 484
Salgótarján-Somoskő	148
Salgótarján-Zagyvar.	1 191
Somoskőújfalu	172
Összesen	**7 477**

A Salgótarjáni Erdészet által kezelt erdők közel 40%-a természetszerű erdő, amelyekben a hatályos erdőtörvény (*2009. évi XXXVII. törvény 7.§*) értelmében *az idegenhonos és az erdészeti tájidegen fafaj(ok) elegyaránya nem több 20%-nál*, és mindösszesen háromszázad százaléka faültetvény. A Salgótarjáni Erdészet állami erdészet, területein megtalálhatók a Bükki Nemzeti Park erdőrészletei, valamint jelentős területű magánerdő is, amelyek nagy része akácos.

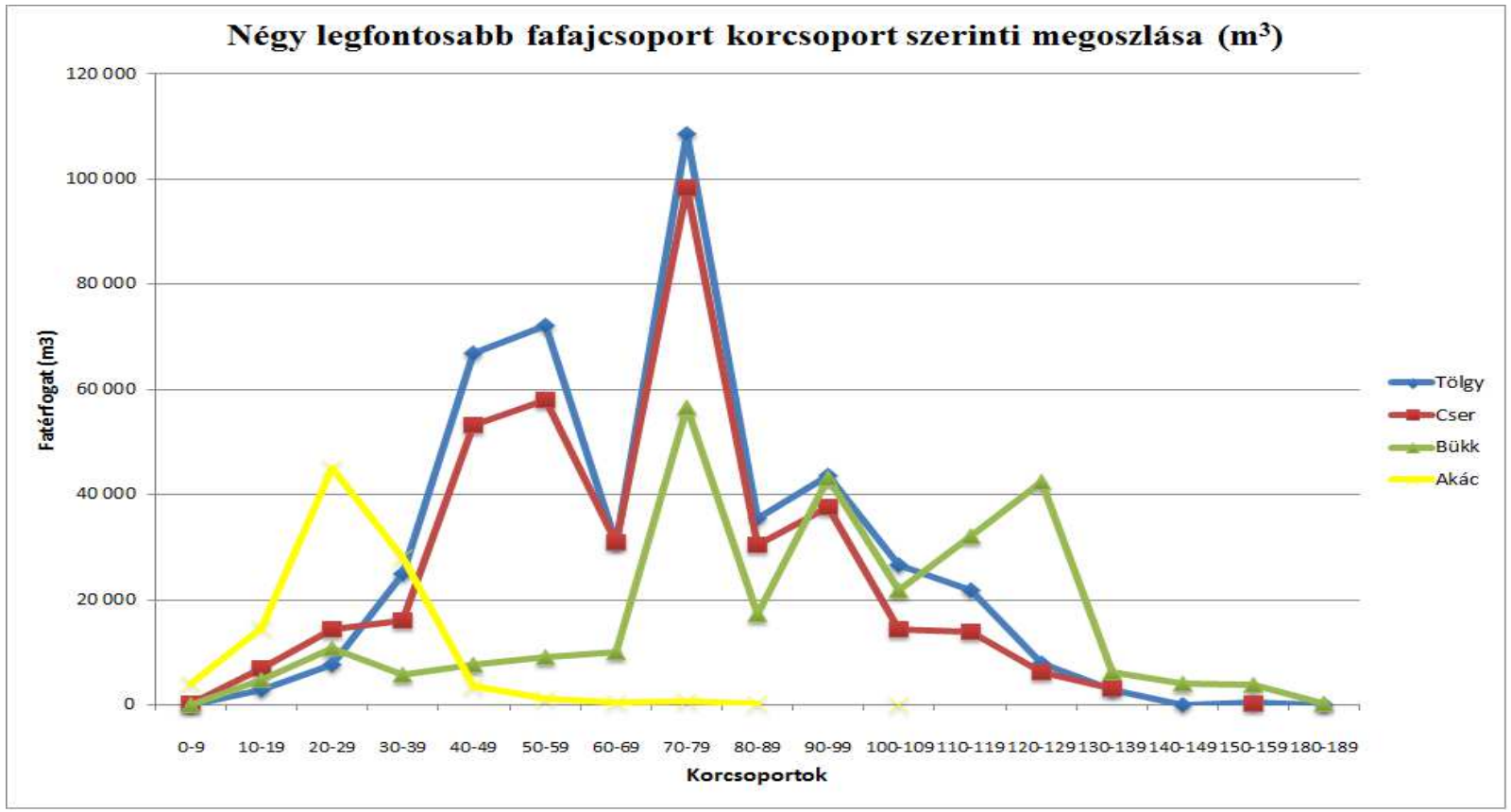


19. ábra: Salgótarjáni Erdészet által kezelt területek (Szerkesztés: Korencsák I., adatok forrása: TEIR adatbázis)

A Salgótarjáni Erdészet által kezelt erdőállomány fafajainak bemutatása

Az erdészet kezelése alatt álló területek nemcsak elhelyezkedésüket tekintve mutatnak mozaikosságot, hanem fafaj-összetételük alapján is. Hazánkban az élőfakészlet *85%-át* a mérsékelt övi lombos erdők zónájába tartozó fafajok alkotják. Ezt az arányt figyelhetjük meg a Salgótarjáni Erdészet erdeiben is. Az erdészeti üzemtervek négy, a területeken legnagyobb arányt képviselő fafajt számszerűsítenek: *a tölgyet, a csert, a bükköt és az akácot*. Ez a négy faj az összesített erdőterület *74%-át* borítja, az *élőfakészlet 82%-át* adja. Az erdészet területén 1,5 millió m^3 élőfa található. A területen nagy mennyiségben fordulnak elő fenyvesek is, melyek fő alkotófája az erdei fenyő, amely azonban többnyire rostfaként, a papírgyártás fő alapanyagaként hasznosítható. A túlzott fenyvesítés a szocializmus idejére volt jellemző a területen, mivel az ország a hazai papírgyártás fokozását tűzte ki célul. Ennek eredményeként még ma is sok fenyves található a salgótarjáni erdőkerületekben, amelyek legnagyobb része 40-50 éves kor között van.

Korösszetétel szempontjából is jelentős eltérések figyelhetők meg a különböző fafajok között. Míg a tölgy, a cser, és a bükk esetén legnagyobb élőfakészlettel a 70 és 79 éves korcsoportba tartozó egyedek rendelkeznek, az akác esetén 20 és 29 éves kor között található a legnagyobb készlet (20. ábra).



20. ábra: Tölgy, cser, bükk, akác korcsoportok szerinti megoszlása, köbméterben kifejezve (szerk.: Korencsák I., az adatok forrása: Erdészeti Szakmai Rendszer adatbázis)

Az összesített adatok szerint az erdészet erdeinek fakészlete is a *70 és 79 éves korcsoportba* tartozik, amely előrevetíti azt, hogy folyamatos szálaló vágással, valamint felújító vágásokkal az erdészet hosszú távon rendelkezik elegendő famennyiséggel. Az erdészet területein az úgynevezett özönfajok közül az akác és a *japán keserűfű* van nagy arányban jelen. Terjedésük szinte megállíthatatlannak tűnik, hiszen a villanypóznák mentén a magasabban fekvő, értékesebb területekre is képesek felhatolni.

21. ábra: Japán keserűfű a vizsgált területen (Munkácsy B.)

Ezen a téren a természetvédelem és az erdőgazdálkodás közötti véleménykülönbség alapját az képezi, hogy az erdészetek szeretik a fehér akácot, mert gyors vágásfordulójú, anyagát tekintve pedig erős, masszív faanyagot jelent.

Lényeges kérdés, hogy a területen milyen arányban oszlik meg a tűzifa, illetve az ipari fa aránya. Szóbeli közlés (Kirisics Lajos) szerint az *akác* esetében a *legmagasabb a tűzifa aránya*, az összesített mennyiséget tekintve mintegy *70%*. A maradék 30% ipari faként hasznosul. A *tölgy, a bükk, a cser* esetében ez az arány az előző fordítottja, ugyanis ezen fafajok kitermelt faanyagainak 70%-a ipari faként hasznosul, ameddig a maradék *30 százalék kerül csak tűzifának*. A piac szabályozza az ipari fából részesedő papíranyagként történő felhasználást, ami esetenként elérheti a 15%-ot is. Az akác magas részarányát a tűzifa-felhasználásban gazdasági okok magyarázzák, ugyanis a hamarabb termő akác ára tartósan olcsóbb, ezáltal tűzifának leginkább ezt vásárolják. Fontos még a későbbi energia-megtérülési számítás szempontjából az is, hogy tűzifa esetén a szállítás távolság egy 20 km sugarú körben lehatárolható, amíg papírfa esetén ez 200 km sugarúvá válhat. Ipari fa esetén a távolság mozgatórúgója a piaci ár, aminek köszönhetően a salgótarjáni erdészet sokszor szállít Szlovákiába, Romániába és országunk távolabbi pontjaiba is rönkfát.

Az akác okozta természetvédelmi problémák

Az akác (fehér akác *(Robinia pseudoacacia)*) telepítése természetes/természetközeli erdőkbe bár gazdasági szempontból előnyös, számos természetvédelmi-ökológiai problémát eredményez. Ez a fafaj csak jó termőhelyen (pl. domb- és hegyvidéken a kocsánytalan tölgy, vagy síkvidéken a kocsányos tölgy termőhelyén) ad nagy fatermést. Fényigényessége és erős gyökérkonkurenciája miatt más fafajjal nehezen társítható. Az akácosok megjelenésük óta, a hazai természetes élőhelyek kiterjedéséből jelentős területeket foglaltak el. Általános térhódításukkal csökkentik a Kárpát-medence természetszerű élőhelyeinek területét, és ezáltal természeti tájaink biológiai sokféleségének megőrzési esélyeit.

További kedvezőtlen hatás, hogy az akác megjelenésével jelentős mértékben átalakítja a természetszerű erdei életközösségek összetételét. Az akácelegyes állományok lombkorona szintjében a felújulás időszakában terjeszkedik rohamosan. Földre kerülő lombja gátolja más fajú növényegyedek csírázását, fejlődését (allelopatikus hatás), és ezáltal szelektálja az erdei növényzetet. Részben a lehulló akáclomb magas nitrogéntartalmának, részben a hajszálgyökerein élő Rhizobium-baktériumoknak köszönhetően a feltalajban nitrogénfeldúsulás következik be, aminek eredményeként az alsóbb szintekben az eredeti cserje- és gyepszint helyén jellegzetes nitrofil fajok (pl. fekete bodza (*Sambucus nigra*), vérehulló fecskefű (*Chelidonium majus*), tyúkhúr (*Stellaria media*), nehézszagú gólyaorr (*Geranium robertianum*)) jelennek meg, illetve terjednek el. A magas nitrogéntartalom egyben a talaj teljes szervesanyag-készletének gyorsabb lebomlását, és ezáltal bizonyos talajtulajdonságok és a CO_2-mérleg romlását is okozhatja.
Az erősen terjeszkedő akác hatására az „eredeti” természetes / természetszerű életközösségek fajszáma rendszerint csökken és főleg az érzékenyebb (ún. specialista) fajok kiszorulnak, illetve eltünnek, utat nyitva a növényzetben fokozatosan dominánssá váló már említett nitrofil gyomoknak, valamint a zavarástűrő és generalista fajoknak.

Az akácra jellemző kedvező kompetíciós tulajdonságok (pl. igénytelenség, agresszivitás, kiváló területtartó képesség) jelentősen átalakítják a természetszerű erdei életközösségekre jellemző dinamikát. A kárpát-medencei erdei életközösségek nincsenek felkészülve a jelentkező hatásokra, ezért a természetszerű erdőkre jellemző „szokásos” vegetációdinamikai folyamatok részlegesen vagy teljesen háttérbe szorulhatnak, továbbá az eredeti

szukcessziós mechanizmusok megváltozhatnak. Mindezek által az erdőkben az összetételbeli és strukturális változások erősödhetnek és végeredményben a regenerációs lehetőségek kedvezőtlenül alakulhatnak.

A fentiek alapján látható, hogy az akác kontroll nélküli terjeszkedése hazai tájainkon végső soron, különösen az erősen fragmentált erdőtakarójú területeken a természetszerű erdők teljes eltűnéséhez vezethet (BARTHA és mtsai, 2014).

Salgótarjáni Erdészet 2016-2026-ig tartó üzemtervének elemzése

Az üzemtervet minden erdészet a saját maga által kezelt területekre készíti el, több éves távlatokra, a tervezett erdőgazdálkodási folyamatokat számszerűsítve. Ennek az üzemtervnek az összefoglaló kivonata alapján végeztük a kutatómunkát. A tervben a területen megtalálható négy legfontosabb fafajcsoportra (tölgy, cser, bükk, akác) vonatkozólag a különböző használati módokat számszerűsítik, azokat bruttó m^3/év-ben, valamint ha/évben adják meg. Így vizsgálható az, hogy az adott fafaj esetében az elkövetkezendő tíz évben különböző vágásmódok szerint mekkora mennyiséget kívánnak letermelni, és azt mekkora területről. Az adatok tíz éves időintervallumra vannak megadva, ezáltal a végeredményeket tízzel kell osztani ahhoz, hogy a tervezett éves termelési értéket és vágásokat megkapjuk.

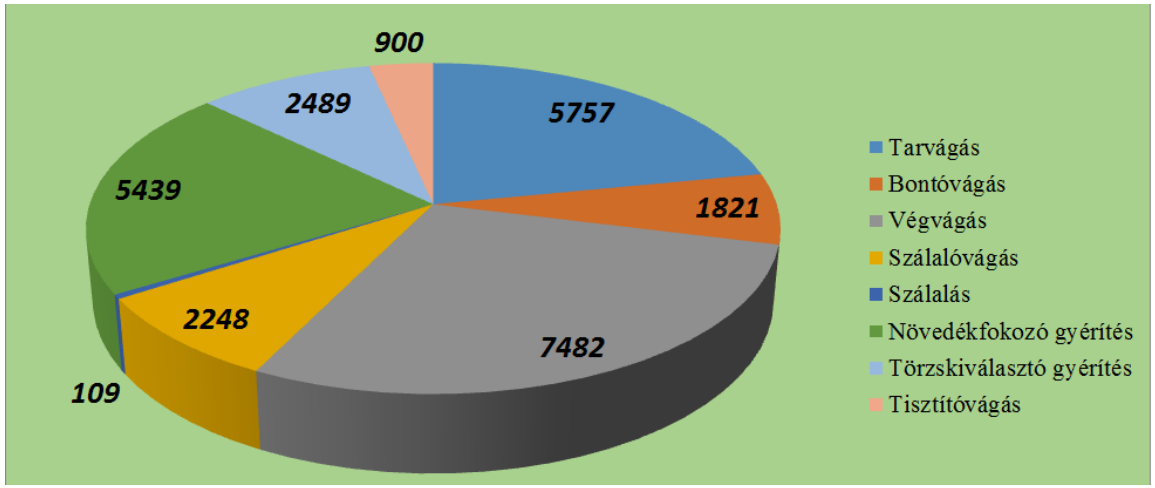
Az üzemterv elemzését a különböző erdőművelési módszerek bemutatásával, használati módok megkülönböztetésével érdemes kezdeni. Ez fontos, mivel a későbbi energia-megtérülési számítás előtt össze kellett gyűjteni azokat a folyamatokat és műveleteket, amelyeket az erdészet az erdőművelés során alkalmaz. Ennek bonyolultsága főleg abban rejlik, hogy az erdőművelés több módon is végbe mehet. Ezt a végső fázis, a fakitermelés módja is jól tükrözi.

Mindenekelőtt, két vágás típust kell megkülönböztetni: termelési és nevelő vágásokat. A termelés történhet végvágással, szálaló vágással vagy tarvágással. A tarvágás során a teljes vágásérett állomány kitermelése egy ütemben történik meg. Ez a módszer főleg az idegenhonos fafajból álló erdőkben használatos, például fafajcsere esetén (TAKÁCS 2004). Azonban *„a védelmi és közjóléti elsődleges rendeltetésű, 7.§ (1) bekezdés a), b) és c)*

pontja szerinti természetességű, állami tulajdonú erdőben a tarvágás tilos" (2009. évi XXXVII. törvény 10.§), ezáltal, mivel az erdészet nagy része védett, a tarvágás az országos átlagnál ritkább. A szálalóvágás természetes erdő felújítási mód, eredménye egy vegyes korú erdőállomány, a felújítás ideje 30-60 év. Az erdőben az állományalkotó faegyedek kor és méretbeli eloszlása a felújítás időtartamától és az egyes beavatkozások erejétől függ (TAKÁCS 2004).

Nevelő vágások tekintetében megkülönböztetünk növedékfokozó gyérítést, tisztító vágást és törzskiválasztó gyérítést, valamint külön csoportként kezelhetjük a szálalást (nem keverendő a szálalóvágással) is. A szálalás a folyamatos erdőborítást lehetővé tévő erdőgazdálkodási forma, amikor a faállományok évről évre megismétlődő, állandóan folyó, szálanként történő kitermelése zajlik úgy, hogy az egész faállomány szerkezetében lényeges változás ne álljon elő (KERESZTES–MEGGYESFALVI 2006).

Az erdészeti üzemtervet a kezelt területeken fellehető négy fő fafajcsoportra állt rendelkezésre. A végeredmény egy évre bontva **bruttó** *26245 m^3 kitermelt fa* – beleértve ebbe azt a fatömeget, melléktermékét, amelyet a területeken hagynak. Ilyen, erdőben hagyott faanyag, az úgynevezett holtfa, amely természetvédelmi szempontból kiemelkedő fontosságú, ugyanis rengeteg fajnak természetes élőhelyet biztosít, és fenntartja az erdők természetes ökológiáját. A biodiverzitás egyik alapja, ugyanis specializálódott fajoknak teremt élőhelyet, mint például hazánk esetén is, ahol 62 mohafaj fordul elő holtfán, emellett számos nagytestű madárfaj fészkelőhelyének csak ezek alkalmasak (így például a fekete gólya) (DUDLEY et al. 2004).
A kitermelt mennyiség tekintetében leginkább a növekedést fokozó gyérítés, a törzskiválasztó gyérítés, valamint a tisztítóvágás esetén (tehát összességében a nevelő vágásoknál) van nagy eltérés a bruttó és nettó kitermelt mennyiség között. Ez számokban úgy jeleníthető meg, hogy növekedésfokozó gyérítés esetén a bruttó mennyiséget szorozzuk 0,9-el, törzskiválasztó gyérítés esetén 0,8-al, tisztítóvágásnál 0,4-el. Ezeket a nettó kitermelhető mennyiség esetében figyelembe kellett venni. A bruttó kitermelt faanyag, mint ahogy az a 22. ábra érzékelteti, legnagyobb arányban végvágás, tarvágás, és növekedésfokozó gyérítés történik a területen. Éves szinten összességében 26245 m^3 fa letermelése a cél. Ez területi dimenzióban évenként ***400 hektár letermelt erdőterületet jelent***.



22. ábra: Fakitermelési módok a Salgótarjáni Erdészet területein (m³) (szerk.: Korencsák I., az adatok forrása: Erdészeti Szakmai Rendszer adatbázis)

Az energiamérleg számítása és annak eredményei

Számításunkat *egy hektár, természetesen felújított tölgyes erdőre végeztük*. A módszertan alapját Scheibenhoffer Máté 2013-as diplomadolgozata adta (SCHEIBENHOFFER 2013), amely a Bakonybéli Erdészet egy hektár mesterségesen felújított bükkösére számolt energia megtérülési mutatót. Esetünkben a számítás menete hasonló, a faanyag életciklusát az erdőművelés, szállítás, feldolgozás és energiatermelés szakaszokra kellett bontani, azonban az eltérő kezelési mód, és a teljesen más hasznosítási terület miatt az eredmények nagy differenciát mutatnak (**Hiba! A hivatkozási forrás nem található.**).

Az életciklus első szakaszában az erdőművelés folyamata zajlik. Természetes felújítás révén nincs szükség ültetésre, a pótlás is manuálisan történik, ékásóval. Pótlásra akkor lehet szükség, ha vannak az állományban nem eléggé felújult foltok, vagy károsítás (aszály, fagy, rovar) történik. A pótlás után a folyamatban lévő erdősítés ápolása történik, amelyet évente végeznek el, 5-10 éves időintervallumban. Itt kapát, sarlót és sújtókést használnak. Ezután a befejezett erdősítés ápolása történik meg, amelyhez szintén, mint az összes eddigi folyamathoz, kizárólag emberi erőt vesznek igénybe. Ezt a folyamatot kétszer kell végrehajtani, eszközök a Göller-olló, a fejsze, és a sújtókés. Az ápolási munkák során leginkább a területen lévő gazoktól tisztítják meg a még fiatal erdőt.

A felújítás utolsó fázisának tekinthetjük a tisztítást. Ez az első olyan erdőművelési folyamat, amely faanyagot termel. Kettő tisztítási folyamatot végeznek el, az első tisztítás alkalmával az állomány nagyon sűrű és vékony, a kikerülő faanyag legtöbbször az erdőben marad. Az első tisztítási munka alkalmával az eszközök a fejsze és a motorfűrész. A motorfűrész 3 liter benzint használ el egy hektár esetén. A benzin fűtőértékét tekintve sok adat van forgalomban, ezeket átlagolva a fűtőértéket 33 MJ/l-nek vettük. A második tisztítás alkalmával kizárólag motorfűrészt használnak, itt az állomány már erősebb, bruttó 10, nettó 5 köbméter fa keletkezik, amelyet a lakosság szed össze tüzelőnek. A motorfűrész fogyasztása ebben az esetben is 3 liter egy hektáron, így a kettő tisztítás során 6 liter benzint fogyaszt el, ami 198 MJ energia felhasználást jelent, a felújítási folyamatok során. A felújítás befejezése után az ötödik évben történik meg a felújítás revíziója, amelyet az erdőfelügyelet végez el. Itt az előre tervezett célállománynak megfelelő darabszámmal és mérettel kell rendelkezni. Ha ez nincs meg, akkor az erdőt visszaléptetik, és a gazdálkodót megbírságolják. Ezek után következnek a tényleges fatermelési folyamat, amelyet 10 évre előre, erdőtervekben határoznak meg, és végeredményben mintegy 24 660 m^3 fa kitermelését jelenti évente.

Első lépésként az állományban körülbelül 20 éven keresztül törzskiválasztó gyérítéseket végeznek, amellyel az állomány megerősítése, megfelelő növekedés kialakítása a cél. Ezt motorfűrésszel végzik el, amellyel az első törzskiválasztó gyérítés alkalmával 8 liter benzint, a második alkalomnál pedig 14 liter benzint fogyasztanak el, ami által a két gyérítés folyamán 726 MJ energiafelhasználást jelent. Az **első gyérítés során a tényleges kihordott faanyag 15 m^3, a második gyérítésnél pedig már 25 m^3** (itt, és a továbbiakban is nettó adatok szerepelnek ahol nem vesszük figyelembe a

hasznosíthatatlan, túl vékony gallyakat, a tuskót, a vágási apadékokat, csak a ténylegesen hasznosítható faanyagot - a bruttó faanyag ennek körülbelül a másfélszerese).

3. táblázat: 1 hektár tölgyes faanyagának életciklusa és energiamérlege EROEI számítás alapján

Erdőművelési folyamatok					
Tevékenység	Eszközök	Faanyag mennyisége (m^3/ha)	Felhasznált üzemanyag mennyiség (liter/ha)	Befektetett energia (MJ/ha)	A fatömeg fűtőértéke (MJ/ha)
Pótlás	Ékású	-	-	-	-
Folyamatos ápolás	Kapa, sarló, sújtókés	-	-	-	-
Befejezett ápolás	Göller olló, fejsze	-	-	-	-
Első tisztítás	Fejsze, motorfűrész	-	3	99	
Második tisztítás	Motorfűrész	5	3	99	53 978
Törzskiválasztó gyérítés	Motorfűrész LKT	15	8 45	264 1845	161 935
Törzskiválasztó gyérítés	Motorfűrész LKT	25	14 75	462 3075	269 892
Növedékfokozó gyérítés	Motorfűrész LKT	35	19 105	627 4305	377 849

Növedékfokozó gyérítés	Motorfűrész LKT	40	22 120	726 4920	431 827
Első bontás	Motorfűrész LKT	75	30 225	990 9225	809 676
Második bontás	Motorfűrész LKT	45	18 135	594 5535	485 806
Végvágás	Motorfűrész LKT	130	52 390	1716 15990	1 403 438
Összesen		370	169 1095	5577 44895	3 994 402

Szállítási folyamatok

Helyszín	Jármű	Faanyag mennyisége (m3/ha)	Gázolaj mennyisége (liter/ha)	Befektetett energia (MJ/ha)
Salgótarján körzete (15 km)	KAMAZ	140	288	11808
Salgótarján (erőmű)	KAMAZ	140	192	7872

Feldolgozási folyamatok

Helyszín	Eszközök	Faanyag mennyisége (m3)	Aprítás energiaigénye (MJ/ha)	Befektetett energia (MJ/ha)
Salgótarjáni lakossági	Motor-, szalag-, körfűrész, kézi hasítás	140	2272	2272

Erőmű	Aprítógép	140	29588		29588

Energiatermelés						
Helyszín	Fűtőérték (MJ/kg)	Hatásfok (%)	Faanyag mennyisége (m3)	Befektetett energia (MJ/ha)	Kinyert energia (MJ/ha)	EROEI
A fakitermelés 15 km-es körzetében (15 km, hőenergia)	15,12	70	140	64552	1057977	***16,39***
Salgótarjáni erőmű (kogeneráció)	15,12	80	140	87932	1209116	***13,75***

A faanyag kihordása LKT-vel történik, amely gázolajjal működik, és átlagban 3 liter gázolajat használ fel 1 m^3 fa kihordásánál. A gázolaj fűtőértékének 41 MJ/l-rel számolva, az első gyérítés esetén a kisebb faanyag mennyisége miatt 45 liter gázolajat használ fel, ami 1845 MJ energiát jelent, a második gyérítésnél már 75 liter gázolaj felhasználása történik meg, amely 3075 MJ energiát jelent.

Második kitermelési lépés a növekedésfokozó gyérítés, amelyet szintén kétszer hajtanak végre. Ezt a folyamatot az erdészet 25-30 évig végzi az adott állományon, és az állomány korának növekedésével a kitermelt faanyag mennyisége folyamatosan nő. Az **első növekedésfokozó gyérítésnél 35 m^3** faanyagot termelnek ki, amelyhez motorfűrészt használnak. A motorfűrész fogyasztása ennél a munkalépésnél 19 liter benzin, ami 627 MJ energia felhasználást jelent. A kivágott fák kihordását LKT-val végzik, amely 105 liter gázolajat fogyaszt el az első növekedésfokozó gyérítésnél, ami 4305 MJ felhasznált energiát eredményez. A **második gyérítésnél** a munkaeszközök ugyanazok, ilyenkor már **40 m^3** faanyag kitermelése történik meg. A motorfűrész 22 litert fogyaszt ennél a munkánál, ami 726 MJ energiát jelent, az LKT pedig 120 liter gázolajat, ami 4920 MJ energia felhasználásának felel meg.

Harmadik lépés a felújítóvágás, azon belül is a bontás. Ez a folyamat is kétszer megy végbe a területen, a **bontások alkalmával összesen kb. 120 m^3** fa kerül letermelésre. Az első bontásnál ez 75 m^3, amelyhez az erdészet (részben az elavult gépparkjának köszönhetően) szintén motorfűrészt és LKT-t

használ, közelítő gépekre egyelőre nincs anyagi keretük. Az első bontásnál a motorfűrész 30 liter benzint, tehát 990 MJ energiát használ fel, kihordásnál az LKT pedig 225 liter gázolajat fogyaszt, ami 9225 MJ felhasznált energiát eredményez. A második bontásnál a motorfűrész esetében a fogyasztás 18 literre csökken, ami 594 MJ energia, az LKT fogyasztása pedig 135 liter gázolajra módosul, ami pedig 5535 MJ energia. A lecsökkent fogyasztási adatok hátterében a kevesebb mennyiségű fa áll, a második bontásnál csak 45 m^3 fát termelnek le.

Utolsó lépésként letermelik a területen található időskorú egyedeket, csak a csemete korban lévő állományokat hagyják a területen. Ezt a folyamatot **végvágás**nak hívjuk, ekkor **130 m^3** fa kerül letermelésre, és osztályozásra. A végvágáshoz motorfűrészeket használnak, amelyek a döntés és darabolás során 52 liter benzint, tehát 1716 MJ energiát használnak fel, az LKT pedig 390 liter gázolajat, ami 15990 MJ energia felhasználást jelent. A teljes ciklust figyelembe véve **az erdőművelés folyamataiban egy hektáron 1095 liter gázolajat és 169 liter benzint használnak fel**. Ez energiában megadva azt jelenti, hogy gázolaj esetében 44895 MJ, még benzin esetén 5577 MJ az összesített befektetett energia egy hektár tölgyes esetén. Ennyi energiával nettó **370 m^3 fát termelnek ki.** A tölgyfa fajsúlya 714 kg/m^3 (0,6-0,9 termőhelytől függően), fűtőértéke pedig az ideális 15%-os nedvességtartalom mellett 15,12 MJ/kg (http://fontanaenergia.hu/futes/tuzifa-futoertek-szamitas). A különböző munkafázisok során a fából elméletileg kinyerhető energia egy hektár tölgyes esetén 3 994 402 MJ-t tesz ki. Ennek **valójában csak 30%-a kerül energetikai felhasználásra**, 70%-nyi ipari fát pedig fűrészüzemek és papírgyárak dolgozzák fel – így jelenleg legnagyobb mennyiségben a mintegy 170 km távolságban lévő szlovákiai Rózsahegy (Ružomberok) papírgyára.

Tehát a számítás további fázisaiban a hosszú évtizedeken át tartó erdőgazdálkodási folyamat végén az energetikai céllal hasznosuló fatömeg tekintetében mintegy 140 m^3/ha tűzifa-mennyiséggel lehet kalkulálni. A felhasználás tekintetében két megoldást vettünk figyelembe. Az egyik az 1 hektáros mintaterület köré 15 kilométer sugarú kör, ugyanis ez a jellemző határa a lakosság által vásárolt tűzifának. A másik általunk figyelembe vett lehetőség egy mindeddig csak a tervek szintjén létező biomassza erőmű Salgótarján városában, amelynek hőértékesítése éves szinten 200 ezer GJ lehetne, az áramtermelő kapacitása pedig 12,5 MW – noha véleményünk szerint 3-4 kisebb kogenerációs erőmű volna szerencsésebb megoldás a patakvölgyek mentén amőba szerűen elterülő település számára.

Szállítás szempontjából az erdészet KAMAZ tehergépjárművet használ, a távolabbi települések esetén pedig MAN típusú pótkocsis, rakodógépes szerelvény dolgozik. Az első szállítási lehetőséget figyelembe véve, a KAMAZ teherautónak 16 fordulóra van szüksége a 140 köbméter fa leszállításához. A fogyasztást tekintve a terepen üresen 50 liter 100 kilométeren, rakottan vissza pedig 70 liter. A számítást 15 kilométeres távolságra elvégezve, 480 kilométer a megtett távolság. Ez alatt a teherautó vegyes fogyasztása (üresen és megrakottan átlagolva) 288 liter gázolaj, amely 11808 MJ energiának felel meg.

A másik helyszín, a tervezett erőmű, amely a régi acélgyár telephelye mellett valósult volna meg. A szállítás szempontjából számításba vehető az adott helyszíntől legtávolabb fekvő, még a Salgótarjáni Erdészet kezelése alá tartozó területet, amely Karancsberény északi része, és ez 17 kilométer távolságra fekszik. Feltételezve, hogy a tervezett erőműbe történő szállítási faanyag eloszlik az erdőterületek között, 10 km-es szállítási távolsággal számolhatunk. Itt is KAMAZ teherautóval történne a beszállítás, és a 140 köbméter fa szállítására jelen esetben is 16 fordulóra lenne szükség, ugyanolyan fogyasztási adatokkal. Azonban a rövidebb táv miatt az összes megtett távolság 320 kilométer, az összes felhasznált gázolaj pedig 192 liter, ami 7872 MJ energiának felel meg.

Feldolgozás szempontjából elsőként a házi feldolgozás energiaigényét számíthatjuk ki. Házi feldolgozásnál a használt eszközök a motor-, a szalag-, és a körfűrész, valamint a kézi hasításhoz használt balta. Ezek közül leginkább motorfűrész és a kézi hasítás jellemző, amelyek közül a motorfűrész tapasztalati fogyasztása 0,5-0,7 liter benzin egy köbméter tűzifa feldarabolása esetén. Ezt átlagolva 0,6 literrel számolok köbméterenként, ezáltal a 140 köbméter tűzifa felaprításához 84 liter benzinre van szükség, ami 2272 MJ befektetett energiát jelent.

Erőmű esetében a számítást nehezíti az, hogy nem egy megépült erőműről van szó, így az előzetes tervek szerinti feldolgozást vesszük alapul, amely szerint az erőművet erdészeti és faipari hulladékkal, fűrészporral, és aprítékkal fűtenék. Ezek közül az apríték igényel feldolgozást, amelyet aprítógéppel végeznek el. Fajlagos energiafelhasználás tekintetében Scheibenhoffer M. 2013-as diplomamunkájának aprítógép fogyasztási adatait használtuk, ahol az aprítógép fajlagos energiafelhasználása 0,296 MJ/kg. Így az erőműben 140 köbméter fa esetén az aprítás 29 588 MJ energiát igényelne.

A végső lépés az energiatermelés értékének kiszámítása. Elsőként a házi felhasználás energia megtérülését számítottam ki. Itt fontos elem a háztartásonként eltérő kazántípusok hatásfoka, valamint az, hogy az adott épület mennyire jól van leszigetelve. Átlagot tekintve normál fatüzelésű kazán esetében a hatásfok 70-83% lehet, de tekintve a terület társadalmi és gazdasági helyzetét, valamint épületállomány korszerűségét inkább az alacsonyabb, 70%-os értékkel számolhatunk. Az így kapott eredmény szerint az összes befektetett energia 64 552 MJ, az összes kinyert energia pedig 1 057 977 MJ. Energiamérleg szempontjából az **otthoni felhasználás** esetében az **EROEI értéke 16,39.**

A második verzióban a még meg nem épült salgótarjáni biomassza erőmű esetében – a minél jobb energetikai hatékonyságot szem előtt tartva – egy kapcsolt áram- és hőtermelő erőművet vettünk számításba. Kogenerációban, azaz az áramtermelést és hőtermelést együttesen tekintve az erőmű hatásfoka 80% lehetne (EURELECTRIC 2011). Összességében a számításunkban feltételezett salgótarjáni kogenerációs erőmű tüzelőanyagának esetében 87 932 MJ lenne az összes befektetett energia, a kinyert energia pedig 1 163 774 MJ. A fentieket figyelembe véve az erőműben felhasznált tüzelőanyag létrehozásához szükséges energia és az erőműben megtermelt hő- és villamos energia mérlege, **EROEI értéke 13,75**.

A nemzetközi szakirodalomban PANDUR et al. (2015) elemzése szerint a tűzifa energiamegtérülése 24,6. Ezt a vizsgálatot Vinkovce térségére végezte, ahol kiemelkedően magas az erdősültségi arány. HALL et al. (2009) tanulmányukban a tűzifa EROEI értékét 30-ra becsülik, ugyanúgy ahogy KONRAD (2009) teszi, doktori disszertációjában. A különböző példák mellett az általunk számított energiamegtérülési mutató nem éri el a fenti értékeket, azonban esetünkben kis mennyiségű fatömegről, elavult gépállományról, és a felhasználás tekintetében az átlagosnál szerényebb hatásfokról van szó.

Összegzés

A kutatás eredményeképpen elmondható az, hogy az EROEI értéke magasabb, mint 1, ami által mindenképpen energiatöbbletről beszélhetünk. Ugyanakkor a hasonló alkalmazásokat figyelembe véve a számított EROEI-értékek (13,75 és 16,39) nemzetközi összevetésben alacsonyak, vagyis ezeknél jobb energetikai megtérülés volna elérhető:

a) az erdőgazdálkodásban alkalmazott korszerűbb gépállománnyal (például a közelítésben),
b) fosszilis energiahordozók helyett több élőmunka alkalmazásával (pl. a második tisztítóvágás manuális elvégzésével);
c) a logisztika korszerűsítésével (a szállítási lánc energiafelhasználásának optimalizálásával;
d) a lakóépületek, középületek korszerűsítésével, így a tüzelőberendezések cseréjével;
e) a tervezett egy nagyobb erőmű helyett több kisebb, lokális erőmű alkalmazása esetében – mert ezáltal csökkenthetők az átalakítási és szállítási veszteségek.

A Salgótarjáni Erdészet esetében – elsősorban a jelentős rózsahegyi papírfaigény miatt – jelenleg nincs probléma a faanyag értékesítésével. Ugyanakkor kérdéses, hogy a helyben lévő olcsó fa, vajon milyen mértékben volna alkalmas arra, hogy azzal az orosz importból származó földgázt kiváltsuk, csökkentve ezáltal a térség (és ezáltal az egész ország) energetikai kiszolgáltatottságát. A Salgótarján keleti térségében, a régi acélgyár telephelye mellett tervezett erőmű engedélyezési eljárásában az erdészeti hatóság megállapította, hogy a környező kistérségek erdeiben nem áll annyi tűzifa rendelkezésre (105 900 t/év), amennyit a számításunkban figyelembe vett tervezett erőmű igényelne (MTVSZ, é.n.). A probléma megoldása bizonyosan az energetikai hatékonyság fokozásában rejlik. Ebben a legjobb eredményeket az épületállomány korszerűsítése rejti, hiszen ezáltal a fűtési igény akár 8-10-szeres csökkentése is elérhető. Az így leszorított hőigény a hőtermelés részbeni központosításával és a távfűtési rendszer kibővítésével már könnyen fedezhető volna. Az ideális eset az egymástól távol eső 4 nagyobb lakótelep közelében 3-4 kisebb kogenerációs erőmű létrehozása, és ezekből kiindulva a környező családi házas övezetek távfűtésre kapcsolása volna. A fenti fejlesztés igen lényeges hozadéka lenne a jelenleg lakossági levegőszennyezés csökkentése és a rossz hatékonyságú, erőforráspazarló tüzelőanyag-felhasználás kiváltása.

Irodalom

BARTHA D.–CSISZÁR Á.–ZAGYVAI G.–ZSIGMOND V. (2012): Fehér akác. – In: CSISZÁR Á. (szerk.): Inváziós növényfajok Magyarországon. – *Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó*, Sopron. pp. 127–133.

BIOMASS ENERGY CENTER (2013): UK Biomass power station. Current and planned. 2p.

DINYA L. (2010): Biomassza-alapú energiatermelés és fenntartható energiagazdálkodás. – *Magyar Tudomány.* 171. évf. 8. sz. pp. 912–925.

DUDLEY, N.–VALLAURL, E.–VALLAURL, D. (2004): Deadwood – Living forest. – *WWF International*, Gland. 19 p.

EGGER, C.–ÖHLINGER, C.–AUINGER, B.–BRANDSTATTER, B.–DELL, G. (2013): Biomass heating in Upper Austria Green energy, green jobs. – *O.O. Energiesparverband*, Linz. 40 p.

EISENTRAUT, A.–BROWN, A. (2014): Heating Without Global Warming. – *International Energy Agency*, Párizs. 92 p.

EURELECTRIC (2011): Biomass 2020: Opportunities, Challenges and Solutions. 72 p. http://www.eurelectric.org/media/26720/resap_biomass_2020_8-11-11_prefinal-2011-113-0004-01-e.pdf

EUROBSERV'ER. (2015): Solid biomass barometer. 8 p.

EUROBSERV'ER (2013): The state of renewable energies in Europe – Edition 2013, 13th EurObserv'ER Report. Párizs. pp. 60–143.

EURÓPAI BIZOTTSÁG (2013): Az erdőket és az erdőalapú ágazatot érintő új uniós erdőgazdálkodási stratégia. Brüsszel. 18 p.

EUROPEAN COMMISSION (2014): COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT - State of play on the sustainability of solid and gaseous biomass used for electricity, heating and cooling in the EU. Brüsszel. 34 p.

FAO (2012): FRA 2015 Terms and Definitions. – *FAO*, Róma. 36 p.

FÖLDMŰVELÉSÜGYI MINISZTÉRIUM ERDÉSZETI ÉS VADGAZDÁLKODÁSI FŐOSZTÁLY (2015): Miniszteri tájékoztató Magyarország erdőállományának 2014. évi helyzetéről, állapotáról. Budapest. 12 p.

GAMBINI, M.–VELLINI, M. (2015): High Efficiency Cogeneration: Electricity from cogeneration in CHP Plants. – *Energy Procedia* 81, pp. 430–439.

GYULAI I. (2010): Biomassza dilemma. 4. átdolgozott kiadás. – *Magyar Természetvédők Szövetsége*, Budapest. 116 p.

HALL, C.A.S.–BALOGH, S.–MURPHY, D.J.R. (2009): What is the Minimum EROI that a Sustainable Society Must Have? – *Energies* 2. pp. 25–47.

INMAN, M. (2013): Behind the numbers on energy return on investment. – *Scientific American.* Volume 308, Issue 4. 4 p.

JOSSART, J.-M. – VAGONYTE, E. (2012): AEBIOM statement on biomass and climate benefits. Brüsszel. 2 p.

KANIANSKA, R.–GUSTAFIKOVÁ, T.–KIZEKOVÁ, M.–KOVANDA, J. (2011): Use of material flow accounting for assessment of energy savings: A case of biomass in Slovakia and the Czech Republic. – *Energy Policy* 39. pp. 2824–2832.

KAUTTO, N.–PECK, P. (2012): Regional biomass planning - Helping to realise national renewable energy goals? – *Renewable Energy* 46. pp. 23–30.

KERESZTES GY.–MEGGYESFALVY I. (szerk.) (2006): Szálalás és Természetközeli erdőgazdálkodás. – *HM Budapesti Erdőgazdaság*, Budapest. pp. 17–27

KOVÁCSEVICS P. (szerk.) (2008): Magyar erdők. A magyar erdőgazdálkodás. – *Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Minisztérium Természeti Erőforrások Főosztálya*, Érd. 52 p.

KSH 2013: Az erdőgazdálkodás jellemzői. – Statisztikai Tükör. VII. évf. 95. szám

LÁNG I. (szerk.) (2002): Környezet- és természetvédelmi lexikon. – *Akadémiai Kiadó*, Budapest. 1252 p.

MADLENER R.–BACHHIESL M. (2007): Socio-economic drivers of large urban biomass cogeneration: Sustainable energy supply for Austria's capital Vienna. – *Energy Policy* 35. pp. 1075–1087

KÖRNYEZETVÉDELMI ÉS VÍZÜGYI MINISZTÉRIUM (2008): Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia 2008-2025. Budapest. 114 p.

MTVSZ é.n.: ADATLAP - Az Észak-Magyarországon az Európai Unió és hazai források támogatásával megvalósult fejlesztések fenntarthatósági vizsgálata. Salgótarjáni Biomassza erőmű. 4 p. http://www.mtvsz.hu/dynamic/starjan_biomassza_adatlap+esettan.pdf

NEMZETI FEJLESZTÉSI MINISZTÉRIUM (2011): Magyarország Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Terve 2010 – 2020. – *Zöldgazdaság-fejlesztésért és Klímapolitikáért Felelős Helyettes Államtitkárság.* 115 p.

NÓGRÁD MEGYE ÖNKORMÁNYZATA (2013): Nógrád Megye Területfejlesztési Koncepciója 2014-2020. Helyzetfeltáró Munkaanyag. Salgótarján. 126 p.

NÓGRÁDI GEOPARK EGYESÜLET (2014): A Novohrád-Nógrád Geopark magyar oldalának földtudományi értékei. 52 p.

PANDUR, Z.–SUSNJAR, M.–ZORIC, M.–NEVECEREL, H.–HORVAT, D. (2015): Energy Return on Investment (EROI) of Different Wood Products. – In: ZLATIC M. (szerk.): Precious Forest - Precious Earth. – *In Tech*. pp. 165–184.

PANOUTSOU, C.–ELEFTHERIADIS, J.–NIKOLAOU, A. (2009): Biomass supply in EU 27 from 2010 to 2030. – *Energy Policy* 37. pp. 5675–5686.

PAPPNÁ–VANCSÓ J. (2010): A biomassza, mint energiaforrás hasznosítási lehetőségei, különös tekintettel Magyarországra. Doktori Értekezés, Budapest. 150 p.

PÁSZTOR E.–OBORNY B. (2007).: Ökológia. – *Nemzeti Tankönyvkiadó*, Budapest. 420 p.

PERNA, A.–MINUTILLO, M.–CICCONARDI, S.P.–JANELLI, E.–SCARFOGLIERO, S. (2015): Conventional and advanced biomass gasification power plants designed for cogeneration purpose. – *Energy Procieda* 82. pp. 687-694.

RIESZ L. (szerk.) (2015): Magyarország környezeti állapota 2014. – *Herman Ottó Intézet*, Budapest. 198 p.

SCHEIBENHOFFER M. (2013): Az erdők állapotának felmérése a Bakonyban. Mesterszakos diplomamunka, ELTE TTK KTF. 96 p.

SZARVAS I.–TARDI J. (2008): Bemutatkozik a Novohrad-Nógrád Geopark. 2 p.

SZIGETVÁRI CS.–TÓTH T. (2004): Gyalogakác. – In: MIHÁLY B.–DR. BOTTA-DUKÁT Z. (szerk.): Biológiai inváziók Magyarországon: Özönnövények. – *TermészetBÚVÁR Alapítvány Kiadó*, Budapest. pp. 187-207.

SZOFRIDT I. (1995): Hallgattassék meg a termőhely is. – *Erdészeti Lapok* 130. évf. 2. sz. pp. 49-50.

TAKÁCS Z. (2004): Erdőgazdálkodás. – *VITUKI,* Budapest. 158 p.

DANISH ENERGY AGENCY (2012): Technology Data for Energy Plants. pp. 67–73

TRINK, T.–SCHMID, C.–SCHINKO, T.–STEININGER, K-W.–LOIBNEGGER, T.–KETTNER, C.–PACK, A.–TÖGLHOFER, C. (2010): Regional economic impacts of biomass based energy service use: A comparison across crops and technologies for East Styria, Austria. – *Energy Policy* 38. pp. 5912–5926.

UNESCO (2015): Statutes Of The International Geoscience And Geoparks Programme (IGGP). General Conference, 38th Session. Párizs. 22 p.

UNESCO (2015): Transnational Global Geopark in Hungary and Slovakia. 4p.

VAN DAM, J.–FAAIJ, A.P.C.–LEWANDOWSKI, I.–FISCHER, G. (2007): Biomass production potentials in Central and Eastern Europe under different scenarios. – *Biomass and Bioenergy* 31. pp. 345–366.

ZAMFIR, A.–COLESCA, S.E.–CORBOS, R.A. (2016): Public policies to support the development of renewable energy in Romania: A review. – *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 58. pp. 87–106.

Konferencia előadások

KUITTO, P.J. (2011): Biomass CHP in Finland. WG4 – Solid Biomass CHP Technologies. Bécs, 2011. május 12.

BIOEUPARKS: Fás biomassza ellátási láncok védett területeken. Műhelymunka, tapasztalatok átadása. Budapest, 2016. február 22.

Szóbeli adatközlő

Kirisics Lajos, fahasználati műszaki vezető erdész, Salgótarjáni Erdészet, Ipolyerdő Zrt.

PÓCZ ANNAMÁRIA – HARMAT ÁDÁM

Az elektromos közlekedés jelene és jövője a Bükk LEADER Térségben

Bevezetés

A közúti közlekedés térnyerése és az ezzel járó fokozódó környezetterhelés felveti a kérdést, hogy a jelenlegi közlekedési rendszer mennyi ideig működtethető még, illetve hogyan tudnánk csökkenteni az ebből a szektorból származó környezeti problémákat (MIKLÓS GY. ET AL. 2011). Jelenleg a globális szén-dioxid-kibocsátás 17-18%-át a közúti közlekedés adja és a Nemzetközi Energia Ügynökség becslése szerint a járművek okozta szén-dioxid-kibocsátás a duplájára fog nőni 2050-ig. Jelenleg a járművek több mint 90%-a olajból származó üzemanyaggal üzemel. Az olajtól való függés és a környezetszennyezés csökkentésének érdekében, a hidrogénnel és elektromos árammal hajtott autók lehetőségével évtizedek óta foglalkozik a világ (VAN VLIET et al. 2010). Az elektromos autók olyan járművek, amelyek részben vagy teljesen villanymotor-meghajtásúak. Ide tartoznak az akkumulátoros elektromos autók, a tölthető hibrid autók és a kiterjesztett hatótávolságú elektromos autók (PLÖTZ et al. 2014). Az elektromos autók a teljes életciklusban körülbelül 50%-kal kevesebb szén-dioxidot termelnek, mint a belső égésű motorral meghajtott járművek, és ez az érték akár elérheti a nullát is, ha a villamosenergia-hálózat szénmentessé válik (KEMP, M. 2010). Szintén előnyösek az energiahatékonyság és az energiabiztonság szempontjából, kisebbek a kilométerenkénti felhasználói költségek és a helyi zaj- és levegőszennyezés (BJERKAN et al. 2016). A kulcskérdés az, hogy hogyan, mikor és milyen mértékben támogatnák az átmenetet a belső égésű motorral rendelkező járművekről (elsősorban a dízel- és benzinüzemű járművek) az elektromos járművekre (NEWBERY, D.-STRBAC, G. 2015; MIKLÓS GY. ET AL 2011; KERTÉSZ D. ET AL. 2014.).

Kutatási területként a Magyarországon található Bükk LEADER térséget választottuk, ahol az utóbbi években Európai Uniós támogatás segítségével több elektromos autó töltőállomást telepítettek. Arra kerestük a választ, hogy az Európai Uniós támogatások hasznosulása mennyire eredményes és hatékony az elektromos autózás elterjesztésében.

Jogi szabályozás

Az Európai Unió 2014/94/EU irányelve

Az Európai Unió irányelvei valamennyi uniós tagállam számára kötelezően elérendő célt tűznek ki, azonban a döntéshozatal módját az egyes országok döntik el. Az Európai Unió 2014/94/EU irányelve az alternatív üzemanyagok infrastruktúrájának kiépítését célozza. Az irányelv előírja, hogy az Európai Unió tagállamainak új infrastruktúrahálózatot kell létrehozni többek között a villamos energia számára, és figyelni kell, hogy a fejlődés szempontjából hol járnak az egyes üzemanyag-technológiák. A villamos energia azért fontos a közlekedésben, mert használatával növelni lehet a közúti járművek energiahatékonyságát és csökkenteni a közlekedésből származó levegőszennyezést, és a zajszintet. Minden Európai Uniós országnak ki kell építenie a nyilvános elektromos töltőhálózatot megfelelő lefedettségben és ezzel biztosíthatják az elektromos autók közlekedését. A töltőhálózat tervezésekor figyelembe kell venni a 2020. év végéig nyilvántartásba kerülő elektromos autók becsült számát. A töltők számát úgy kell meghatározni, hogy tíz autóra jusson minimum egy elektromos töltő, továbbá döntő tényező lehet az autó típusa, a töltési technológia és a magántulajdonban lévő töltők száma is. A töltők számának tervezése és a kivitelezés során kiemelt figyelmet érdemelnek a közösségi közlekedés állomásai, mint például a kikötői utasterminálok, a repülőterek, a vasútállomások és a társasházak, irodaépületek közös parkolói. A megfelelő számú nyilvánosan elérhető töltő létrehozásához biztosítani kell a tagországok részére, hogy figyelembe vehessék a már létező töltőket és választhassanak, hogy normál töltők vagy gyorstöltők létrehozására helyezik a hangsúlyt.

Az elektromobilitás terjedése nagymértékben hozzájárulhat az Európai Unió által 2020-ra kitűzött éghajlat- és energiaügyi célok eléréséhez. Az Európai Unió 2009/28/EK irányelve célul tűzte ki a tagállamoknak, hogy 2020-ra a megújuló energiaforrásokból származó energia részesedése elérje a 20%-ot, a közlekedési szektorban pedig a 10%-ot (Az Európai Unió 2014/94/EU irányelve 2014). Az irányelv egyik fontos pontja, hogy a z alternatív üzemanyagok (jelen esetben a villamos energia) nyilvános töltőinek pontos földrajzi elhelyezkedéséről, elérhetőségének módjáról információt kell szolgáltatni az

elektromos autók tulajdonosai számára. A felhasználók számára hozzáférést kell biztosítani olyan adatokhoz, amelyek segítik őket a töltők megtalálásában.

A Jedlik Ányos Terv

Az Európai Unió 2014/94/EU irányelvének megfelelően a tagországoknak 2016. november közepéig kell végrehajtási terveket készíteniük az elektromos töltőhálózat kialakításával kapcsolatban. Hazánk a tagállamok közül elsőként, 2015. június 24-én alkotta meg az elektromobilitás elterjesztésével kapcsolatos dokumentumot, a Jedlik Ányos Tervet, majd a hozzá kapcsolódó Jedlik Ányos Cselekvési Tervet. A Terv létrejöttének célja az elektromos autók mielőbbi elterjesztése. Ez célozza a 1487/2015. (VII. 21.) Korm. Határozat is, ami 2015. július 21. óta hatályos. A Jedlik Ányos Terv elsősorban a tölthető hibrid autókra, a kiterjesztett hatótávolságú elektromos autókra és a 100%-ban elektromos autókra összpontosít, különös figyelmet fordítva a fentiek használatához szükséges alapinfrastruktúra kiépítésére – a tervek szerint először az autópályák mentén és a megyei jogú városokban fognak gyorstöltőket kiépíteni.

A Terv előírja, hogy a töltőállomásokat egyszerűen egységes elszámolási rendszerben lehessen használni, akár regisztráció nélkül. A Terv része az elektromos autók megkülönböztetése zöld alapszínű rendszámmal, ami 2015. július 1. óta igényelhető. A KEKKH (Közigazgatási és Elektronikus Közszolgáltatások Központi Hivatala) adatai szerint a hazánkban 2016.07.04-ig a zöld alapszínű forgalmi rendszámmal közlekedő gépjárművek száma 1080 volt. Különböző indirekt ösztönzők is tervben illetve bevezetés alatt vannak, mint például a buszsáv használatának lehetősége, behajtási, útdíj kedvezmények, továbbá az általános forgalmi adó mérséklése az autóvásárlás során (NGM 2015). 2016 márciusától több hazai városban (pl. Budapest, Kecskemét, Szeged, Debrecen, Győr stb.) lehetővé vált, hogy a zöld rendszámú környezetkímélő járművek ingyenesen parkoljanak.

1027/2016. (II. 9.) Korm. határozat

Hazánkban a kormányzat határozatba foglalta az elektromobilitás elterjesztését szolgáló elképzeléseit.

„A Kormány

1. fontosnak tartja az elektromos járművek terjedésének elősegítését, ezért egyetért azzal, hogy a torlódások megakadályozása céljából esetlegesen bevezetésre kerülő útdíj hatálya alól mentesek legyenek a környezetkímélő gépkocsik;

2. felhívja a nemzetgazdasági minisztert, hogy a Miniszterelnökséget vezető miniszter és a nemzeti fejlesztési miniszter bevonásával készítsen előterjesztést arra vonatkozóan, hogy miként növelhető a központi költségvetési szervek, valamint az állami tulajdonban lévő gazdasági társaságok nem gazdasági alaptevékenységhez használt személygépjármű-parkjában a környezetkímélő - és ezen belül az elektromos - járművek részesedése úgy, hogy folyamatosan növekedve ezen járművek aránya 2030-ra elérje a 30%-ot."

A feljebb olvasható kormány határozat 2016. február 9. óta hatályos. A jogszabály miatt az országos településrendezési és építési követelményekről szóló 253/1997. (XII. 20.) Korm. rendelet, valamint a levegő védelméről szóló 306/2010. (XII. 23.) Korm. rendelet is módosult. A módosítások többségében a parkolóhelyeken elhelyezett töltőállomásokra vonatkoznak. Így például az új parkolóhelyeket úgy kell kiépíteni, hogy 100 parkolóhely után minimum 10 parkolóhely vonatkozásában elektromos töltőt lehessen építeni, a már meglévő parkolókban pedig 100 parkolóhelyből minimum kettőhöz elektromos töltőt kell építeni.

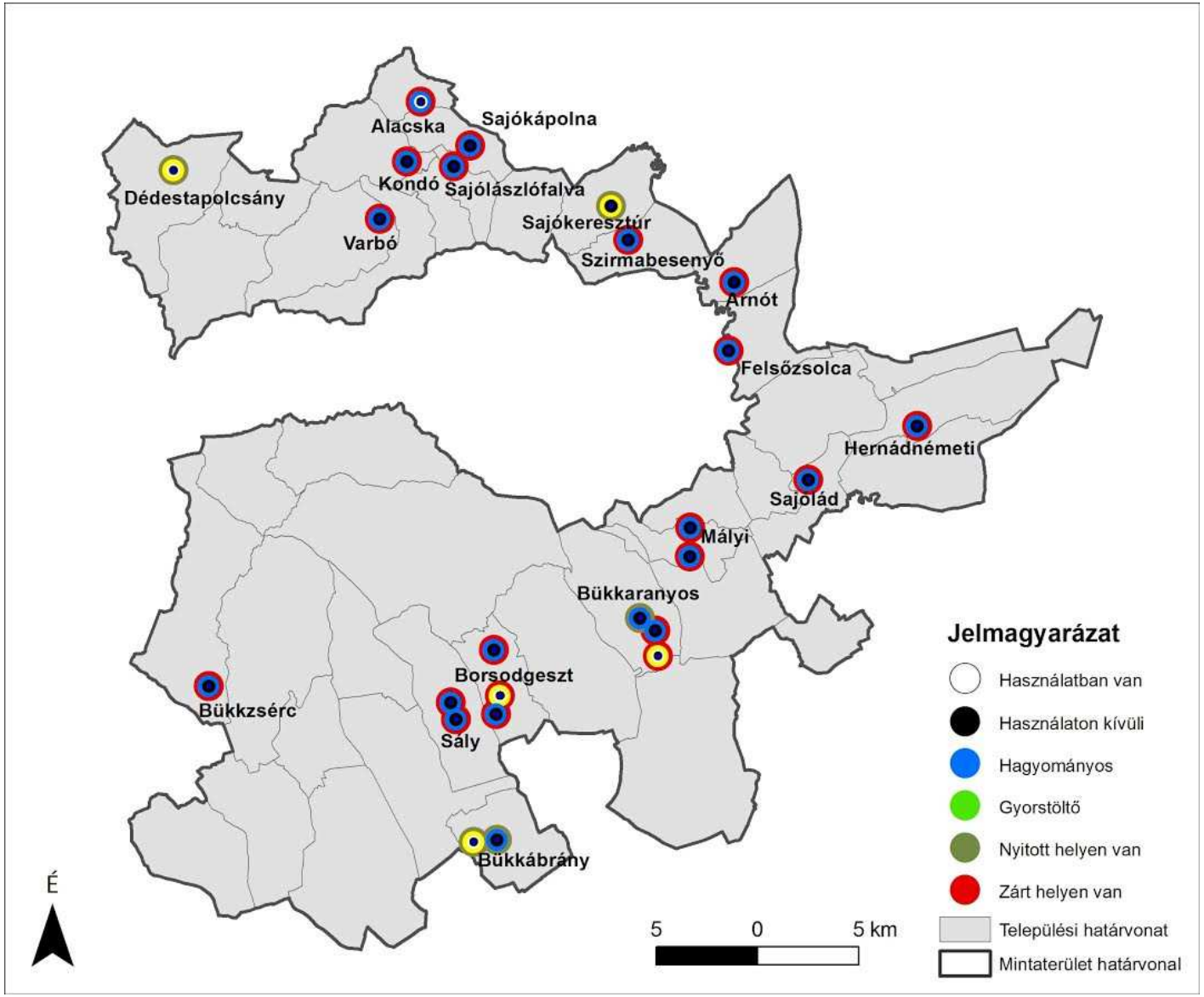
Elektromos gépjárművek töltőhálózata a Bükk LEADER Térségben

Kutatásunk célterületét földrajzi értelemben a Bükk Térségi LEADER Egyesület által érintett települések adják. A Bükk-Mak LEADER egy vidékfejlesztési közösség, mely 2011-ben a Bükk-Miskolc térségben pályázható vidékfejlesztési támogatások megszerzése érdekében jött létre. A szervezet elsődleges céljának tűzte ki az energetikai irányváltást (Egy falu – egy MW), amelynek szerves részeként nem csak megújuló energiás alkalmazások kerültek a

térség szinte mindegyik településére, de az elektromos autózás alapinfrastuktúrájának létrehozása is a célok között szerepelt. Az autótöltők általában a napelemes fejlesztési tervek innovatív elemeként kerültek bele a pályázatokba – tehát nem elsődleges célként.

Ez a LEADER pályázati lehetőség tekinthető a legfőbb tényezőnek, amely a hátterében áll annak a fejlesztési tevékenységnek, amely az ország egyik legkevésbé gazdag térségében, az igényeket időben messze megelőzve hozott létre egy töltőhálózat-rendszert. A vizsgált LEADER térséghez jelenleg 42 település tartozik, melyek közül 19 településen található elektromos töltő, ezért országos szinten is kiemelkedően alkalmas terepe az elektromos töltőhálózat tudományos igényű vizsgálatának.

A térség településein 2016 májusában összesen 26 db elektromos töltő volt található (23. ábra). Öt település rendelkezik több töltővel: Borsodgeszten három, Bükkábrányban kettő, Bükkaranyoson három, Mályiban kettő és Sályban szintén kettő elektromos töltő található. A gyorstöltővel rendelkező települések Borsodgeszt, Bükkábrány, Bükkaranyos, Dédestapolcsány, Sajókeresztúr. Tehát a Térségben lévő töltők nagy része csak lassú töltésre alkalmas normál töltő – ezzel 6-8 óra alatt lehet lemerült állapotból teljesen feltölteni egy átlagos elektromos autót (a valóságban ez lényegesen gyorsabb, hiszen a gyakorlatban nem teljesen lemerült akkumulátorokat kell feltölteni).



23. *ábra: A Bükk LEADER Térségben található elektromos töltők földrajzi elhelyezkedése (szerk.: Harmat Á.)*

A Bükk LEADER Térségben találhatón töltők áramellátására alapvetően három megoldást alkalmaztak:

- 6 db töltő az elektromos hálózatra van rákapcsolva;
- 1 db töltő szélturbinával;
- 19 db töltő napelemmel van összekötve
    - Napkövető: 6 db
    - Állványon: 1 db
    - Tetőn: 12 db.

A napelemmel összekapcsolt töltők közül az egyik bükkaranyosi töltő esetében sajnos meg kell említeni, hogy a töltőhöz épített beálló tetején a déli tájolású napelemek mellett északi tájolásúak is vannak. Ennek oka, hogy a rossz tervezés miatt a tető mérete nem igazodik a napelemek helyigényéhez. Ezt sürgősen korrigálni kellene, mert a jelenlegi megoldás sem energetikailag, sem környezeti szempontból nem elfogadható.

24. ábra: Bükkaranyosi töltő beállójának csak pontosan északi tájolású tetőfelülete

A Bükk-térségi töltőhálózat működésével kapcsolatos tapasztalatok

A térségben nagyjából egyenletes a töltők kiépítettsége, a mégis tapasztalható kisebb egyenetlenség egyfelől a településhálózat jellegével (Bükk hegység általi domborzati meghatározottság), másfelől a pályázásban aktív szerepet vállaló önkormányzatok elhelyezkedésével, az önkormányzati vezetők aktivitásával, környezeti attitűdjével hozható kapcsolatba.

Ami a rendszer üzemeltetésével kapcsolatos tapasztalatokat illeti, a Bükk LEADER Térségben található elektromos töltők közül a legtöbb töltő nincs tényleges használatban:

- Tény, hogy a projekt messze korát megelőzve valósult meg az ország egyik legszegényebb térségében, sajnos a nemzeti szintű döntéshozatal – amely elősegíthetné az elektromos autózást – évtizedes késésben van a Bükk térségében elindult energetikai átalakuláshoz képest. Az is negatívan hat a folyamatra, hogy Európai Unió csak a töltőpontok létrehozására nyújtott támogatást, a **közlekedési eszközök** beszerzésére sajnos nem.
- A töltők jelentős része a **nyilvánosság elől elzárt helyen** van. Ennek oka egyfelől a rossz közbiztonság, illetve az a tény, hogy a napelemmel összekapcsolt rendszerek esetében a tulajdonos nem kíván lemondani a megtermelt áram azon részéről, amit az autósok felhasználnának;
- Vélhetően részben az utóbbi indok miatt – noha erre jogszabály (2014/96/EU irányelv) kötelezi őket – **a tulajdonosok (és a HACS) nem hozzák nyilvánosságra a töltők pontos földrajzi pozícióját**;
- A töltők használata nem csak bezárt kapuk és ajtók miatt ütközik korlátokba, de használatukhoz kártya vagy speciális kulcs is szükséges – erről azonban semmiféle tájékoztatás nincs, így a a töltőn nincs feltüntetve telefonszám, amin keresztül értesíteni lehetne a tulajdonost a töltő meghibásodása vagy a töltési szándék esetén.

A fentiek okán több esetben is előfordult, hogy nem csak az átlagpolgárok bizonyultak tájékozatlannak, de az önkormányzati hivatalok dolgozói sem tudtak a településükön, sőt a hivatal udvarában elhelyezett elektromos töltő létezéséről.

Ugyanakkor jó példa is akad: Alacskán, Borsodgeszten és Dédestapolcsányban, valamint Bükkábrányban és Bükkaranyoson rendszeres használatban vannak az elektromos töltők. **Alacska** önkormányzatának tulajdonában áll egy napelemes rendszerrel összekapcsolt töltő és egy 100%-ban elektromos autó. A község polgármestere szerint az elektromos autó fontos szerepet tölt be a település életében, elsősorban a gyermekétkeztetés és szociális étkeztetés szempontjából. A településen csak tálaló konyha áll rendelkezésre, ezért az árubeszerzéshez kiemelt fontosságú egy olcsón üzemeltethető és

megbízható autó megléte. Az autó másik fontos feladata az önkormányzat hivatalos ügyeinek intézése. A töltő melletti garázs tetején elhelyezett 2x2250 W teljesítményű kristályos szilícium napelem-rendszer teljes mértékben kiszolgálja az autó működtetésének energiaigényét. A töltés naponta 6-7 órán át tart, amivel az autó átlagosan 150-200 km megtételére képes. Az autót a község határain belül történő ügyintézések mellett a településen kívül is használják, elsősorban a 30 km-es körzetben található településekre (például Sajószentpéterre, Miskolcra, Kazincbarcikára és Edelénybe) való utazáshoz. Az elektromos autó azért is áttörés, mert annak beszerzése előtt az önkormányzat nem rendelkezett saját gépjárművel. Szintén pozitívum, hogy az önkormányzati költségvetésből sem benzint, sem gázolajat nem kell vásárolni.

Kiss Péter, az Ökogázprojekt Kft. tulajdonosa szintén arról számolt be, hogy a cég tulajdonában álló **borsodgeszti** gyorstöltő rendszeres használatban van. Úgy tudja, a töltőt havonta egy-két alkalommal használják, elsősorban a település környékéről. Jelenleg néhány kínai elektromos autó van a környéken – szerencsére a gyorstöltő Kínában standardizált elektromos autó szabványokkal harmonizált töltő. Azért esett a cég választása erre a töltőtípusra, mert ez igény esetén utólag átállítható az európai szabványokra, ez fordítva nem lett volna lehetséges. A borsodgeszti tapasztalatok szerint gyorstöltőn 30 percig tart feltölteni egy autót. A településen a gyorstöltőn kívül található még két normál töltő, amelyek létrehozásában az Ökogázprojekt Kft. kivitelezőként vett részt.

A **dédestapolcsányi** gyorstöltő tulajdonosa a Busz-Vagen Kft., melynek vezetője, Szaniszló Zsolt elmondta, hogy a töltőt jelenleg kizárólag egy miskolci Tesla-tulajdonos használja. A töltő egy autómosóval van egybeépítve, melynek melegvíz-ellátását a tetejére szerelt napkollektorok, míg a töltő energiaellátását az autómosó mellett elhelyezett napelemek biztosítják. Használatához nincs szükség a regisztrációra, kizárólag a tulajdonos hozzájárulásával működik a töltő. A töltést egy kulcsos kapcsolóval lehet engedélyezni, illetve letiltani.
A tulajdonos hatalmas kárként említette, hogy a közelmúltban 40 táblányi, már felszerelt napelemüket eltulajdonították.

Összegzés

A magyarországi elektromos töltőhálózat kialakításával kapcsolatos végrehajtási terv, a Jedlik Ányos Terv a gyakorlatban egyelőre semmilyen érdemi előrelépést nem jelentett. A terv szerint 150 gyorstöltő létrehozása a cél, azonban mindeddig az egyetlen kezdeményezés a zöld alapszínű rendszámok igénylésének lehetősége a tisztán elektromos autókra és azokra a tölthető hibridekre, amelyek minimum 25 km-es elektromos hatótávra képesek. A zöld rendszám jelenleg ingyenes parkolásra jogosít néhány nagyvárosban és nem kell gépjárműadót fizetni, azonban ezek a kedvezmények – az autók számának gyarapodását tekintve – nem nevezhetők érdemi előrelépésnek, valójában szinte csak a környezetkímélőnek és energiahatékonynak aligha nevezhető plug-in luxusautók gyarapodását eredményezték.

A számok azt mutatják, hogy a Bükk LEADER Térségben létrehozott töltőhálózat sűrűsége az országos kiépítettséghez képest kiemelkedő. Az ELMŰ-ÉMÁSZ Társaságcsoportnak az egész országban mindössze 65 db töltője van. Ebből a 65 töltőből 50 db az 1,7 millió főt számláló Budapesten található, míg a Bükk LEADER Térség néhány ezer fős településein 26 db töltő van, így jelentőségük a térségben érzékelhetően jelentős. Lényeges, hogy a térségben a töltők tulajdonviszonyai meglehetősen diverzek: a legtöbb esetben önkormányzatok és oktatási intézmények tulajdonában vannak, de akad vállalkozó tulajdonos is. A töltők nagy része, a 26 töltő közül 18 db töltő magánterületen található, sok esetben a hozzáféréstől elzárva. Ez a támogatási politika logikájával ellentétes, hiszen az Európai Uniós finanszírozás esetében a támogatottnak 5 évig kötelezően biztosítania kellene az ingyenes töltés lehetőségét. Sok esetben a problémát az intézmények korlátozott nyitvatartása jelenti, amiért az esti órákban és hétvégén esélytelen az elektromos autók töltése.

25. ábra: Sály – A kerítésen belül látható melléképületben helyezkedik el a töltő

26. ábra: Borsodgeszti töltő – kerítés mögé zárva

27. ábra: A rossz közbiztonságra utal az eltulajdonított napelem-táblák állványa (Dédestapolcsány)

Összeadva a töltők beszerzésének és kiépítésének költségeit, több mint 300 millió Ft-ba került a 26 elektromos töltő kiépítése. Az önrész mindössze 10% volt. A töltők kihasználatlanságát figyelembe véve, egyelőre óriási kiadásnak, rossz hatékonysággal hasznosuló EU-s pénzfelhasználásnak tekinthető a töltőhálózat létrehozása. Tovább tetézi a problémát a technológia rohamos fejlődése, ami azt eredményezheti, hogy a jelenlegi lassú töltők néhány év múlva elavultnak fognak számítani, így újabb pénzügyi támogatásokra lesz szükség a jelenlegi töltőhálózat felújítása, átalakítása miatt.

Irodalomjegyzék

BJERKAN, K.Y.-NORBECH, T.E.-NORDTOMME, M.E. (2016): Incentives for promoting Battery Electric Vehicle (BEV) adoption in Norway. In: Transportation Research Part D: Transport and Environment 43 (2016), pp. 169-180.

CARLSON, W.B. (2011): The Modeling of World Oil Production Using Sigmoidal Functions - Update 2010. In: Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy 6, pp. 178-186.

FERNÁNDEZ, R.Á., CILLERUELO, F.B., MARTÍNEZ, I.V. (2016): A new approach to battery powered electric vehicles: A hydrogen fuel-cell-based range extender system. In: International Journal of Hydrogen Energy 41 (2016), pp. 4808-4819.

IEA (2012): World Energy Outlook 2012

IEA (2013): Global EV Outlook

JOHANSSON, T.B., KÅGESSON, P., JOHANSSON, H., JONSSON, L., WESTIN, J., HEJENSTEDT, H., HÅDELL, O., HOLMGREN, K., WOLLIN, P. (2013): Fossil freeness on it's way (Fossilfrihet på väg) (No. SOU 2013:84). In: Fritzes Offentliga Publikationer, Stockholm.

KEMP, M.-WEXLER, J. (2010): Zero Carbon Britain 2030 - A new energy strategy - The second report of the Zero Carbon Britain project. 384 pp.

KERTÉSZ D., DALLOS E. B., MUNKÁCSY B. (2014): A közlekedés problematikája komplex megközelítésben. in: A fenntartható energiagazdálkodás felé vezető út; Erre van előre! – Vision 2040 Hungary 2.0. PP. 115-122.

MIKLÓS GY., MUNKÁCSY B., GYÖRE Á., NYESTE A. (2011): A FENNTARTHATÓ KÖZLEKEDÉS FELÉ VEZETŐ ÚT 2050-IG. IN: ERRE VAN ELŐRE – EGY FENNTARTHATÓ ENERGIARENDSZER KERETEI MAGYARORSZÁGON. VISION 2040 HUNGARY 1.0 PP. 66-78.

DR. MOCK, P. (SZERK.) (2014): European Vehicle Market Statistics Pocketbook 2014

NEMZETGAZDASÁGI MINISZTÉRIUM Jedlik Ányos Terv

NEMZETI FEJLESZTÉSI MINISZTÉRIUM (2015): Magyarország Nemzeti Energiahatékonysági Cselekvési Terve 2020-ig

NEWBERY, D.-STRBAC, G. (2015): What is needed for battery electric vehicles to become socially cost competitive? In: Economics of Transportation. 11 pp.

OSZTOVITS Á.-GYENES P.-BÁRSONY P. (2014): Merre tart az elektromos autók piaca? - A plug-in elektromos hibrid és a tisztán elektromos gépjárművek jövője Magyarországon. 23 pp.

PASAOGLU, G.-FIORELLO, D.-MARTINO, A.-ZANI, L.-ZUBARYEVA, A.-THIEL, C. (2013): Travel patterns and the potential use of electric cars – Results from a direct survey in six European countries. In: Technological Forecasting & Social Change 87 (2014), pp. 51-59.

PLÖTZ, P.-SCHNEIDER, U.-GLOBISCH, J.-DÜTSCHKE, E. (2014): Who will buy electric vehicles? Identifying early adopters in Germany. In: Transportation Research Part A: Policy and Practice 67 (2014), pp. 96-109.

PWC.COM 2014: MERRE TART AZ ELEKTROMOS AUTÓK PIACA?

ROBÈRT, K-H.-BORÉN, S.-NY, H.-BROMAN, G. (2016): A strategic approach to sustainable transport system development - Part 1: attempting a generic community planning process model. In: Journal of Cleaner Production (2016), 15 pp.

SVERDRUP, H.U., RAGNARSDOTTIR, K.V., KOCA, D. (2015): An assessment of metal supply as an input to policy: security of supply extraction rates, stocks-in-use, recycling, and risk of scarcity. In: Journal of Cleaner Production (2015), pp. 1-14.

VAN VLIET, O.P.R.-KRUITHOF, T.-TURKENBURG, W.C.-FAAIJ, A.P.C. (2010): Techno-economic comparison of series hybrid, plug-in hybrid, fuel cell and regular cars. In: Journal of Power Sources 195 (2010), pp. 6570-6585.

Törvények, jogszabályok, rendeletek

Az Európai Parlament és a Tanács 2014/94/EU irányelve, 2014:

1027/2016. (II. 9.) Korm. határozat

1487/2015. (VII. 21.) Korm. határozat

253/1997. (XII. 20.) Korm. rendelet

SZÜCS PÉTER NOEL – DARABOS GABRIELLA

Szilárd biomasszára vonatkozó energetikai megtérülési számítás egy Komárom-Esztergom megyei esettanulmány példáján

Bevezetés

A globális energiaválság napról napra erősödik, a szennyeződések folyamatosan egyre nagyobb terhet rónak bolygónkra, a fosszilis energiakészletek fogyása megállíthatatlannak tűnik. Az iparosodott országok ökológiai lábnyomának 60-65%-át adja az úgynevezett energialábnyom (lásd pl. SWISS FEDERAL STATISTICAL OFFICE, 2006), aminek oka a fosszilis energiaforrások használatában keresendő. Maga a felismerés, hogy a fosszilis energiaforrások készlete véges, már jóval korábban megszületett, elég csak a Római Klub 1972-es jelentésére, „A növekedés határai”-ra gondolni. Ennek értelmében a megújuló erőforrások minél nagyobb mértékű alkalmazása az energetikában halaszthatatlannak tűnik.

Emellett természetesen egy megújuló energiaforrás alkalmazása sem feltétlenül minden esetben tekinthető fenntarthatónak. A megújuló energiaforrások alkalmazását akkor, és csak akkor nevezhetjük előremutatónak, hogyha az a környezeti fenntarthatóság szempontjainak maximálisan megfelel. A biomassza felhasználásának vizsgálatakor is az egyik legfontosabb kérdésként szokott megjelenni, hogy hogyan is illeszthető be az energetikai célú termelés a szintén biomassza-alapú egyéb iparágak (pl. élelmiszeripar, takarmánytermelés) mellé úgy, hogy az ökoszisztéma ne sérüljön (HARMAT Á. ET AL. 2011). A fent említett szempontoknak leginkább megfelel a hulladék bázisú biomassza, ám napjainkban a felhasznált biomassza nagy része nem ilyen típusú.

A Dorogi Erőműben hulladék alapú biomasszát, napraforgó-melléktermékет használnak a fosszilis energiaforrások mellett. A kutatás kérdése az, hogy a Dorogi Erőmű által alkalmazott technológiában hogyan viszonyul a folyamatból hő formájában kinyert, illetve a folyamat egészébe invesztált (pl.

gázolaj) energia. Ez azt jelenti, hogy a kazánba kerülő biomassza teljes életútját végig kell követni, és kiszámítani, mely fázisok mennyi energiát igényelnek.

A Dorogi Erőmű

A Veolia cégcsoport (a magyar energia-, víz- és hulladékgazdálkodási piac egyik vezető szereplője) Dorogi Erőművében folyó energiatermelés jelenleg két fő tevékenységre bontható. Egyrészt gőzt értékesítenek a szomszédos Richter Gedeon gyógyszer-alapanyag gyárnak, másrészt meleg víz formájában tárolt hőenergiát a Promtávhő Kft.-nek, akik a távhőszolgáltatást végzik Dorog és Esztergom települések lakótelepi részein. A cégcsoporthoz tartozik még egy veszélyeshulladék-égető is, melynek a hulladékok elégetéséből származó „melléktermékük" a gőz. Ezt a gőzt az erőmű átveszi, de mivel ennek hőmérséklete túlságosan alacsony, így a sajátjukkal keverve értékesítik tovább a Richter Gedeon gyárnak. Jelenleg a hőtermelés adja az energiatermelés döntő hányadát, a villamosenergia-termelés igen kismértékű, főként saját felhasználásra kerül. Jelenleg összesen 4 kazánjuk van: 1 olaj- (használaton kívüli), 1 szénpor/biomassza- (falazott kazán), és 2 földgáztüzelésű, ami eredetileg szénportüzelésű volt, azonban egyrészt a környezetvédelmi előírások, másrészt az akkori kiemelkedően kedvező földgáz ár miatt a kétezres évek elején alakították át földgáz-tüzelésűre. 2011-ben álltak át arra, hogy fűtési szezonban kizárólag a szénpor/biomassza tüzelésű kazánt működtetik, nyáron pedig a földgáztüzelésűeket. Telente a maximális hőteljesítmény elérheti a 40-42 MW-ot.

Biomassza-felhasználás az erőműben

Az erőműnek legfőképpen azért fontos a biomassza tüzelés, mert a CO_2 kvóták szempontjából semlegesnek tekinthető, illetve beszerzési ára jelentősen alacsonyabb a többi fűtőanyagéhoz képest. A kvótákkal kapcsolatban megjegyzendő, hogy eleinte (2005-2007, illetve 2008-2012-es periódusokban) annyit kapott az erőmű, hogy kereskedni is tudott vele. Mára azonban jóval kevesebb jut nekik, így kiemelten fontossá vált a biomassza felhasználás. Az ingyenes kvóták számukra a távhőfogyasztók után járnak. A Dorogi Erőműben a CO_2 megtakarítás 35%-os biomassza arány mellett kb. 15 ezer tonna/szezon. A biomassza tüzelés bevezetésének kezdetén (kétezres évek közepe), először faaprítékkal próbálkoztak, azonban ezt a rendszer nem bírta el, mert nem tudták elég finomszemcséjűre őrölni. A technológiát komoly mértékben kellett volna módosítani ahhoz (új típusú őrlőmalmok), hogy

fel lehessen használni a faaprítékot, ám ez nagy költséget jelentett volna. A szalma brikett tüzelés sem hozta meg a várt sikert, mert a brikett összetörése további munkafázissal hosszabbította a folyamatot.További alternatívát a napraforgóhéj-darálék tüzelése jelentette,, azonban szintén technológiai probléma adódott , mert a kis fajsúlyú szemcsék nem égtek el tökéletesen és megültek a kazán hátuljában. Jelenleg napraforgó darálékot (fej, szár, tányér) használnak biomasszaként az erőműben. Ezt a fűtőanyagot szénporral együtt egy kazánban tudják eltüzelni, mivel a kazán alapvetően szénportüzelésre alkalmas. A berendezés bár egy régi technológiájú falazott kazán, a jelenlegi igényeket maximálisan fedezni tudja. Napjainkbanmaximálisan 50%-os részarányt tudnak elérni a biomasszával az összes bevitt tüzelőhő arányában, azonban az 2014-2015. évi fűtési szezonban (október-áprilisig tartó időszak) csak 35% körül alakult a biomassza felhasználás. A tüzelőanyag 20-50 mm-es frakcióméretű darálék, mely 100%-ig mezőgazdasági hulladékból készül, így elmondható, hogy a környezeti fenntarthatóság szempontjainak megfelel. A termelők és a szállítók érdeke az, hogy a biomassza egyéb célra hasznosítható, drágábban értékesíthető részeit eltávolítsák, biztosítva a maximális hulladék alapú tüzelőanyag-felhasználást. Az erőműben további beruházást, csak 4 új adagoló vásárlása jelentett, mert a korábban meglévők (4 darab) nem tudták növelni a termelést. A jelenlegi 8 adagoló közül 4-ben csak biomasszát, 4-ben csak szenet használnak. Alapvetően nem keverik a biomasszát a szénnel, azonban abban az esetben, ha nagyon nedves szént és száraz biomasszaérkezik az erőműbe, akkor vegyítik, mert a nedves szén megtapadása az adagolón teljesítményromláshoz vezet. Az égéstérben a kétféle tüzelőanyag keveredése már nem jelent problémát. A nedves fűtőanyag az égést tekintve is rontja a teljesítményt, ezért a felhasználás szempontjából az egyébként jellemzően. 20-30% közötti nedvességtartalom az optimális.

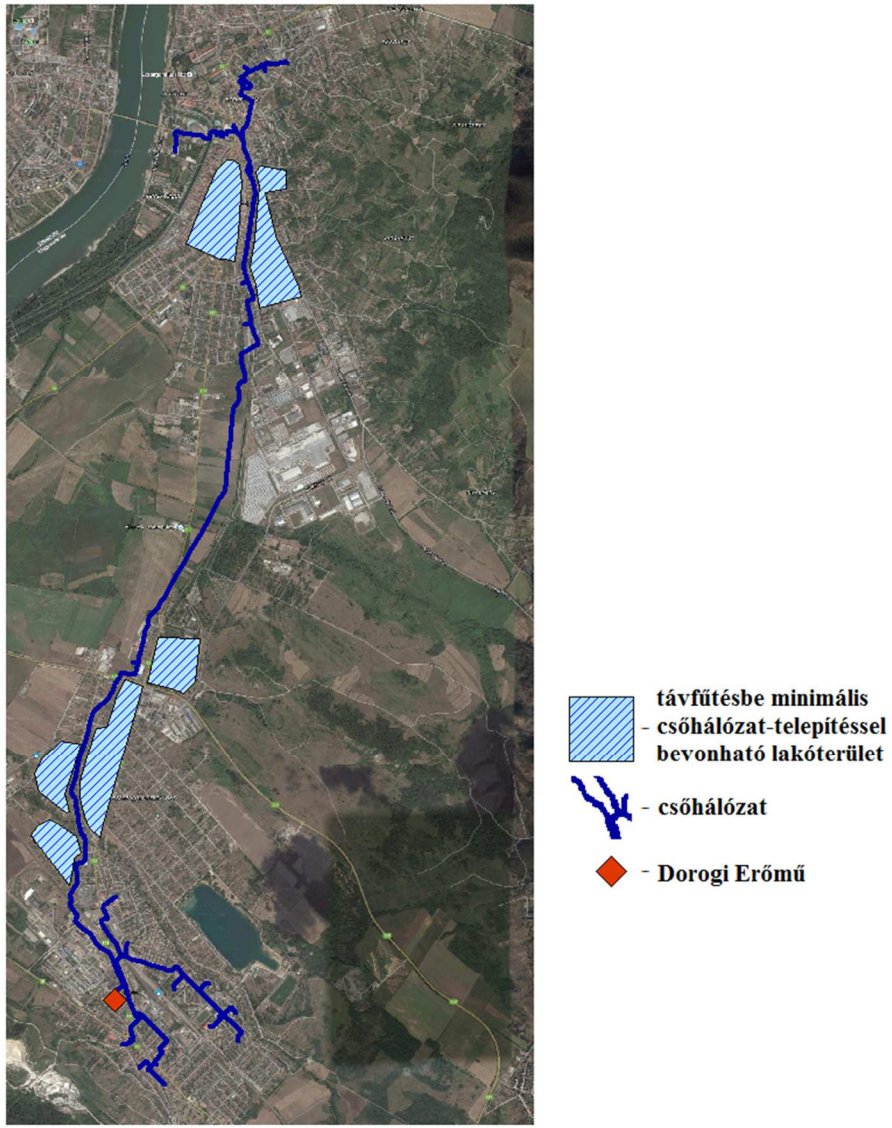
Fűtőértékük tekintetében meglepő módon nincs komoly különbség a biomassza és a szén között. A biomassza fűtőértéke nedvességtartalmától is függ, ami az erőmű laboratóriumi vizsgálatai szerint kilogrammonként 14-17 MJ körül,, a használt barnakőszénnek ugyanezen értéke 15-17 MJ/kg között alakul. Egy szezonban nagyjából 10 ezer tonna a biomassza felhasználás, ami nagyjából 35%-os részarányt jelent a teljes szezont nézve. A szén felhasználás ennek értelmében kb. 15-20 ezer tonna/szezon, ez főleg alacsony kéntartalmú barnakőszenet jelent, amit jelentős mértékben importból fedeznek.

A szezon októbertől áprilisig tart. Szezonon kívül a Richter Gadeon gyár megmarad fogyasztónak, azonban a műhelyfűtések kiesése miatt itt is igénycsökkenés érezhető. Szezonon kívül a szenes, illetve a biomasszás kazánok nem működnek, ilyenkor csak a két földgáztüzelésű kazán termel.

Ennek oka, hogy a szenes kazánokműködéséhez szükséges technikai minimumot a nyári igény nem haladja meg. Szenet tartalékban tartanak nyáron is, hogy egy komolyabb lehülés , vagy a földgáz ellátás bizonytalanná válása esetén is zavartalan legyen a működés.

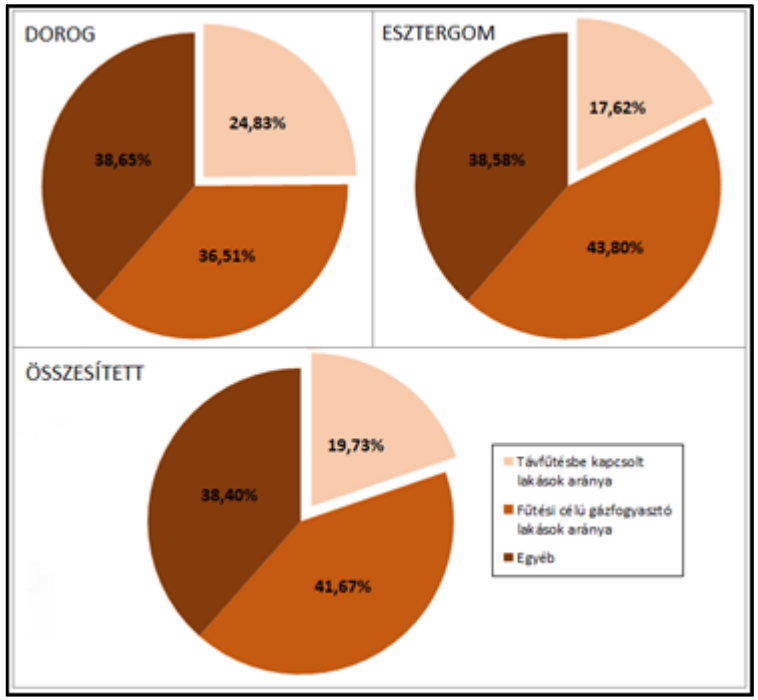
Távhőszolgáltatás részben biomassza alapon

A Promtávhő Kft. - amely a Dorogi Erőmű testvércége a Veolia Energia Magyarország Zrt. égisze alatt - a használati meleg vizet biztosítja két településnek, ami az általuk szolgáltatott adatok alapján Dorogon 1278 lakást, illetve 13 intézményt, Esztergomban pedig 2189 lakást illetve 10 intézményt jelent. Nem egyedi eset a biomassza alapú távhőszolgáltatás hazánkban, elég csak a 2005-ben megvalósult Pornóapátiban található faapríték-tüzelésű falufűtőműre gondolunk. Ilyen falufűtőművek jellemzőek Ausztriában is (pl. Güssing környéke). A legfőbb probléma a Promtávhő Kft. rendszerrel az, hogy az említett lakások közül mindegyik lakótelepi, a családi házak egyáltalán nincsenek rákötve a rendszerre annak ellenére, hogy a csővezeték elhalad mellettük, ahogyan azt az *1. ábrán* láthatjuk. A rákapcsolódás lehetősége elméletileg mindenki előtt nyitva áll, viszont komoly anyagi megterhelést jelent. A Promtávhő Kft. szerint ez esetenként relatíve alacsonyabb költséggel is megoldható lenne (kb. 1-2 millió forint), de egy bonyolultabb hőközponti rendszer telepítése esetén 10 millió forintig emelkedhet a költség. A rendszer hatékonyságán ennek értelmében lehetne javítani, hiszen Dorog és Esztergom között egy körülbelül 8 kilométer hosszúságú szakaszon egyáltalán nincs fogyasztó. A fűtési célú gázfogyasztók száma ugyanakkor Dorogon 1879 lakás, Esztergomban pedig 5441 lakás volt 2014-ben (KSH adatai alapján).



29. ábra. Dorog és Esztergom városok távhővezeték-rendszere (a Promtávhő Kft. adatai alapján szerk: Szücs P. N.)

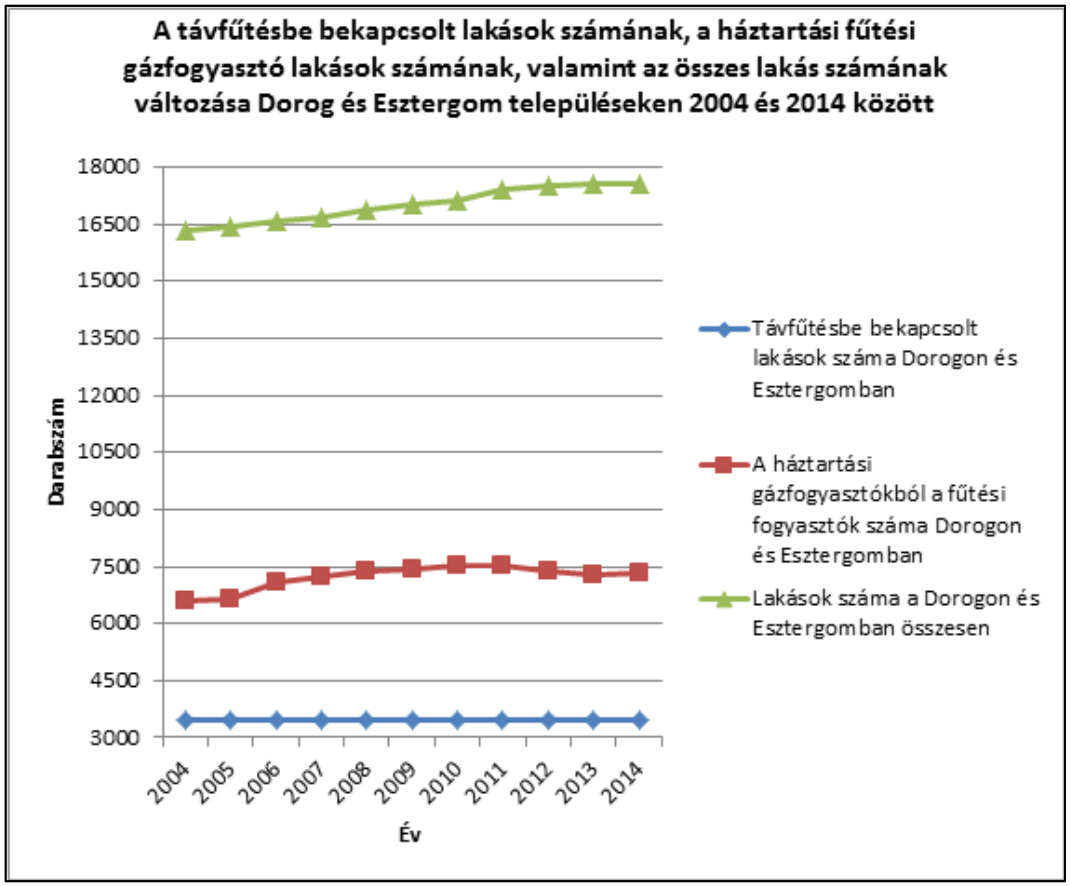
A *30. ábrán* látható ezen adatok összehasonlítása a távhőfogyasztók adataival kördiagramokon, melyekből kitűnik az, hogy a két település összes háztartását figyelembe véve nem éri el a 20%-ot a távfűtésbe bekapcsolt lakások aránya. Az *29. ábrán* jelölt területeket tekintve kijelenthető, hogy a csővezeték lényeges meghosszabbítása nélkül, kizárólag rövid leágazások kialakításával nagyjából másfélszeresére is növelhető lenne a Dorogi Erőmű távhőszolgáltatásába bevont lakások száma, ez körülbelül 1500 lakást érintene.Az erőmű bőven bírna még el fogyasztókat (akár a dupláját is), így technológiai akadálya nem lenne a rácsatlakozásoknak. A valóságban azonban egyáltalán nem látszik az az irány, hogy a távhőfogyasztók száma rohamosan növekedne (*31. ábra*).



30. ábra. A használt fűtési típusok megoszlása Dorog és Esztergom településeken, (KSH 2014)

A KSH tájékoztatási adatbázisában található adatokból kitűnik, hogy Dorogon és Esztergomban a 2004-2014 közötti időszakban a távfűtésbe bekapcsolt lakások, valamint a melegvíz-hálózatba bekapcsolt lakások száma gyakorlatilag nem változott.

A 3. ábrán szintén ábrázolt fűtési célú gázfogyasztó háztartások száma ugyanezen időszak alatt 707 lakással nőtt, azonban az igazi érdekesség a teljes lakásállomány tekintetében figyelhető meg, ahol a vizsgált időintervallumban 1217-el nőtt az érték. Kiszámítható, hogy a 2004-2014 közötti időszakban az új lakásoknak mindössze 0,08%-a van máig rácsatlakozva a távhővezetékre, ami összehasonlítva a fűtési célú gázfogyasztók 58%-os adatával egészen elhanyagolható.



31. ábra A használt fűtési típusok megoszlása Dorog és Esztergom településeken, (KSH 2014)

Az energiaveszteség (erőműből kiadott hőenergiából levonva a fogyasztók által felhasznált hőenergia) éves átlaga Dorog esetében 14,42%, Esztergom esetében pedig 28,2% volt 2015-ben. A szállítási veszteségek minimalizálása érdekében a Promtávhő Kft. szakemberei folyamatosan vizsgálják a szigeteléseket monitoring rendszer segítségével.

Az energetikai megtérülési mutató

Energetikai megtérülésről akkor beszélhetünk, ha a folyamat során kinyert energia mennyisége meghaladja a folyamatba fektetett energia mértékét. Ahhoz, hogy az energetikai eljárások megtérülésük szempontjából összehasonlíthatóvá váljanak, bevezetésre került az úgynevezett EROEI (más forrásokban EROI – Energy Return on Investment)- szám, ami az energia kihozatalt jelenti, a befektetett energia arányában. Értelemszerűen alacsonyabb EROEI érték lassabb megtérülést jelent, az érték növekedésével párhuzamosan nő az energiaforrások megtérülésének gyorsasága. Amennyiben a folyamat EROEI értéke 1-nél alacsonyabb, abban az esetben energiaveszteségről beszélünk, megtérülésről kizárólag ezen érték felett.

Az EROEI számítása elsőre egyszerűnek tűnhet (kinyert / befektetett energia), azonban a valóságban nagy komplexitás, bonyolultság jellemzi. Ennek legfőbb oka a bemeneti (input) adatok mennyisége és minősége. Ennek okán a különböző értékeket mindig fenntartásokkal kell kezelni, mert ahány szerző, annyiféle módszer. Általánosítva két típusát különböztethetjük meg az EROEI-nek:

- nettó energiamérleg (net energy ratio): teljes körű az input. Mindent figyelembe vesz, például a szállításhoz használt teherautó üzemanyagának kitermeléséhez szükséges energiát is;
- externális („szűkített”) energiamérleg (external energy ratio): az inputok között csakis a könnyebben mérhetőeket tünteti fel, amit a folyamatba az ember „tesz bele” (pl. hány liter benzin a kamionba), a kutatáshoz tartozó adatokat nem (pl. bányászat) (INMAN 2013).

Az ismertetett típusokból az látszik, hogy az externális energiamérleg módszerével számított EROEI mindig nagyobb, mint a nettó energiamérleggel kalkulált, mivel előbbi a felhasznált energia oldalán kevesebb folyamatot vesz figyelembe. Ebből arra következtethetnénk, hogy a nettó energiamérleggel számolt EROEI pontosabb, mint az externális, de meg kell jegyezni, hogy a nettó energiamérleg számításakor a bemenő

4. táblázat Energiaforrások és- technológiák EROEI mutatói

Energiahordozó	Év	EROEI értéke	Adat forrása
FOSSZILIS			
Kőolaj- földgáz	1930	>100	Cleveland et al. 1984, Hall et al. 1986
Kőolaj- földgáz	1970	30	Cleveland et al. 1984, Hall et al. 1986
Kőolaj- földgáz	2005-2006	11-18	Cleveland, 2005; Gagnon, 2009
Kőszén	1930	80	Cleveland et al. 1984, Hall et al. 1986
Kőszén	1970	30	Hall et al. 1986
Kőszén (USA)	2007	60	Balogh et al. unpublished
Kőszén (Kína)	2010	27	Hu et al.2013
Atom (USA)	n/a	5-15	Hall and Day, 2009, Lenzen, 2008

Atom	n/a	15-50	Molnár M. 2011
MEGÚJULÓK			
Vízenergia	n/a	>100	Cleveland et al. 1984
Szélturbina	n/a	18	Kubiszewski et al. 2010
Napkollektor	n/a	1,6	Hall et al. 1986
Napelem	n/a	6-12	Kubiszewski et al. 2009
Biogáz	n/a	2-5,5	Bai A. et al. 2002
Bioetanol (cukornád)	n/a	0,8-10	Goldemberg, 2007
Biodízel	n/a	1-3	Hall, Powers et al. 2008
Energiafüvek	n/a	10-20	Büki G. 2007
Energetikai faültetvény	n/a	3-20	Büki G. 2007
Energiaerdő	n/a	21-50	Bai A. et al. 2002, Büki G. 2007

adatok korrekt, teljes körű felderítése szinte lehetetlen (nem tudhatjuk, hogy éppen azt a liter üzemanyagot milyen típusú gépekkel bányászták, szállították, vagy éppen a különböző vállalatok milyen minőségű adatokat szolgáltatnak. Így pontos adatokra nem lehet szert tenni, sokszor kell becslést alkalmazni).

A fosszilis energiaforrások a múltban magasabb EROEI értékekkel rendelkeztek, mint napjainkban. Ennek oka egyértelműen a nehezebb hozzáférhetőség, ezzel párhuzamosan a készletek megfogyatkozása, illetve ezek következményeként az egyre költségesebb, energiaigényesebb

technológiák alkalmazása. Jó példa erre a kőolaj és földgáz EROEI-je, mely 1930-ban 100-nál magasabb értéket mutatott, 1970-ben már csak 30-at, 2005-ben pedig 11-18 között határozták meg. A nukleáris energia esetén érdekesség, hogy míg MOLNÁR M. (2011) szerint a nukleáris energia EROEI értéke 15 és 50 közé esik, HALL et al. (2014) tanulmányában azonban ez az értéket már csak 5 és 15 közé teszi. A megújuló energiaforrások esetében természetesen nem beszélhetünk egy adott EROEI értékről, ez technológiánként és számítási módonként változó. A *3. táblázatban* látható, hogy a legmagasabb értéke a vízenergiának van, de a szélenergia EROEI értéke is viszonylag magas. A napenergia felhasználáson belül a napelemes rendszerek EROEI értéke jelentősen magasabb a napkollektoros rendeszerek értékénél. A biomassza-típusok értékei között láthatjuk a legnagyobb szórást. A folyékony halmazállapotú biomassza típusok közül a cukornád eredetű bioetanol értékeiről elmondható, hogy ezek szórása szintén viszonylag magas, mértéke nagyjából azonos a gabona alapú bioetanol értékeivel, melynek szórása jelentősen alacsonyabb. A biodízel EROEI értékei szintén hasonló kategóriába sorolhatóak, mint az imént említett üzemanyagoké. Legnagyobb szórást a szilárd biomassza esetében figyelhetünk meg. Egyáltalán nem mindegy, hogy milyen növénytípusokról, illetve művelési ágakról beszélünk, ezek mind-mind befolyásolják az EROEI értékeit.

Az EROEI kiszámításának folyamata

A kiszámolt végső energiamérleg externális energiamérleg lesz, mivel a nettó energiamérleg korrekt kiszámítása ebben az esetben szinte lehetetlenség lenne. Ennek okai többek között a napraforgó hosszú, sok tényezőt magába foglaló életútja; a Dorogi Erőmű stratégiája, miszerint több beszállítóra támaszkodnak;, továbbá hogy a beszállítók rengeteg helyről vásárolják fel a napraforgót. Az externális energiamérleg kiszámítása sem egyszerű, mert az adatokat több, különböző helyről kell beszerezni, és még így sem biztosítható az adatszolgáltatók részéről a maximális precizitás.

A napraforgó-termesztéséhez köthető energiaigény meghatározásának folyamata

Az energiamérleg számításának első lépése a napraforgó-termesztés folyamatának, életciklusának végigkövetése. Ez máris komoly kérdéseket vet fel, hiszen az a típusú napraforgó-fűtőanyag, melyet a Dorogi Erőműben tüzelésre használnak, valójában a napraforgó-termesztés teljes melléktermé̇ke,

amely arányaiban körülbelül 5%-a a betakarított napraforgónak. A termesztés célja a minél jobb minőségű kaszatok elérése, a melléktermék mondhatni a „szükséges rossz”, melynek értékesítése némi plusz jövedelmet hoz a termesztőknek. Valójában a fűtőmű alapanyagának előállításához nem szükséges semmilyen extra energia befektetés, mint amit egyébként is elvégeznének a termesztők a napraforgó-kaszatok szabályozások szerinti minőségének elérésének érdekében. Így felmerül a dilemma, hogy korrekt-e egy olyan energiamérleg felállítása, amely figyelembe veszi a hulladék anyagnál a mezőgazdaságilag értékes anyag elérésének céljából befektetett energiát, mivel tisztán erőművi felhasználásra a napraforgó termesztése nem életszerű, agrár-szakmailag nem megalapozott. Az általunk vizsgált esetben, tehát a hulladék alapú napraforgó energetikai felhasználásánál nem lehet egy darab, pontos EROEI értéket megadni, így két szélsőérték kiszámításával intervallum formájában fogjuk megadni a bevitt energiamennyiség értékét, ezáltal pedig a végső energiamérleget is. A bevitt energia minimum értékének számításánál a napraforgó-termesztés energiaigényét teljes mértékben figyelmen kívül hagyjuk. Az input oldal maximuma lesz az az érték, melynek kiszámítása során végigkövetjük, hogy a termesztés mely szakaszaiban igényel gépi energia befektetést a növény, valamint meg kell állapítani ezek értékeit. A napraforgó életciklusát az előzetes talajmegmunkálással kezdjük, majd végig haladunk az összes szakaszon egészen a teljesen letisztított termény tárolóba történő lerakásáig. Annak ellenére, hogy a kizárólag erőművi felhasználásra termesztett napraforgó nem tekinthető fenntarthatónak, ezért ezt a lehetőséget csak a befektetett energia kiszámításához tételezzük fel, hiszen ahhoz, hogy a tüzelésre szánt melléktermék létrejöhessen, szükséges a befektetett energia.

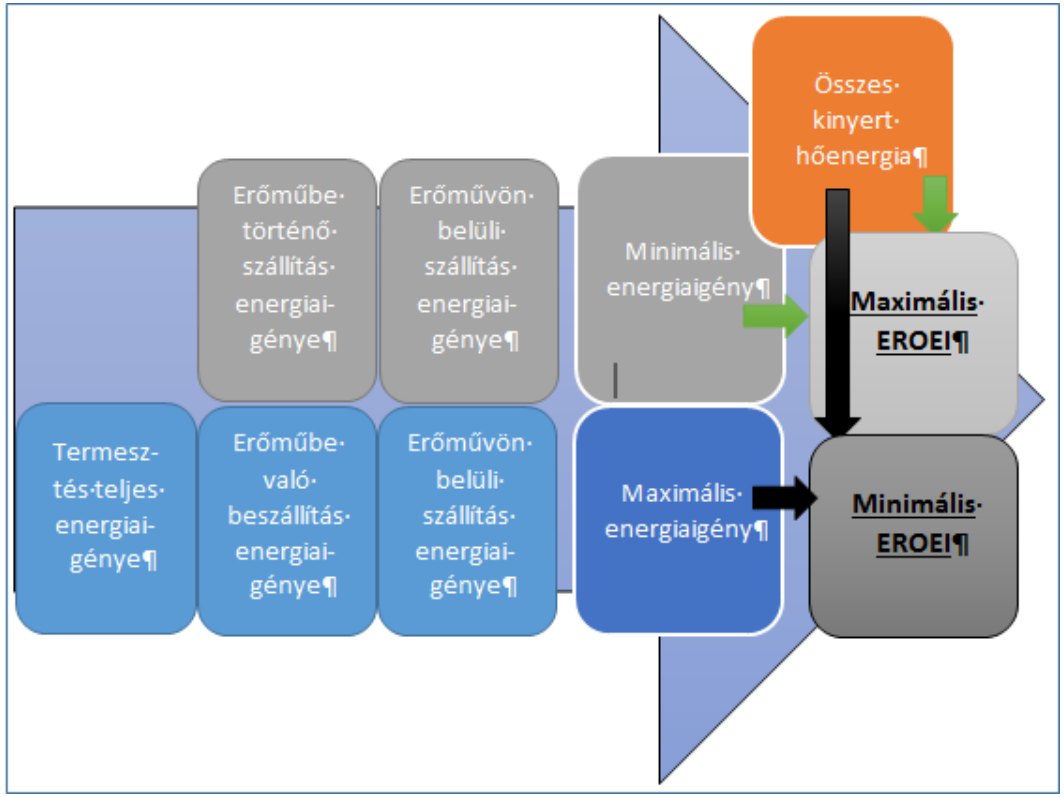
A szállításhoz, rakodáshoz köthető energiaigény meghatározásának folyamata

Az input oldal meghatározásánál második lépésben a szállításhoz, valamint a rakodáshoz, adagoláshoz köthető energiaigényt kell meghatározni. A Dorogi Erőműnek több biomassza beszállítója is van, ezek közül a legrégebbi a Merlin Biofűtő Kft. A cég felvásárolja a napraforgó-melléktermeket a termelőktől, majd a saját telephelyére szállítja. A telephelyre szállítás után végez egy rostálást az anyagon, ezután eltárolja, majd igény esetén elszállítja az erőműbe. Az erőműben a beérkezést követően leborítják, onnan rakodógépekkel juttatják el egy újabb rostálón át a szállítószalag aljára. Ez a szállítószalag viszi el az tüzelőanyagot az adagolókhoz, melyekből az őrlőmalmon át a kazánba kerül.

A folyamatból látható, hogy az energiabefektetés a gyakorlatban főleg azon múlik, hogy mennyit szállítják az anyagot – ez a legkönnyebben változtatható szakasz a folyamatunkban. Anyagi oldalon egyértelmű megtérülés látható, hiszen mind a beszállító cég, mind az erőmű részéről egyértelműen pozitív anyagi vonzata van a folyamatnak. Az erőműnek előnyös a napraforgó-melléktermék felvásárlása, hiszen jelentősen alacsonyabb áron vásárolják, mint fosszilis tüzelőanyagokat, a beszállító pedig a kapcsolatot jelenti a termelők és az erőmű között, így ő a tüzelőanyagra alkalmazott árréssel, valamint a szállítási költséggel együtt tud profitot termelni. Az energetikai megtérülés viszont kérdéses, hiszen nem mindig valósul meg a fizikailag leközelebbi helyről történő biomassza beszállítás, hiszen a beszállítók tenderezése során nem ez a szempont játssza a legnagyobb szerepet.

A kinyerhető hőenergia mennyiségének meghatározásának módja

Talán a legegyszerűbb része az energiamérleg kiszámításának az output oldal meghatározásra. Az erőműben felhasznált biomasszának laboratóriumi vizsgálatok alapján meghatározásra kerül a fűtőértéke. A kazán hatásfokával korrigálva könnyedén kiszámítható az egységnyi napraforgó-törmelékből kinyerhető hőenergia. A *34. ábra* a számítási folyamat lépéseit mutatja:



32. ábra Az EROEI számítás folyamatának lépései (saját szerkesztés)

Eredmények, következtetések

5. táblázat Az energiamérleg számításának eredményei

Napraforgó-termesztés energiaigénye				
Tevékenység	Gép	Fogyasztás (l/ha)	Fűtőérték (MJ/l)	Befektetett energia (MJ/ha)
Elővetemény, tárcsázás	200 LE traktor + tárcsa	7,00	35,80	250,60
Alapműtrágya szórás	80 LE traktor + eke	1,50	35,80	53,70

Szántás	360 LE Fendt traktor	25,00	35,80	895,00	
Talajfelszín simítás	310 LE John Deere traktor + kompaktor	8,00	35,80	286,40	
Vetőmagágy készítés	360 LE Fendt traktor	10,00	35,80	358,00	
Vetés + műtrágyázás	310 LE John Deere traktor + JD vetőgép	8,00	35,80	286,40	
Alapgyomírtás	John Deere hidaspermetező	2,00	35,80	71,60	
Gyomírtás	John Deere hidaspermetező	2,00	35,80	71,60	
Sorköz művelés + műtrágyázás	310 LE John Deere traktor + kultivátor	10,00	35,80	358,00	
Gombavédelem	John Deere hidaspermetező	2,00	35,80	71,60	
Deszikkálás	John Deere hidaspermetező	2,00	35,80	71,60	
Betakarítás	John Deere kombájn	15,00	35,80	537,00	
Terménszállítás	MAN teherautó	3,00	35,80	107,40	
Tisztítás + szárítás	Riela terménszárító	7500,00 MJ/h		375,00	
Betárolás	Redler szemtovábbító szerkezet	1,50	35,80	53,70	
Termesztés energiaigénye összesen (MJ/ha)				3847,60	
Termesztés tonnánkénti energiaigénye (MJ/t)				**1532,91**	
Erőműbe történő szállítás					
Tevékenység	Gép	Távolság (km)	Fogyasztás / 100 km	Össz. Gázolaj (l)	Össz. Energia (MJ)
Győri telephelyről termesztőhöz	MAN	150,00	35,00	52,50	1879,50
Visszaút	MAN	150,00	35,00	52,50	1879,50
Győri telephelyről erőműbe	MAN	95,50	35,00	33,43	1196,62
Visszaút	MAN	95,50	35,00	33,43	1196,62

Rakodás	Rakodógép			36,00	1288,80
Összes erőműbe történő szállítási energia (MJ)					7441,03
Egy tonna anyagra jutó szállítási energia (erőműbe történő szállításnál) (MJ/t)					**310,04**
Erőművön belüli szállítás					
Tevékenység	Gép	Fogyasztás (l/t)	Egy tonna szállításához szükséges energia (MJ/t)		
Biomasszára vonatkozó erőművi szállítás	Szállítószalagok, villamos berendezések				**4,70**
Rakodás	Rakodógép	1,50 l			**53,70**
Energiatermelés					
Helyszín	Fűtőérték (MJ/kg)	Kazán hatásfoka (%)	Kinyert energia (MJ/t)	Befektetett energia (MJ/t)	EROEI
Dorogi Erőmű (hő)	15,5	80	12400	1901,35	**6,52**
Dorogi Erőmű (hő)	15,5	80	12400	368,44	**33,66**

Az EROEI számításának alapadatait, illetve eredményeit a *4. táblázatban* lettek összefoglalva. A gázolaj fűtőértéke 35,8 MJ/l-ben (KALMÁR I. – DR. STUKOVSZKY ZS. 1998) lett meghatározva. Egy hektárra vonatkozó termésátlagnak a KSH által meghatározott 2015-ös országos átlagot, tehát 2,51 t/ha-t vettünk, a számítások pedig tonnára lettek vetítve. A termesztés energiaigényének meghatározásánál végig kellett haladni a teljes folyamaton, hogy tiszta képet kaphassunk róla. A napraforgó-termesztés életciklusát az elővetemény-ezéstől kezdjük, melyet 200 lóerős traktorral, illetve egy tárcsával végeznek. Második lépésben következik az alapműtrágya kiszórása, egy 80 lóerős traktor, illetve egy eke segítségével. Ezt követi harmadik lépésben a szántás, egy 360 lóerős traktorral. A szántás után következik a talajfelszín simítása, majd a vetőmagágy készítése, szintén traktorokkal. Ezután a vetéssel folytatják, mellyel párhuzamosan végzik az első műtrágyázási folyamatot (N-, illetve P- műtrágya). A következő két lépésben végzik a gyomirtást, ezután pedig a sorköz-művelés, valamint újabb műtrágyázás (P-, K- műtrágya) következik, szintén traktorral. Egy gombavédelmi, illetve deszikkálási (előzetes szárítási) lépést követően következik a betakarítás, melyet kombájnnal végeznek. Ezután szállítják el a terményt a földekről a telephelyre, ahol egy tisztító-szárító folyamat után végzik el a letárolást.

Az energiaigények meghatározásánál komoly segítséget nyújtott az, hogy a gázolaj jövedéki adójának visszaigénylésére hektáronként 97 literig van lehetőség, az ezen felül használt gázolaj után nincs. Ezért a termelők törekednek arra, hogy a gázolaj-fogyasztásuk hektáronként ne legyen több 97 liternél, így ez az adat általánosságban helytálló. A tisztítás-szárítást végző gép földgáz-tüzeléssel működik, ennek energiaigényét órára tudtuk megbecsülni. Azt lehet tudni erről a gépről, hogy óránként körülbelül 20 tonna napraforgót tud leszárítani, így az órára becsült értéket elosztottuk 20-al, hogy megkapjuk a tonnánkénti tisztítás-szárítás energiaigényt.

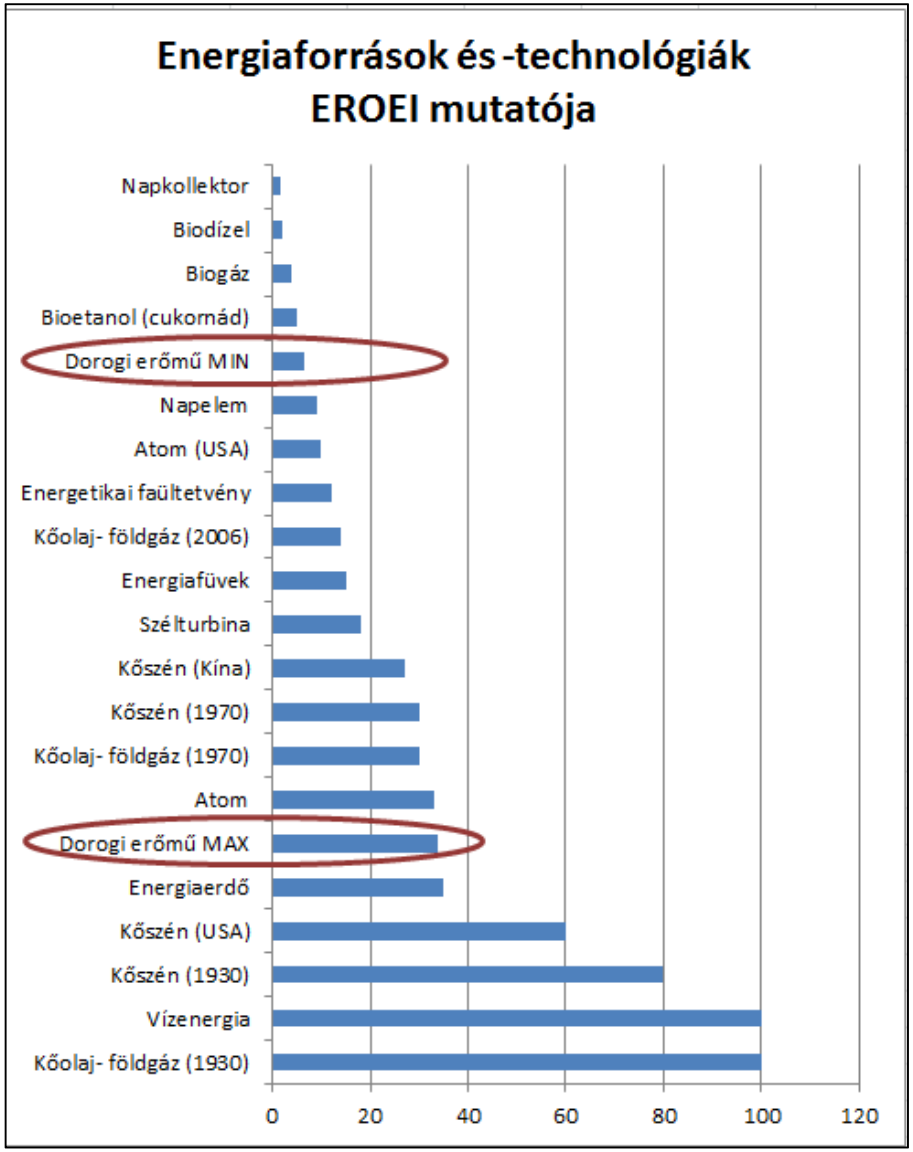
A szakirodalomban a mezőgazdaságilag termelt növények energiamérlegének megállapításakor nincs teljes egyetértés abban, hogy az termesztés energiaigényénél pontosan milyen tényezőket kell figyelembe venni. ATLASON, R. S. et al. (2015) például a cukorrépa energiamérlegének vizsgálatánál nem vette figyelembe az öntözést, HAMZEY, J.- SEYYEDI, M. (2016) napraforgóra és szójababra, illetve DEMIRCAN ET AL. (2006) a cseresznyére és a meggyre vonatkozólag viszont figyelembe vették. Ugyanakkor a napraforgó ökológiai igényei között FOGARASSY CS. (2001) a vízigényről azt írja, hogy az éppen rendelkezésre álló nedvesség miatt is fordulhat elő, hogy egy-egy tenyészidőszak hozamai között jelentős eltérések vannak, az öntözés szerepéről azonban nem ejt szót, ahogy FRANK (2012) sem. BÜKI G. (2007) a napraforgó-termesztés energiaigénye kapcsán nem részletezte, hogy milyen tényezőket vett figyelembe. Mivel a csapadékmennyiség egyenetlensége miatt nem lehet jól közelítő átlagértéket megadni az öntözést illetően, így az inputok során ezt nem vettem figyelembe. Dilemma volt még a műtrágyák, valamint a gyomirtók energiaigényeinek figyelembe vétele, azonban nem használható ezekre egy adott átlagérték, mely főleg az előállítási (FADARE et al. 2009) és a szállítási energiaigényből tevődik össze. Már csak azért sem, mert nem lehet tudni azt, hogy az átlagérték pontosan mi alapján lett kiszámítva, milyen szállítási energiaigényt figyelembe véve, így ezen értékek beleszámítása csak akkor lenne korrekt, hogyha az üzemanyagokra vonatkozóan is figyelembe lennének véve például a bányászat, finomítás, egyéb folyamatok energiaigényeit, melyekre becslés csak nagy-nagy jóindulattal adható. A „nettó energiamérleg” - mint amilyenek a korábban említett külföldi tanulmányokban olvashatóak - esetén természetesen bele kellene számolni, ám számításunk a rendelkezésre álló adatok hiányában nem tud ilyen részletes lenni, ezért az inputok közül az öntözés, a műtrágyák, valamint a gyomirtók (és az üzemanyagok gyártásának) energiaigénye kihagyásra került. A hektáronkénti termést a 2015-ös magyarországi termésátlagnak, 2,91 tonna/ha-nak vettük. Mivel a betakarítás után szántóföldön hagyott származadványok bálázása nem megoldott, – ezáltal nem kerül az erőműbe - így a folyamat plusz energia-befektetést nem igényel.

Az erőműbe történő szállítás energiaigényének meghatározásakor a Merlin Biofűtő Kft. adatait vettük figyelembe. A cég telephelye Győrben található, a tüzelőanyagot a termelőktől történő felvásárlás után a győri telephelyre szállítják. A telephelyen van egy rakodási-tárolási energiaigény, illetve egy rostálási energiaigény, ezek értékét közösen 1,5 l/t. A szállító, mint közbenső szereplő az alábbi energiákat „teszi bele" a folyamatba:

- termelőtől a cég telephelyére történő szállítás
- a cég telephelyén végzett ki- és betárolás, valamint rostálás
- a cég telephelyéről az erőműbe történő szállítás

Mivel a cégnek több teherautója is van, ezért 30-35 liter / 100 km-es gázolajfogyasztás lett megbecsülve, mi a maximumnak becsült 35 literrel számoltunk. A cégnek a Győrhöz képest 150 km-es körzetből felvásárolt napraforgó jelent még anyagi hasznot. Ennek értelmében a szállítási energiaigénybe beleszámoltuk a termelőhöz való elutazást (maximális, 150 km-es távolságot feltételezve), az onnan a telephelyre történő beszállítást, a telephelyen elvégzett plusz feladatokat, az erőműbe történő kiszállítást, valamint az erőműből Győrbe való visszatérést.

Az erőművön belüli szállításról kész adatok állnak rendelkezésre. A rakodógép rakodott tonnánként 1,5 l gázolajat fogyaszt, a szállítószalagok és egyéb villamos berendezések éves fogyasztásából lehetett következtetni a tonnánkénti villamosenergia-fogyasztásra.
A kinyert hőenergia értéke magasabb lett az előre feltételezettnél, mivel az erőmű kazánja 80%-os hatásfokkal működik, ami az EROEI értékét jelentősen befolyásolja. Ennek értelmében a fűtőérték tonnára vetített értékének 80%-a lesz a kinyert hőenergia – belátható, hogy például 30%-os hatásfok mellett a kevesebb megtermelt hőenergia miatt az energiamérleg értéke alacsonyabb lenne. Végeredményben, amikor a termesztés energiaigényét maximálisan figyelembe vettük az EROEI értéke 6,52 lett, ez az intervallum minimuma. Az intervallum maximuma, amikor teljességgel hulladékként tekintettünk a tüzelőanyagra - ezáltal a termesztés energiaigényét figyelmen kívül hagytuk – 33,66 lett. Ez az érték abban az esetben lenne növelhető, ha a tüzelőanyag szállítása kevesebb kilométert igényelne.



33. ábra Energiaforrások és- technológiák EROEI mutatója (saját szerkesztés)

A tüzelőanyagot a következő részek alkotják: szár legfelső maximum 10 cm-e, tányér darabok, fej darabok, esetleges levél darabkák. Ezt a keveréket a termelők nem tudják már sem értékesíteni, sem egyéb módon hasznosítani, így jelenthető ki, hogy teljesen hulladék-bázisú a biomassza fűtőanyag. Az erőműben egy kazánban tudják, maximum a bevitt tüzelőhő 35%-os részarányában felhasználni, szénpor eltüzelése mellett. A fűtési szezonban kizárólag ezt az egy kazánt működtetik, azonban áprilistól szeptemberig, szezonon kívül nem tudják elérni a kazán technikai minimumát, így kénytelenek a földgáz-tüzelésű kazánokat működtetni.

A távhőszolgáltatást testvércégük, a Promtávhő Kft. végzi. Összesen több, mint 3000 lakás van Dorogon és Esztergomban a rendszerre kötve, azonban ezen bőven lehetne javítani, azonban a tendencia szerint az új lakásokban nem a biomassza alapú távhőt választják, vonzóbb megoldás számukra a földgáz alapú fűtés, illetve egyéb megoldások (pl. egyedi fűtőberendezések). A távhőfogyasztók számának stagnálása mögött az érdekellentét húzódhat, hiszen a távhőszolgáltatónak az az érdeke, hogy minél több felhasználó minél többet fogyasszon, ugyanakkor a felhasználók (anyagi) érdeke a minél alacsonyabb fogyasztás. Az erőmű technológiai feltételei adottak akár a jelenlegi hőigény duplájának teljesítéséhez is, a csővezeték nyomvonalának környezetét elemezve pedig kijelenthető, hogy minimális csővezetéki kiágazások telepítésével nagyjából másfélszeresére is növelhető lenne a fogyasztók száma. Azonban ez a fajta beruházási kedv egyelőre hiányzik az emberekből, mint azt az adatok is mutatják.

A tanulmány célja egy ún. EROEI érték (kinyert energiamennyiség mennyisége a bevitt energiamennyiséghez képest), vagyis energiamérleg meghatározása volt, amihez ismerni kell a folyamatba befektetett, illetve a folyamatból kinyert energiamennyiséget. Az energiamérleg felállításánál az úgynevezett externális energiamérleget használtuk, mely nem foglalja magában teljes körűen minden energia-befektetést, mert egy részük meghatározása rendkívül bonyolult, és minden bizonnyal pontatlan lenne. Így azok a tevékenységek maradtak az input oldalon, melyek meghatározása a lehető legpontosabban megtörténhetett. A kinyert energiamennyiség meghatározásánál a kazán hatásfokát, valamint a napraforgó-melléktermék fűtőértékét kellett megvizsgálni, ez alapján lehetett kiszámolni a kinyert hőmennyiséget. Az így kiszámított intervallum 6,52-33,66, ezen értékek közé eshet az energiamérleg a jelenlegi gyakorlatot figyelembe véve. A számítás módszertanánál a legnagyobb kérdést az jelentette, hogy a termesztés energiaigénye milyen súllyal legyen figyelembe véve. Mivel hulladék-biomasszáról van szó, amely előállításához a hagyományos napraforgó-művelés energiaigényén felül nem kell energiát befektetni. Sőt, felmerül a kérdés, hogy ha a napraforgót mindenképpen megtermesztik számoljunk-e egyáltalán az ennek termesztéséhez szükséges energiával. Ugyanakkor, ha nem lenne napraforgó-termesztés, akkor melléktermék sem keletkezne, ezért választottuk az intervallumos meghatározást. A végeredményről elmondható, hogy a 33,66-os maximum érték a szakirodalomban meghatározott megújuló energiaforrások EROEI értékeihez képest magas, ennek oka, hogy hulladék-alapú biomasszáról van szó, ezért a maximum érték meghatározásakor a

termesztés energiaigénye nem lett beleszámolva az inputok közé. Ez, illetve a minimum érték is növelhető lenne abban az esetben, ha közbenső szállító nélkül, a termesztőktől közvetlenül az erőműbe kerülne e fűtőanyag.

Irodalomjegyzék

ANTAL J. (szerk.) (2005): Növénytermesztéstan 2. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 596 p.

ANTAL L. (2000): Túl az első évtizeden. - Mozgó Világ, 26. pp. 3-17

ATLASON, R. S. – LEHTINEN, T. – DAVÍÐSDÓTTIR, B. – GÍSLADÓTTIR, G. – BROCZA, F. – UNNÞÓRSSON, R. – RAGNARSDÓTTIR, K. V. (2015): Energy return on investment of Austrian sugar beet: A small-scale comparison between organic and conventional production. Biomass and Bioenergy 75 pp. 267-271

BAI A. – LAKNER Z. – MAROSVÖLGYI B. – NÁBRÁDI A. (2002): A biomassza felhasználása, Szaktudás Kiadó Ház Rt, 226 p.

BUZZETTI, M. – ASTE, N. – CAPUTO, P. (2012): District heating: results of monitoring campaign in Lombardy Region. - Energy Procedia 30. pp. 829-838

BÜKI G. (2007): Biomassza energetikai hasznosítása. - Bioenergia, 2007. 2. 6. pp. 2-6

BÜKI G. (2010): Biomassza a mezőgazdaságban, biomassza-tüzelésű kazánok. - Őstermelő 2010. 14. 3. pp. 105-107

BÜKI P. (2006): A pornóapáti biomassza falufűtőmű, Fenntartható.hu

CLEVELAND, C. J. – CONSTANZA, R. – HALL, C. A. S. – KAUFMANN, R. (1984): Energy and the U.S. Economy: A Biophysical Perspective. Science 225: pp. 890-897

DEMIRCAN, V. – EKINCI, K. (2006): Energy and economic analysis of sweet cherry production in Turkey: A case study from Isparta province. – Energy Conversion and Management 47. pp. 1761-1769

EUROPEAN COMISSION 2013: The EU Emissions Trading System (EU ETS) 6 p.

FADARE, D. A. – BAMIRO, O. A. – ONI, O. A. (2009): Energy analysis for production of powered and pelletised organic fertilizer in Nigeria. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 4.

FOGARASSY CS. (2001): Energianövények a szántóföldön, Gödöllő: Szent István Egyetem GTK Európai Tanulmányok Intézete, 144 p.

FRANK J. (1999): A napraforgó biológiája, termesztése. Mezőgazda Kiadó, Budapest. p. 422

FRANK J. (2011): 9.1. Ökológiai igények. – IN: FRANK J. – SZENDRŐ P. (SZERK): A napraforgó. – Szent István Egyetemi Kiadó, Gödöllő. pp. 241-249.

FŰZY J. (2006): A napraforgóvetés gépei és gyakorlata. – Gyakorlati Agrofórum, 2006.17.11. pp. 60-62

HALL, C. A. S. – LAMBERT, J. G. – BALOGH, S. B. (2014): EROI of different fuels and the implications for society. - Energy Policy, pp. 141-152

HARMAT Á. – MUNKÁCSY B. – SZABÓ D. (2011): A biomassza energetikai hasznosításának jövőképe. In: Munkácsy B. (szerk.) Erre van előre!: Egy fenntartható energiarendszer keretei Magyarországon Vision 2040 Hungary 1.0. pp. 87-103.

HARMAT Á. (2013): Az energetikai faültetvények a decentralizált villamosenergia-rendszerben Magyarországon, Diplomamunka

HAMZEI, J. – SEYYEDI, M. (2016): Energy use and input–output costs for sunflower production in sole and intercropping with soybean under different tillage systems. Soil & Tillage Research 157. pp. 73-82

HIDVÉGI SZ. (szerk.) (2007): Növénytermesztés, Debreceni Egyetem Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma Agrárgazdasági és Vidékfejlesztési Kar. 141 p.

INMAN, M. (2013): Behind the Numbers on Energy Return on Investment, Scientific American, 4 p.

JÓRI J. I. (2011): 9.2.3. Tápanyagpótlás. – IN: FRANK J. – SZENDRŐ P. (SZERK): A napraforgó. – Szent István Egyetemi Kiadó, Gödöllő. pp. 265-274.

KALMÁR I. - STUKOVSZKY ZS. (1988): Belsőégésű motorok folyamatai, Műegyetemi Kiadó, Budapest. 476 p.

MOLNÁR M. (2011): Energetikai problémák és környezetgazdűlkodási lehetőségek az olajtermelési csúcs és a klímaváltozás tükrében, Doktori (PhD) értekezés

Nébih Földművelésügyi és Vízgazdálkodási Osztály: Gázolaj jövedéki adójának visszaigénylése a mezőgazdaságban

OLSSON, O. – ERIKSSON, A. – SJÖSTRÖM, J. – ANERUD, E. (2016): Keep that fire burning: Fuel supply risk management strategies of Swedish district heating plants and implications for energy security. Biomass and Bioenergy vol 90. pp. 70-77.

PEPÓ P. (2007): A versenyképes napraforgó termesztés agronómiai feltételei. IN: PEPÓ P. Az olajnövények termesztésének, feldolgozásának, felhasználásának aktuális kérdései, Debreceni Egyetem. pp. 16-37

PEPÓ P. (2008) (szerk.): Növénytermesztési praktikum II. Debreceni Egyetem Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma. 166 p.

PEPÓ P. (2016): A napraforgó-termesztés biológiai alapjai és agrotechnikai összefüggései. – Agrofórum Extra 64. pp. 18-25

PERSÁNYI M. (1988): Közös Jövőnk. A Környezet- és Fejlesztés Világbizottság jelentése. Mezőgazdasági Könyvkiadó Vállalat, Budapest. 404 p.

SWISS FEDERAL STATISTICAL OFFICE (2006): Switzerland's ecological footprint - A contribution to the sustainability debate. p. 56

SZABÓ A. (2014): A vetéstechnológiai és növényvédelmi tényezők szerepe az integrált napraforgó termesztésben. – In PEPÓ P. (szerk): A fenntartható növénytermesztés fejlesztési lehetőségei. Debrecen, Debreceni Egyetem pp.193-200

Interjúk

Kozma László, napraforgó-termesztéssel foglalkozó szakember. Az interjú 2016.05.05-én készült Abonyban.

Nagy Pál Sándor, Merlin Biofűtő Kft. vezetője. Az interjú 2016.04.11-én készült.

Réti László, Budatáj Kft. dolgozója, napraforgó termesztéssel foglalkozó szakember. Az interjú 2016.05.03-án készült.

Vasas Viktor, Dorogi Erőmű energetikai vezetője. Az interjú 2016.04.06-án készült a Dorogi Erőműben.