A FENNTARTHATÓ ENERGIAGAZDÁLKODÁS FÖLDRAJZI ÖSSZEFÜGGÉSEI

SZEMELVÉNYEK AZ ENERGIAFÖLDRAJZ TUDOMÁNYTERÜLETÉBŐL

A FENNTARTHATÓ ENERGIAGAZDÁLKODÁS FÖLDRAJZI ÖSSZEFÜGGÉSEI

SZEMELVÉNYEK AZ ENERGIAFÖLDRAJZ TUDOMÁNYTERÜLETÉBŐL

SZERKESZTETTE ÉS LEKTORÁLTA:

dr. Munkácsy Béla

KIADÓ:

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR

Földrajz- és Földtudományi Intézet

Földrajztudományi Központ

Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék

Budapest, 2013

ISBN 978-963-284-371-1

TARTALOMJEGYZÉK

BSC-SZINT

NÉMETH SÁNDOR PÁL: A BIOGÁZ FELHASZNÁLÁSÁNAK PERSPEKTÍVÁI HAJDÚ-BIHAR MEGYÉBEN 5

KOVÁCS KRISZTINA: NÉMETORSZÁG VILLAMOSENERGIA-RENDSZERÉNEK ÁTALAKÍTÁSA - AVAGY VAN-E ÉLET AZ ATOMENERGIÁN TÚL? 41

MSC-SZINT

TÓTH T. PÉTER: GYŐR-MOSON-SOPRON MEGYE SZÉLENERGIA-TERMELÉS POTENCIÁLJÁNAK VIZSGÁLATA TÉRINFORMATIKAI MÓDSZEREKKEL 79

HARMAT ÁDÁM: AZ ENERGETIKAI FAÜLTETVÉNYEK A DECENTRALIZÁLT VILLAMOSENERGIA-RENDSZERBEN MAGYARORSZÁGON 89

Előszó

Jelen kiadvány az ELTE TTK **Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék**én folyó energiaföldrajzi kutatások keretében 2012-2013. év során készült **publikálásra érdemes szakdolgozatok rövidített változatát** foglalja csokorba. Szándékunk szerint e kötetnek évente egyszer vagy kétszer folytatása is lesz, hiszen oktatási-kutatási tevékenységünk során folyamatosan születnek valóban új tudományos eredményeket felvonultató, a szélesebb nyilvánosság figyelmére is érdemes hallgatói munkák.

Tanszékünkön **a fenntartható energiagazdálkodás oktatása** jelenleg 4 egymásra épülő tantárgy keretében folyik, így a leginkább érdeklődő hallgatók két teljes éven át 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" alternatív energiaforgatókönyv készítésében. Tanszékünk jó kapcsolatot ápol az Aalborgi Egyetem energiatervezéssel foglalkozó tanszékével, az International Network for Sustainable Energy európai csoportjával, a Centre for Alternative Technology walesi kutatóintézetével, valamint a téma számos más európai kutatójával. Ennek köszönhető, hogy legkiválóbb hallgatóink akár külföldi részképzéseken, szemináriumokon, tanulmányutakon is részt vehetnek, ezáltal megismerkedhetnek a hazaitól gyökeresen eltérő szemléletmóddal és a legfrissebb tudásanyaggal. Jelen kiadvány szerzői közül ketten is rendelkeznek nemzetközi tapasztalatokkal, hiszen az elmúlt években külföldi (angliai) részképzésben, dániai és német energetikai szemináriumokon vehettek részt. A kötet elkészítéséhez nyújtott segítségüket, munkájukat tanszékünk nevében ezúton is köszönjük!

Tanulmánykötetünk olvasóinak tartalmas időtöltést, szerzőinknek pedig sok sikert kívánunk további szakmai munkájukhoz és a nagybetűs ÉLET-hez!

2013. augusztus 26.

Dr. Munkácsy Béla
adjunktus
Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék
ELTE TTK

NÉMETH SÁNDOR PÁL

A biogáz felhasználásának perspektívái Hajdú-Bihar megyében

BEVEZETÉS

1. TÉMAVÁLASZTÁS INDOKLÁSA

A Föld népességének és a világ gazdaságának folyamatos növekedése egyre több természeti erőforrást és energiát igényel. Jelenlegi fogyasztási szokásaink mellett bolygónk fosszilis energiahordozó készletei egyre szűkösebbek lesznek. Felhasználásukkal komoly környezeti károkat és megoldandó problémákat hagyunk a jövő nemzedékekre. A döntéshozók vállát komoly felelősség nyomja, amikor hosszútávra meghatározzák az energiapolitika irányvonalát. Napjainkra egyre világosabban látszik, hogy az energiaszektorban jelentős változtatásokra van szükség (HARMAT Á. et al. 2011).

Az elmúlt években tapasztalt rohamos energiaár-növekedés ráébresztette a világot, hogy a mostani rendszer egyre inkább fenntarthatatlan mind környezeti, mind társadalmi és gazdasági szinten. A világ országainak lakossága egyre nagyobb árat kénytelen fizetni a nélkülözhetetlen energiáért, ami életszínvonal-csökkenéssel is jár. A hagyományos energiaforrások a térben egyenlőtlenül oszlanak meg, ami egyes országokat kiszolgáltatottá tesz, míg másokat hatalommal ruház fel, ami feszültségeket kelt, és e területek háborúk gócpontjaivá válhatnak. Környezeti károk keletkeznek a fosszilis energiahordozók kitermelése, szállítása és felhasználása helyén is, különböző egészségügyi ártalmakat kiváltva. Az üvegházhatást fokozó gázok egyre nagyobb mértékű emissziója a globális hőmérséklet emelkedésével fenyeget. A problémák széleskörűek és vitathatatlanul jelen vannak, azonban a legtöbb ember még sincs teljesen tisztában a baj valódi súlyával. Természetesnek tekintjük, hogy folyamatosan rendelkezésünkre áll az elektromos áram ugyanúgy, mint a gépjárműveinket meghajtó üzemanyag. Ezért globális, közösségi és egyéni szinten is a

környezeti fenntarthatóságot szem előtt tartó értékrend kialakítására lenne szükség. Energiatakarékossággal, az alkalmazott technológia hatékonyságának növelésével, megújuló energiaforrások használatával átalakíthatjuk, és a környezettel harmonikusabbá tehetjük az energiaszektort (MUNKÁCSY B. 2011).

1.1. KUTATÁSI CÉLOK, ELŐZMÉNYEK

Fontosnak tartom, hogy hazánkban is kellő figyelmet fordítsunk az alternatív energiahordozókban rejlő lehetőségekre. Véleményem szerint jelenleg Magyarországon a természeti adottságokhoz képest alárendelt szerepet tölt be a biomassza, és azon belül a biogáz energetikai felhasználása. Célom, hogy bemutassam a biomassza ezen szegmensének jelenlegi alkalmazását általánosságban, valamint Hajdú-Bihar megyére vonatkoztatva egyaránt, továbbá felmérjem a terület elméleti és technikai biogáz potenciálját. Szeretnék választ kapni arra a kérdésre, mekkora kihasználható biogáz potenciállal rendelkezik a megye, és milyen lehetséges szerepet vállalhat a helyi energiamixben? Alapvető motivációt adott a feltételezés, hogy a jelenlegi felhasználásnál sokkal jelentősebb biogáz mennyiség kiaknázása is releváns lehetne. A dolgozat megírásához előzetes kutatást végeztem statisztikai adatok elemzésével annak felmérésére, hogy hazánk mely része lenne legalkalmasabb hulladék alapú biogáz üzemek létesítésére. Választásom Hajdú-Bihar megyére esett, ugyanis a megyék közül itt a legnagyobb az állatállomány és jelentős mezőgazdaságilag hasznosított terület áll rendelkezésre. Lényegesnek tartottam, hogy olyan térségben vizsgáljam a biogáz-termelés lehetőségét, ahol mai napig is fontos szerepet tölt be a foglalkoztatásban a mezőgazdaság, ezáltal segítve annak munkahelyteremtő- és megtartó funkcióját.

1.2. VIZSGÁLATI MÓDSZER

A hazai és külföldi szakirodalom alapján általánosságban jellemzem a biogáz fogalmát. Elsőként azt tartom szükségesnek, hogy ismertessem a technológia alapmechanizmusát, hiszen több lényeges fogalom és folyamat szerepel majd a következő fejezetekben. Munkám elkészítéséhez nagy segítséget nyújtottak BAI A. [szerk.] (2007) és SCHULZ, H.– EDER, B. (2005) e

témában írt átfogó kötetei. Szakirodalom és statisztikai adatbázisok segítségével megkísérlem megállapítani Hajdú-Bihar megye elméleti és technikai biogáz potenciálját a különböző alapanyagforrásokból. Majd megvizsgálom annak területi koncentrálódását, elhelyezkedését, illetve alkalmazási lehetőségeit, lehetséges szerepét a megyében. A potenciálok meghatározásához felhasználtam a Központi Statisztikai Hivatal, a Települési Szennyvíz Információs Rendszer, az Energia Központ Kht. és a Tenyészet Információs Rendszer adatait. A számítások előtt minden esetben több, különböző szakirodalmi forrásból ellenőriztem az igénybe vett információk hitelességét.

A tematikus térképeket az ArcView térinformatikai software-rel készítettem, a hozzá tartozó raszteres alaptérképet a Központi Statisztikai Hivatal honlapjáról töltöttem le, a kistérségek lehatárolását pedig a 2010. évi CXLIX. törvény szerint végeztem. Egyes földrajzi pontok koordinátáit a Google Maps internetes alkalmazással határoztam meg.

2. A BIOGÁZ

2.1. A BIOGÁZ FOGALMA

A biogáz szerves anyagok anaerob bomlása során keletkező, általában 18-25 MJ/Nm^3 közötti fűtőértékkel rendelkező, sokoldalúan felhasználható légnemű anyag. Előállítására alkalmas alapanyagbázist a növénytermesztés, az állattenyésztés, az élelmiszeripar, és a kommunális szféra szerves anyagai biztosíthatnak (LUKÁCS G. 2008). Energetikai felhasználás szerint a biogáz a biomassza egyik osztályába sorolható, a bioüzemanyagok és a szilárd biomassza mellett. A biomassza megújuló primer energiaforrás, mely felelőtlen felhasználás mellett kimeríthető, de ugyanakkor megújítható. Csoportosítása szerint lehet elsődleges (szántóföldi növények, erdő, természetes vegetáció, stb.), másodlagos (állatvilág, haszonállatok, az állattenyésztés fő- és melléktermékei, hulladékai), valamint harmadlagos (biológiai eredetű anyagokat felhasználó iparból és településekről származó szerves hulladék) (DINYA L. 2010).

2.2. A BIOGÁZ KÉPZŐDÉSE

A biogáz legfőbb összetevőit, a metánt és a szén-dioxidot a metanogén mikroorganizmusok állítják elő. A folyamat több lépésből és több fajta mikroorganizmus összehangolt működéséből épül fel. A három baktérium csoport (hidrolizáló, acetogén, metanogén mikrobák) egymásra utalt együttélése teszi lehetővé a biogáz képződését.

Ahhoz, hogy biogáz hatékonyan képződjön, létfontosságú megfelelő környezet biztosítása a mikroorganizmusoknak számára (pl. nedves, oxigén- és fénymentes környezet, egyenletes hőmérséklet, stb.). A baktériumtörzseket tipikusan három hőmérséklettartományba lehet sorolni:

- Pszikrofil törzsek: 20 ^{o}C-nál kisebb hőmérséklet
- Mezofil törzsek: 25-35 ^{o}C közötti hőmérséklet
- Termofil törzsek: 45 ^{o}C-nál magasabb hőmérséklet

A termofil baktériumok a legérzékenyebbek a gyors hőmérsékletváltozásra főként, a hőmérséklet-csökkenésre (nem lehet nagyobb napi 1°C-nál, míg a mezofil törzsek 2-3 ^{o}C-os eltérést is elviselnek) (SCHULZ, H.–EDER, B. 2005).

2.3. A BIOGÁZ ÖSSZETÉTELE

A biogáz legfőbb összetevői a szén-dioxid és a metán, valamint egyéb maradékgázok, elsősorban kénhidrogén és nitrogén. Metántartalma általában 50-70% között, a szén-dioxid 28-48% között alakul, emellett 1-5% egyéb gázt is tartalmaz. A biogáz fűtőértékét a metántartalom határozza meg, ami jellemzően 18-25 MJ/Nm^3. A földgáz szinte teljes egészében metánból áll, így 1 m^3 biogáz kb. 0,5-0,7 m^3 földgázt, illetve más megközelítésben 0,5 liter tüzelőolajat vagy 1 kg feketeszenet képes kiváltani. Azonban a szén-dioxid eltávolításával és sűrítéssel akár a földgázzal megegyező fűtőértékű gázt nyerhetünk (BAI A. [szerk.] 2007).

2.4. A BIOGÁZ MENNYISÉGE

A biogáz üzemben keletkező gázmennyiséget a gázteljesítménnyel és a gázhozammal lehet jellemezni. A gázteljesítményt az egy nap alatt megtermelt mennyiségben szokás megadni, a fermentor térfogatára (m^3) vagy számosállatra[1] (szám) vonatkoztatva. Az átlagos napi gázteljesítmény hígtrágya esetén 0,56-1,33 m^3/számosállat között változik, ami akár a napi 1,5 m^3/szám mértéket is elérheti helyes alapanyagmix és hosszabb rothasztási idő alkalmazásával. A gázhozamot a rothasztási idő alatt az alapanyagból kierjedt gáz mennyisége határozza meg. Általában a felhasznált alapanyag szerves szárazanyag-tartalmára szokták vonatkoztatni, ami 0,17-0,64 m^3/kg szszá érték között változik (SCHULZ, H.– EDER, B. 2005).

Az elméletileg lehetséges gázhozam 587-1535 l/kg szszá-ot is elérheti. Legkedvezőbb fajlagos biogáztermelése a hevítő hatású trágyáknak, cukorrépának, kukoricának és az élelmiszeripari

[1] 1 darab számosállat (szám): 500 kg élőtömeg

termelésből származó melléktermékeknek van. A helyes "alapanyagmix" akár 40%-kal is fokozhatja a fajlagos gázhozamot (BAI A. [szerk.] 2007).

2.5. A BIOGÁZ FELHASZNÁLÁSA

A megújuló energiák körében a biogáz technológia számos előnyt élvez, mint például: **sokoldalúan felhasználható terméket biztosít, és kiszámítható energiatermelést nyújt**. A biogáz energiájának helyben való felhasználására két alaptechnológia terjedt el. Az egyik a **gáz égőfejekben történő közvetlen elégetése**, amiből felszabaduló hővel HMV[2]-t állíthatnak elő, vagy az üzem és a helyi fogyasztók fűtésének, távfűtésének biztosítása (esetleg még főzésre, gázvilágításra használható). A hőigény azonban az évszakoktól függ, és az erőmű csak közvetlen környezetét tudja ellátni hőenergiával. A másik lehetőség, hogy a biogáz hajtóanyagként, **villamos energiát termelve hasznosul**. Előállításához egy generátort hajt meg a gőzmotor, a gázturbina vagy a belsőégésű motor (SEMBERY P. - TÓTH L. [szerk.] 2004).

Belső égésű motorokban lehetőség van kombináltan hő- és villamos energiát is termelni (CHP[3] vagy kogenerációs erőmű), villamos hatásfokuk a 40%-ot is elérheti (www.clarke-energy.com). Az üzemekben az áramtermelés két különböző módon történhet. Egyrészt lehet szükségletközpontú a termelés, vagyis akkor kapcsolódik be, ha az igények szerint több energiára van szükség (csúcsidőszak). A másik esetben folyamatos, egyenletes termelés történik, mindig azonos terheléssel, ami szükségtelenné teszi a gáztárolók kiépítését (SCHULZ, H.– EDER, B. 2005).

Napjainkban már az üzemanyagcellák is alternatívát nyújtanak a helyi áram- és hőigény kielégítéséhez. Az üzemanyagcellák olyan elektrokémiai berendezést alkotnak, amelyek a vegyi energiát közvetlenül villamos energiává alakítják át. Jellemzőjük, hogy a hagyományos motoroknál magasabb hatékonysággal (50%) képesek az elektromos energiát előállítani (GADUS, J. 2005). **Említést érdemelnek még a Stirling-motorok**, amelyek bár CHP

[2] HMV: Használati meleg víz

[3] CHP: Kapcsolt hő- és villamosenergia-termelés

technológiában alacsony villamos hatásfokúak, hőenergiát hatékonyan termelnek. Emellett sokoldalúak, hiszen számos üzemanyag (földgáz, biogáz, hidrogén, stb.) felhasználható a működtetésükhöz, károsanyag-kibocsátásuk alacsony, fenntartásuk kevesebb költséggel jár, mint a belső égésű motorok esetében (kevesebb mozgó alkatrészt tartalmaznak) (POURMOVAHED, A. et al. 2011).

Lehetőség van a biogáz szennyeződéseinek leválasztására, és a földgáz fűtőértékével megegyező, biometán létrehozására. A gázelőkészítés alkalmazása több célból történhet:

- A gáztüzelésű eszközök műszaki specifikációinak való megfelelés;
- A gázszabványok paramétereinek teljesítése;
- A gáz fűtőértékének növelése;

Ilyen esetben a biogázt megszabadítják a szennyezőanyagoktól (szén-dioxid, kén, oxigén, nitrogén, víz, stb.) és szinte teljesen tiszta metánt (biometánt) kapnak végeredményül. A biometán legelterjedtebb felhasználási módja Európában a földgázhálózatba történő betáplálás, vagy gépjármű üzemanyagként való felhasználás (GÉMESI Zs. 2009, FOREEST, van F. 2012).

2.6. A BIOGÁZ ELTERJEDÉSÉNEK AKADÁLYAI

Sajnos hazánkban a megújuló energiaforrások, köztük a biogáz felhasználása számos akadályba ütközik. Elterjedésüket jelenleg korlátozza, hogy a fosszilis energiaforrásokhoz képest, a megújuló energiák magasabb fajlagos költséggel alkalmazhatóak. Emellett a társadalom környezettudatosságának, és a környezeti problémák ismeretének hiánya is hátráltatja azok szélesebb körű elterjedését. A közvélemény nincs tisztában azzal, hogy számos, a környezetet érintő, negatív hatás kiküszöbölhető a felhasználásukkal, és ez hangsúlyozottan igaz a biogáz technológiára (HAJDÚ J. 2009). A biogáz hasznosításának legfontosabb ismérve, hogy zárt tápanyagkörforgásban valósul meg a folyamat, több feladatot is ellátva (KALTWASSER, B. J. 1983):

- Hulladékártalmatlanítás és felhasználás;
- Környezeti ártalom csökkentése;

- Decentralizált energiaellátás;
- Csökken az üvegházhatású metán kibocsátás;
- Biotrágya előállítás és talajerő utánpótlás.

A mezőgazdasági termelők sajnos nem mindig képesek finanszírozni a hasonló beruházásokat. A gazdálkodók az alacsony jövedelmezőségből adódóan, legtöbbször forráshiánnyal küzdenek. Egy biogáz üzem létesítéséhez nagyméretű építményekre (fermentorok, gáztároló) és olyan eszközökre van szükség, amelyek a sorozatgyártás hiánya miatt, túlságosan drágák és vállalhatatlan költséget jelentenek a vállalkozóknak. Már egy kis teljesítményű üzem is nagy térfogatú létesítményt igényel, mivel a felhasznált alapanyag viszonylag kis energiasűrűségű. Kulcsfontosságú, hogy egy biogáz erőmű létesítését megfelelő tervezés előzze meg, a következő szempontok alapján (PETIS M. 2009):

- A területen rendelkezésre álló alapanyag mennyiségi és minőségi felmérése, valamint a hozzárendelhető üzem méret kiválasztása;
- Az input és output anyagok logisztikájának gondos megtervezése;
- A biogázból előállított energia minél hatékonyabb felhasználása (kapcsolt hő,- és villamosenergia-termelés, valamint közvetlen értékesítés);
- Az optimális technológia alkalmazása (nedves vagy félszáraz, cső vagy tartályos fermentor);
- Ökonómiai elemzés készítése (környezetvédelem, nyereségtermelés, stb.).

Makroszinten a szabályozási környezet hiányosságai is nehezítik a biogáz alapú energiatermelést. Az engedélyezési menetrend általában teljesíthetetlen, a biotrágya öntözési feltételei és a zöldenergia bizonyítvány struktúrája kidolgozatlan, valamint megszűnt az emissziós támogatási rendszer. Emellett felkészült, komplex tudással és tapasztalattal rendelkező szakembereket igényel a technológia alkalmazása (PETIS M. 2009).

3. HAJDÚ-BIHAR MEGYE ELMÉLETI ÉS TECHNIKAI BIOGÁZ POTENCIÁLJA

3.1. HELYZETELEMZÉS

Hajdú-Bihar megye 6 210,9 km^2 területével hazánk negyedik legnagyobb megyéje. A népessége 2011-es adatok szerint 538 ezer főt tett ki, ami 1 700 fővel kevesebb az egy évvel korábbinál. A csökkenés főként a természetes fogyásra vezethető vissza, de negyedét az elvándorlási veszteség okozta. A 10 éves adatsort vizsgálva elmondható, hogy a megye demográfiai jellemzői hasonulnak az ország általános népesség csökkenéséhez, valamint megjelenik a fiatalok elvándorlása és a lakosság elöregedése is (KSH 2011). Az ipar és főleg a szolgáltatási szektor nemzetgazdaságban betöltött szerepe (GDP, foglalkoztatottak aránya) a rendszerváltás óta folyamatosan növekedett. Ez a növekedés azonban egyenlőtlenül oszlik el a földrajzi térben, ezért a mezőgazdaságon alapuló vidéki térségek a gazdasági struktúraváltás következtében folyamatosan hátrányba kerültek. Sokszor ezeken a területeken a helyi lakosoknak a mezőgazdaság nyújtja az egyetlen megélhetési módot (BUJDOSÓ Z. et al. 2012). Az említett negatív folyamatok megfordítására kidolgozott Új Magyarország Vidékfejlesztési Programba (ÚMVP 2007-2013) szervesen illeszkedne egy, a biogáznak nagyobb teret nyújtó energiastratégia.

Hajdú-Bihar megye a mezőgazdaságban előállított bruttó hozzáadott érték abszolút nagysága alapján a második helyet foglalja el a megyék rangsorában. Az egy lakosra jutó mezőgazdasági bruttó hozzáadott érték pedig meghaladja mind az országos, mind pedig az alföldi megyék átlagát. Az átlag feletti termelékenységet a kedvező természeti adottságok és a gazdálkodás viszonylag magas színvonala biztosítja. **Az állattartást az ezredforduló óta stabilitás jellemzi, ami kedvezhet a biogáz üzemek elterjedésének**. A 2011-es KSH adatok szerint Hajdú-Bihar megyében 85 ezer szarvasmarhát (ebből 42 ezer anyaállat), 514 ezer sertést, 187 ezer juhot, 4,5 millió tyúkot, valamint 1,5 millió egyéb baromfifélét (kacsa, lúd, pulyka) tartottak, ami összesen 320 ezer állategységet tett ki. A növénytermesztési ágazatban a gabona- és az iparnövény-termesztésnek van a legnagyobb súlya. **A területhasználat struktúrája szerint a megye 89%-a termőterület, 76%-a pedig mezőgazdasági terület, ami magasabb az országos és az alföldi megyék átlagánál**. A napraforgó és a repce termesztése dinamikusan nő a bioüzemanyag termelés ellátására. Véleményem szerint a bioetanol és a biodízel előállítás

nem a legmegfelelőbb választás (kedvezőtlenebb energiamérleg, kevesebb gazdaságosan alkalmazható növényfajta, nagyobb káros anyag kibocsátás) (BUJDOSÓ Z. et al. 2012).

A biogáz alapú energiatermelés szempontjából ki kell térni a megye egyes infrastrukturális elemeire, mint a szennyvízelvezetés, szennyvíztisztítás, szennyvíziszap és kommunális hulladék elhelyezése. A szennyvízhálózatra bekötött lakások aránya Magyarországon 73% körül alakul (KSH 2011), amitől elmarad a megyei 66% körüli érték (KSH 2011). A megyén belül kistérségi szinten nagyok a területi különbségek, míg a Derecske-Létavértesi kistérségben 10% körül alakul, addig a városi jellegű Debreceni kistérségben az országos átlag érték jelenik meg. A 82 település közül 28 rendelkezik szennyvíztisztító teleppel, melyeknek állapota és az ott végzett tisztítási folyamat hatékonysága változó (BUJDOSÓ Z. et al. 2012). A Magyarországon keletkező települési szennyvíziszap mennyisége évente megközelítően 700 ezer tonna (GYULAI I. 2008), ami megyei szinten, a népességarányból számítva, mintegy 38 000 t/év szennyvíziszap, amelynek jelentős hányada Debrecen térségéhez köthető.

A Magyarországon keletkező települési hulladék mennyisége kb. 4,5-5 millió tonnára tehető (BAI A. [szerk.] 2007). Hajdú-Bihar megyében keletkező szilárd kommunális hulladék mennyisége az országos adatból becsülve kb. 250 000 t/év, amit 95%-ban előkezelés nélkül, lerakással ártalmatlanítanak. Négy új, az Európai Unió szabványaiknak megfelelő hulladéklerakó üzemel a megyében. A szelektíven elszállított hulladék tekintetében kedvezőtlen a helyzet, csupán 900 t körüli az éves mennyiség (BUJDOSÓ Z. et al. 2012).

A megyében általános a földgáz dominanciája, azonban az elmúlt évek áremelkedéseinek következtében egyre nagyobb teret nyernek az alternatív energiaforrások. Debrecenben található a megye földgáz üzemű erőműje, ami 95 MW villamosenergia-teljesítménnyel és 90 MW hőenergia-teljesítménnyel rendelkezik (www.eon-hungaria.com). Azonban a terület biomassza potenciálja lehetővé tenné a földgáz egy részének kiváltását az energiamixben. A debreceni erőmű szalmatüzelésre való átállására már készen állnak a tervek. A megyében összesen négy biogáz erőmű működik. A debreceni szennyvíztisztító telep rothasztó tornyai kb. 7 000 Nm^3 biogázt termelnek naponta, amiből 1 190 kW villamos teljesítményt biztosítanak gázmotorok (www.debreceni-vizmu.hu). Biharnagybajomban (630 kWe), Hajdúszováton (625 kWe) és Hajdúböszörményben (640 kWe) mezőgazdasági melléktermékekre alapozott biogáz termelés folyik. A megyében összesen 3 085 kW biogáz

alapú villamos kapacitás van beépítve (MAVIR 2011). Megújuló energiaforrások közül a szélenergia és a geotermikus energia (hévizek) hasznosításában lehetne még gondolkodni.

A biomassza és ezen belül a biogáz energetikai felhasználása legfőképp a mezőgazdasági termelés számára kedvező adottságokkal rendelkező megyékben lehetséges. A technológia alkalmazásával csökkenthetők a parlagterületek, alternatív bevételi forrást jelenthet a helyi agrárvállalkozóknak, valamint hasznosíthatók az állattartótelepek és az élelmiszeripari létesítmények által termelt hulladékok.

3.2. Elméleti potenciál

A megye elméleti potenciáljának meghatározása szükséges, hogy átfogó képet kapjunk a területen kinyerhető biogáz mennyiségéről. A területi koncentrációt jelen esetben figyelmen kívül hagyom, mert célom, hogy a megye egészére meghatározzam az összes kinyerhető biogáz mennyiséget. **Az elméleti potenciál a fizikailag kiaknázható összes energiamennyiséget jelenti**. Ezen kívül számos potenciál létezik (konverziós, technikai, gazdasági, fenntartható) és közöttük nagyságrendi különbségeket fedezhetünk fel, aminek okai a különböző számítási metódusok (Dinya L. 2010). Fontos megemlíteni, hogy nagy eltérések lehetnek a fajlagos biogáz-hozamban, bizonyos tényezőktől függően (alapanyag összetétele, használt technológia, stb.). Számításomban az állattenyésztő telepeken, hulladéklerakókban és szennyvíztisztítókban képződő szerves anyag mennyiségének meghatározása kap magasabb prioritást. Ennek oka, hogy az említett helyeken folyamatosan keletkezik hulladék, ennek ártalmatlanítása fontos környezetvédelmi feladat. A növénytermesztés főtermékei élelmiszerként, ipari célra vagy takarmányként hasznosulnak, melléktermékei pedig szintén takarmányozásra, illetve talajerő pótlására szolgálhatnak. Az élelmiszeriparból származó biogáz mennyisége pontos adatok hiányában ismeretlen marad. A kommunális hulladéklerakókban keletkező depóniagáz potenciáljára a megyében képződő szerves hulladék tömegéből következtetek.

3.2.1 ÁLLATTENYÉSZTÉS

A nagyüzemi, istállózó állattartás felel meg legjobban a biogáz előállítás követelményeinek. A szarvasmarha, sertés, juh, tyúk és pulyka tenyésztése során a trágya koncentráltan keletkezik, és okoz környezetvédelmi problémákat. A ló és vízi szárnyasok esetében a trágya nagy területen, elszórtan keletkezik, ezért nem érdemes velük számolni (SZENDREI J. 2008). Az elméleti potenciál kiszámításához a megye állatállományát a 2010-es évi Általános Mezőgazdasági Összeírás (ÁMÖ) adatai alapján összesítettem. A KSH adatsoraiból meghatároztam a különböző állatfajok állományát számosállatra vetítve. Majd a szakirodalom szerint (SCHULZ, H.– EDER, B. 2005, BAI A.[szerk.] 2007) kiszámítottam az egyes állatfajok esetében a bruttó átlagos gázhozamot. Az állatfajok más-más tulajdonságokkal rendelkező trágyát produkálnak, ezért fajonként tovább differenciálható a gázteljesítmény (SCHULZ, H.– EDER, B. 2005).

Hazánkban és Nyugat-Európában leginkább az 5-15%-os szárazanyagot tartalmazó hígtrágyára alapozott "nedves eljárású" biogáz üzemek terjedtek el. Ez egyenletes és folyamatos erjesztést tesz lehetővé, viszont növeli a beruházásigényt, és kevesebb gázhozamot produkál. Magasabb szárazanyag-arány esetében már a "félszáraz" (15-30% szárazanyag-tartalom) technológia alkalmazható eredményesen (BAI A. [szerk.] 2007). Szarvasmarha trágyája 1,5-2,9 m^3/szám/nap közötti gázteljesítményt adhat a szerves anyag arányának függvényében, de átlagosan 2 m^3/szám/nap. A sertés hígtrágya 0,6-1,25 m^3/szám/nap között alakul, átlagosan 0,9 m^3/szám/nap. A tyúk és pulyka ürüléke magasabb szárazanyag-tartalmú, ezért a "nedves" eljárás alkalmazása esetén hígítása, más állatfajok (sertés, marha) hígtrágyájával való keverése javasolt. A két állatfaj ürülékének fajlagos mutatói hasonlóak a biogáz-termelés tekintetében, ezért számosállatra vetítve 3,75 m^3/nap értékkel számoltam mindkét esetben. Sajnos a juhok esetében nincs a gázhozamról információ (SCHULZ, H.– EDER, B. 2005).

A számadatok ellenőrzésére más források alapján is (BAI A.[szerk.] 2007, KvVM 2007) elvégeztem a számításokat és az eredmények csak minimális eltérést mutattak. A juhok hiányzó adatsorát ezért BAI A. (szerk.) 2007-es „A biogáz” című kiadványából pótoltam. Egy darab (feltehetően felnőtt) juh éves átlagos biogáz termelése 58 m^3. A megyei állomány kb.

75-80%-a felnőtt egyedből áll, tehát az 58 m^3/év értéket korrigálni kell a korcsoportokhoz igazítva. Közelítő értékként az 58 m^3 75%-át (43,5 m^3) vettem alapul egy átlagos egyedre, ami **1,67 m^3/szám/nap** gázhozamot jelent. Az eredményeket az *1. táblázat* foglalja össze.

Állatfajok	Szarvasmarha	Sertés	Juh	Tyúk	Pulyka	Összesen
Állatállomány (ezer db)	85,6	476,5	196,6	4646,4	501,8	-
Számosállat (ezer db)	68,5	54,3	14,0	18,6	14,0	**162,0**
Biogáz hozam (ezer m^3/nap)	137,1	48,9	23,4	69,7	52,6	**331,7**
Energiatartalom (GJ/nap)	3 015,7	1 075,6	515,5	1 533,3	1 158,2	**7 298,3**

1. táblázat: Hajdú-Bihar megye állatállományából számított elméleti biogáz potenciál és energiatartalom (KSH).

A számítások alapján elmondható, hogy az állattartásból a megyében elméletileg kinyerhető közel **332 ezer m^3 biogáz naponta**, **121 millió m^3 évente**, **melynek energiatartalma** (22 MJ/m^3 átlaggal számolva) **2,66 PJ/év**.

3.2.2. Szennyvíz

A megye területén képződő szennyvíziszap mennyisége kb. 38 ezer tonnára tehető évente. Az országos átlag alapján 40%-át a mezőgazdaság hasznosítja (komposztálással, talajba injektálással), 50-60%-át a települési hulladéklerakókban helyezik el (Gyulai I. 2008). A szennyvíztisztítási program folyamatos előrehaladásának köszönhetően az érték (főleg az alacsony bekötési aránnyal rendelkező területeken) növekedni fog. Az anaerob kezelés jelentős beruházást igényel, azonban környezetvédelmi szempontból ez a leghatékonyabb technológia (Bai A. [szerk] 2007).

Szennyvíztisztító telepek	Kapacitás (ezer LEÉ)	66%-os kihasználtság esetén (ezer LEÉ)	Min. napi biogáz-hozam (m^3)	Átlagos napi biogáz-hozam (m^3)
Debrecen	498,1	328,7	8 219	13 150
Hajdúböszörmény	63,5	41,9	1 048	1 676
Hajdúszoboszló	25,5	16,8	420	673
Hajdúnánás	21,0	13,9	347	554
Berettyóújfalu	20,0	13,2	330	528
Egyéb települések	75,5	49,9	1 246	1 994
Összesen	**703,6**	**464,4**	**11 610**	**18 575**

2. táblázat: Hajdú-Bihar megyében szennyvíziszapból nyerhető biogáz mennyiségének elméleti potenciálja (BUJDOSÓ Z. et al. 2012, TESZIR).

A TESZIR (Települési Szennyvíz Információs Rendszer) adatai alapján kiválogattam a Hajdú-Bihar megyében jelenleg működő szennyvíztisztító telepeket. A kapacitásuk (lakos-egyenérték - LEÉ) alapján meghatározható a biogáz-kihozatal. A fajlagos biogáz-kihozatal egy lakos-egyenértékre vetítve min. 25 l/nap, átlagos esetben pedig 40 l/nap/LEÉ (BAI A. [szerk.] 2007). A megyében összesen 751 609 LEÉ kapacitású szennyvíztisztító üzemel. Véleményem szerint a kapacitásuk kihasználtsága nem lehet 100%-os, ezért a megyében a közüzemi szennyvízgyűjtő-hálózatba bekapcsolt lakások arányát (66%) is figyelembe vettem.

A szakirodalom alapján a kinyerhető gáz mennyiségét a minimum és átlagos fajlagos biogáz hozamra is meghatároztam. A számításokat a csatornahálózatba bekötött lakások arányában végeztem. **Az így kapott eredmények alapján naponta 11,6-18,6 ezer m^3, évente 4,2-6,8 millió m^3 között alakul az elméleti biogáz termelés,** amit a *2. táblázat* mutat be. Átlagos hozamot, és 22 MJ/m^3 fűtőértéket számolva **ez évente 0,15 PJ energiát jelent.**

3.2.3. KOMMUNÁLIS HULLADÉK

A települési hulladék kategóriájába beletartozik a hulladéklerakókban elhelyezett szennyvíziszap is. Ezért a megyében keletkező szennyvíziszap mennyiségének 50%-át, vagyis 19 ezer tonna tömegű iszapot már nem szükséges számításba vennünk. Így **a négy működő hulladéklerakóban elhelyezett, évi közel 230 ezer tonna kommunális hulladékkal számolhatunk**.

A lerakókban képződő depóniagázra jellemző az alacsonyabb metántartalom (kb. 45%), ami 15-17 MJ/m^3 körüli fűtőértéket képvisel. A hozamot és a metántartalmat befolyásolja a szerves anyag aránya a hulladékban, földrajzi tényezők (éghajlat, domborzat), stb. A lerakott hulladékból a megfelelő körülmények közt 6 hónap elteltével megindul a gáztermelődés és még további 50-70 évig is keletkezik. Azonban legnagyobb hozam az első 15-20 évben, az un. aktív időszakban történik, később a lecsökkent hozam miatt már nem gazdaságos a kitermelése (HAJDÚ J. 2009). Egy tonna hulladékból átlagosan 183 m^3 depóniagáz képződik 50-70 éves időtávot tekintve, de a 20 éves időszak alatt (a debreceni hulladéklerakó hozama alapján) 138 m^3/t várható (BAI A. [szerk.] 2007).

Évente 230 000 t hulladékból 20 év alatt összesen 31,7 millió m^3 depóniagáz keletkezik, tehát 16 MJ/m^3 fűtőértékkel számolva évente 0,51 PJ potenciális energiamennyiség kerül a lerakókba.

3.2.4. NÖVÉNYTERMESZTÉS

A növénytermesztési ágazatban keletkező fő- és melléktermék is biogáz forrásnak tekinthető. A mai európai mezőgazdasági termelésben változások figyelhetők meg, ahol az ipari és energetikai (non-food) növények termelése egyre nagyobb területen történik, az élelmiszertermelés visszafogása mellett. Ez a folyamat egy új, ipari-energetikai növénytermelési ágazat kialakulását vetíti előre, ami új agrotechnikai, gépesítési és logisztikai alkalmazásokat követel (HAJDÚ J. 2006). A biogáz-termelésre leginkább hasznosítható növényeknek számos feltételt kell teljesíteniük. A folyamatba könnyen beilleszthető növények tulajdonságai között kell legyen a kiváló termeszthetőség, tárolhatóság, gördülékeny betakarítás, magas szárazanyag-hozam, ellenállóság a kártevőkkel szemben és nem utolsó sorban remek emészthetőség (LEHTOMÄKI, A. 2006). Azonban a fenntarthatósággal és környezetvédelemmel is ellentétes lehet a specializált, monokultúrás termelés. Ezért egy megfelelő, fenntartható biogáz-termelési stratégia kialakítása létfontosságú. A BOKU Mezőgazdasági Intézetnek a Fenntartható Agrárrendszerek Részlege kutatásokat folytat az integrált növénytermesztési rendszerek megvalósíthatóságáról. Ebben az esetben az

élelmiszer (humán táplálék), az állati takarmányok és az energianövények termesztése együtt valósul meg, ami több módon is történhet:

- Food-non-Food-Switch technológia alkalmazása, ahol élelmiszer és nem élelmiszer célú növénytermesztés egymás után váltakozik;
- Egy növényfaj kettős hasznosítása (vegetatív és generatív részek). Pl. a napraforgószemből olajat nyerünk, majd a pogácsából biogázt termelünk;
- Kevert kultúrás termesztés, ahol két növényfajt vetünk egy helyre, majd a betakarított keverék kerül silózásra.

Hátránya a specializált rendszerekkel szemben, hogy egységnyi területre vetítve kisebb biogáz-hozamot produkálnak. A hozama átlagosan 6 000-6 500 m^3/ha között, míg a specializált esetében 11 000-12 000 m^3/ha biogáz (KvVM 2007), más forrásból és megközelítésben, növényfajtától függően, 3 000-6 000 m^3 tiszta metán hektáronként (LEHTOMÄKI, A. 2006). Viszont társadalmi előnye, hogy kiegyensúlyozottabb mezőgazdaságot biztosít és több munkahelyet teremt az adott térségben (KvVM 2007). Az integrációs növénytermesztés hazai példájaként a nyírbátori biogáz erőművet lehet megemlíteni. Az üzem összesen 8 000 ha területen gazdálkodik. A rendszert 5 000 ha-on alkalmazzák és takarítják be a főleg szántóföldi melléktermékeket. Az üzemben termelt biogáz mennyisége 20 000-25 000 m^3/nap, ami tekintélyes 160-200 TJ/év energiamennyiségnek felel meg, aminek a 31,2%-át növényi fő- és melléktermékből állítják elő (PETIS M. 2009).

Hajdú-Bihar megyében a betakarított terület nagysága alapján a kukorica volt a legfontosabb termesztett növény, 2011-ben 114 555 ha-ról 791 247 tonna termést takarítottak be. Gabonafélékből főleg búzát termeltek, 60 199 ha-on (KSH 2011). A következőkben a két legnagyobb vetésterülettel rendelkező növényfajt vizsgálom meg.

KUKORICA

Magyarországon a kukorica termesztése előnyös választás lehet energetikai szempontból, hiszen kedvező az éghajlat, jól beilleszthető a vetésszerkezetbe, különösen ahol a tejtermelés magas arányt képvisel a szarvasmarhatartásban. Ezeken a területeken silókukorica

termesztése elengedhetetlen az állatok takarmányozása miatt, és a képződő trágyából valamint a silókukoricából kiváló szubsztrátum készíthető (RÁCZ F. et al. 2011). Ettől a növénytől várható hazánkban a legnagyobb zöldtömeg produktum egy hektárra vetítve. Az egy hektáron képződő szárazanyag-tartalom átlagosan 20 000-25 000 kg (14-35 t/ha) (KvVM 2007). A martonvásári mezőgazdasági kutatóintézet biogáz hasznosítás céljára nemesített különböző leafy (leveles) silókukorica fajtákat, amelyek kiváló keményítőtartalom mellett nagy zöldtömeget adnak. **Ezen fajták mezofil körülményű fermentációja során egy kg szárazanyagból 480-495 liter biogáz termelődött** (HEGYI Zs. et al. 2010).

Amennyiben a megye 2011-es kukorica vetésterületének 100%-át biogáz alapú energiatermelésre fordítottuk volna specializált termesztési módon, akkor 114 555 ha-on 25 t/ha szárazanyaggal, és az említett **optimális értékekkel számolva** (21 MJ/m^3 fűtőérték mellett) **29 PJ energiát nyertünk volna ki**. Azonban ennek kivitelezése ésszerűtlen és a fenntarthatósággal ellentétes lenne, ezért a technikai potenciál megállapításánál különböző lehetőségeket vetünk össze.

BÚZA

A megye vetésterülete alapján a második legfontosabb növény a búza, amiből szintén termelhető biogáz. Bár szárazanyag hozama alacsonyabb a kukoricáénál (14-17 t/ha), egyéb kultúrnövények között átlagosnak mondható. A búza C3-as növény, míg a kukorica C4-es, ezért fontos szerepük van az általánosságban alkalmazott C3-C4 vetésforgóban. 2011-ben a vetésterülete 60 199 ha volt. A búza biogáz hozama fajtától függően hektáronként 7 500-8 000 m^3 (AMON, T. et al. 2005; KvVM 2007), ami 100%-os biogáz felhasználás mellett **9,5 PJ energiát jelentene**.

Továbbá a megyében 55 800 ha-on termeltek egyéb kultúrnövényeket, amiből átlagosan 8,8 PJ energia nyerhető. Tehát a megye elméleti biogáz potenciálja összesen 50,6 PJ/év, amelyben a növénytermesztésből származó biogáz 94%-os részarányt képvisel. Fontos leszögezni, hogy valójában ennek az értéknek csupán a töredéke hasznosítható, főleg a növénytermesztési ágazatban. A meghatározott elméleti potenciál szektoronkénti értékeit a *3. táblázat* mutatja be.

Alapanyagforrás	Energiamennyiség (PJ/év)	Aránya (%)
Állattenyésztés	2,66	5,3
Szennyvíziszap	0,15	0,3
Kommunális hulladék	0,51	1,0
Növénytermesztés	47,30	93,5
Összesen	**50,62**	**100,0**

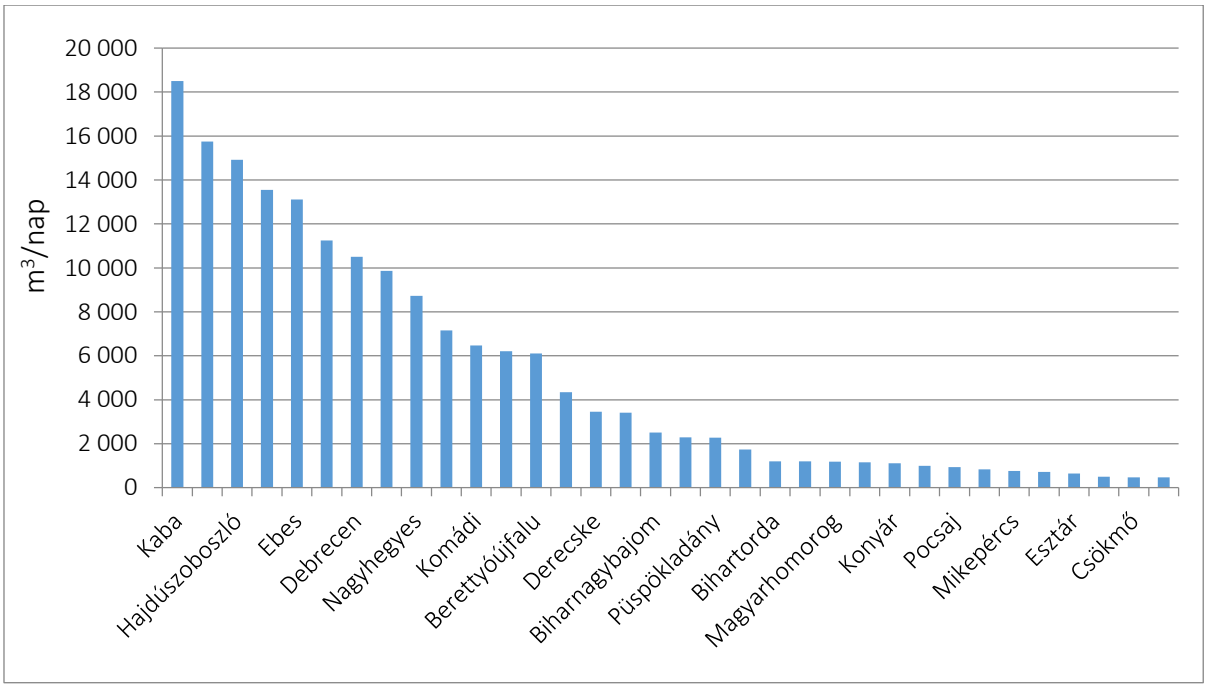
3. táblázat: Hajdú-Bihar megye elméleti biogáz-potenciálja alapanyagforrások szerint (KSH, TESZIR, BUJDOSÓ Z. et al. 2012).

3.3. TECHNIKAI POTENCIÁL

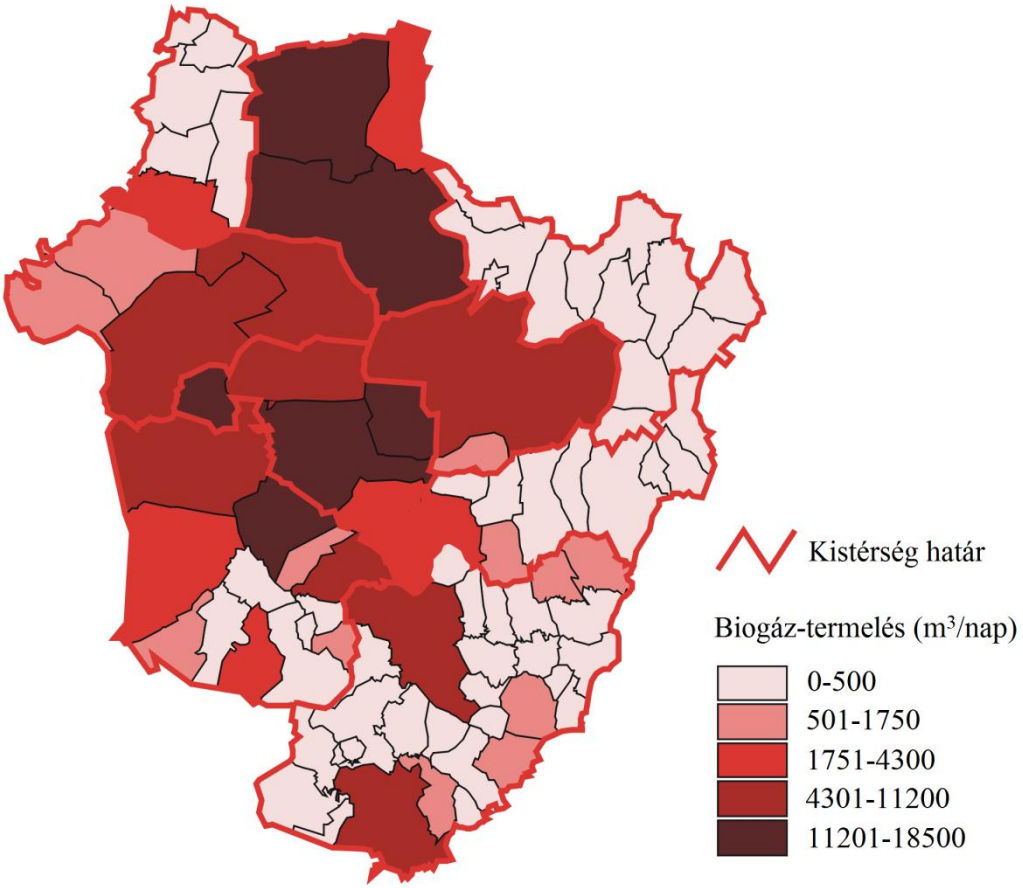
Az elméleti potenciál meghatározása után megtudhattuk az egyes jelen levő alapanyagforrásokból maximálisan kinyerhető biogáz mennyiségét. A technikai potenciál megállapításakor már egy reálisan felhasználható értékkel kell számolnunk. Biogáz üzemek olyan pontokon létesíthetők, ahol az alapanyagként szolgáló szerves anyag kis területen koncentrálódik. Ezért meg kell határozni a szerves anyagok térbeli eloszlását, és ki kell zárni azokat a területeket, ahol nem éri el a kívánt mennyiséget. A minimális üzemméret kijelölése nem egyszerű feladat, két fő, részlegesen egymásnak ellentmondó szempont, a méretgazdaságosság, illetve a fenntarthatóság és a környezetvédelem. Amennyiben a fenntarthatóságot tartjuk szem előtt, akkor minél decentralizáltabb, kisebb erőműveket kell létrehozni. Így maximalizálhatjuk a kogenerációs technológia előnyeit, hiszen így a villamos energia mellett a hőenergiát is hatékonyabban felhasználhatjuk, emellett minimalizálhatjuk a szállítási energiát és az alapanyagok magasabb fokú kihasználása valósul meg. Sajnálatos módon a magas beruházási költségek akadályozzák az üzemek elterjedését. Alapvetően minél nagyobb az üzemméret, annál kedvezőbb annak fajlagos beruházási költsége, és ezért gyorsabb megtérülésre számíthatunk. A szakirodalom szerint a hő- és villamos energia kapcsolt termelésére a minimális gazdasági méret 300-350 számosállat, a szennyvíztisztítók esetében pedig 20 000 LEÉ kapacitás felett javasolható, minimum 68%-os (6 000 óra/év) gázmotor kihasználtsággal (BAI A. [szerk.] 2007).

3.3.1. Állattenyésztés

Az előző fejezetben említett érvek miatt a technikai potenciál meghatározásánál az állattenyésztésből és a szennyvíziszapból nyerhető biogáz területi koncentrálódását veszem figyelembe, mint legfontosabb telepítő tényező. A településeken működő nagyobb állattartó telepeket állatállományuk alapján szükséges számba venni. Erre a TIR (Tenyészet Információs Rendszer) 2007-es adatsorát használom fel. Sajnos újabb adatokat nem sikerült beszereznem a NÉBIH (Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal) Állattenyésztési Igazgatóságától, de a megye állatállományának viszonylagos stabilitása miatt, a néhány százalékos eltérés elhanyagolható. Az egyszerűbb számítások érdekében a szarvasmarha és a sertés trágyáját az elterjedtebb "nedves eljárású" technológia gázkihozatali értékei alapján állapítom meg. **A különböző szakirodalmi források alapján** (Shulz, H.– Eder, B. 2005, Sallai L. et al. 2006, Bai A. [szerk.] 2007, KvVM 2007) **a szarvasmarha hígtrágyája 1,4 m^3/szám/nap** (kb. 2 600 kWh/szarvasmarha/év), **a sertés esetében pedig 0,9 m^3/szám/nap** (kb. 230 kWh/sertés/év) **biogáz-hozammal számolhatunk.**



1. ábra: Az állattenyésztésből településenként kinyerhető biogáz technikai potenciálja Hajdú-Bihar megyében (m^3/nap) (TIR 2007).



2. ábra: Az állattenyésztés melléktermékeiből kinyerhető biogáz mennyisége településenként Hajdú-Bihar megyében (TIR 2007).

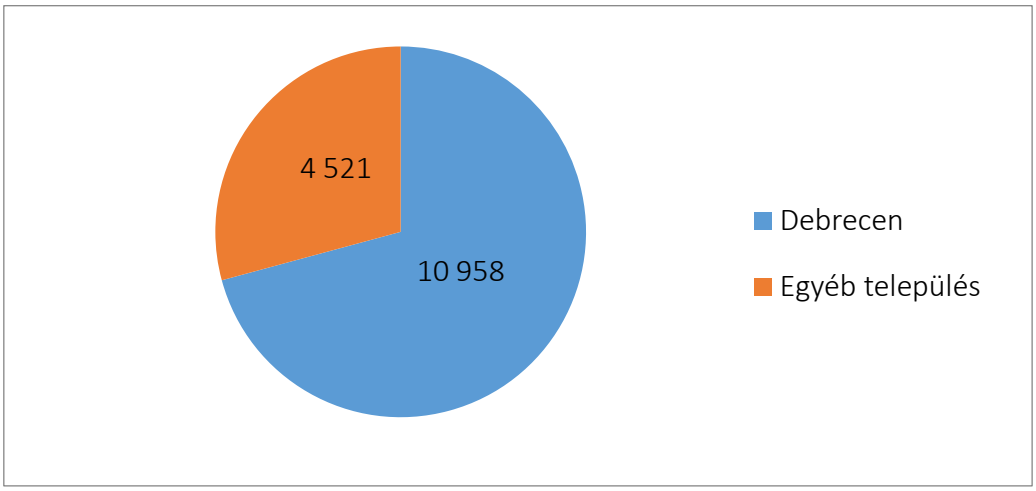
A TIR adatbázisa alapján megvizsgáltam Hajdú-Bihar megye településein a nagy állattartó telepeket. Leválogattam azokat a településeket, ahol a telepek **összesen 350 számosállat feletti állatállománnyal rendelkeznek**, hogy elérjék a javasolt CHP technológiás mérethatárt. A 82 település közül 34-ben múlta felül az állatállomány a kívánt mennyiséget. A trágya nem feltétlen egy tenyészetből származhat. Külföldi tapasztalatok azt mutatják (energy4farms.eu), hogy több, kisebb gazdaság közösen is képes alapanyaggal ellátni egy biogáz erőművet. Ennek ellenére a kooperációs lehetőségek mellett is szükségesnek tartottam egy alsó mérethatár megállapítását, amit a szarvasmarha- és a sertéstelepeknél 100, tyúk és pulyka esetében (a magasabb biogáz-hozamú trágya miatt) 60-70 számosállatban állapítottam meg. Az adatokból kitűnt, hogy juhtenyésztést a megyében az elszórtabb, kisméretű gazdaságok jellemzik. Trágyájuk ártalmatlanítása a mélyalmos módszerrel könnyen megoldható (SZENDREI J. 2008). Potenciáljukat csupán azokon a területeken vettem figyelembe, ahol az áltag feletti az egyes

telepek példányszáma, nagyobb, mint 220 számosállat a település juhállománya, és ahol más fajok is nagy számban vannak jelen.

Az így kapott eredmények azt mutatják, hogy a technikai potenciál az elméleti potenciál 53%-át teszi ki. **Tehát évente 63,6 millió m^3 biogáz kitermelésére lenne lehetőség, ami 1,4 PJ/év energiának felel meg**. A biogáz potenciál főleg a városok környékén koncentrálódik, a 34 kijelölt településből a 6 legnagyobb potenciálú rendelkezik a megye biogáz mennyiségének 50%-ával, amit az *1. ábra* szemléltet, azonban meglepő lehet, hogy Debrecen nem tartozik közéjük. A tematikus térképről (*2. ábra*) leolvasható, hogy a keleti, észak-keleti, határ-menti területeken az állatállomány nem éri el a szükséges koncentrációt, míg a központi és nyugati térségben a számuk kiemelkedően magas.

3.3.2 Szennyvíztisztítók

A szennyvíztisztítók szennyvíziszapját a 34 kiválasztott településen mindenhol figyelembe vettem (ahol működik). Nem szükséges alsó méretkorlátot meghatározni, hiszen a településeken az állattenyésztésből már elméletileg fedezhető egy-egy biogáz üzem alapanyag mennyisége.



3. ábra: A szennyvíztelepeken nyerhető biogáz mennyisége (m^3/nap) (TESZIR)

A tisztítási kapacitásukat jelen esetben is a csatornázottsági aránnyal korrigáltam. Az így felhasználható biogáz mennyisége 15,5 ezer m^3/nap, **évente 5,6 millió m^3, ami 0,124 PJ**

energiát jelent. Debrecen erős dominanciája tapasztalható, a megye kapacitásának több mint a 70%-a összpontosul a városban, ahogy a *3. ábrán* is látható.

3.3.3. KOMMUNÁLIS HULLADÉK

A települési hulladék elméleti és technikai potenciálja között nem lesz különbség. Ennek oka, hogy az évi 230 ezer tonna hulladék mindenképp elhelyezésre kerül a hulladéklerakókban. **A lerakókból származó depóniagáz mennyiségét évi 31,7 millió m^3-re becsülhetjük, 0,51 PJ energiatartalommal,** amit részletesen a *4. táblázat* mutat be. Kitermelése a három regionális és egy települési hulladéklerakóban valósulhatna meg a jövőben. Az egyes lerakók biogáz hozamát a kapacitásuk százalékában számítottam ki.

Hulladéklerakók	Kapacitása (ezer m^3)	Aránya (%)	Biogáz potenciál (millió m^3/év)
Debrecen	2 741,3	65,8	20,9
Hajdúböszörmény	850,0	20,4	6,5
Berettyóújfalu	320,0	7,7	2,4
Nádudvar	255,8	6,1	1,9
Összesen	**4 167,1**	**100**	**31,7**

3. táblázat: Hajdú-Bihar megye hulladéklerakóinak kapacitása és biogáz potenciáljuk (BUJDOSÓ Z. et al. 2012).

3.3.4. NÖVÉNYTERMESZTÉS

Az elméleti potenciál meghatározásánál bizonyítottuk, hogy **a növénytermesztési ágazat hatalmas lehetőségeket kínál az energetika területén**, azonban felhasználásának nem szabad negatív hatással lennie a környezetre és a helyi gazdaságra. Csak a fenntartható mezőgazdasági modellt tartom elfogadhatónak, ahol egyensúly van az élelmiszertermelés, állattenyésztés és az energiatermelés között. Ahhoz, hogy ez megvalósítható legyen, szem előtt kell tartani számos ökológiai és környezeti szempontot, mint például (GYULAI I. 2008):

- A használt földterület környezetterhelése lehetőleg alacsonyabb legyen, mint az előző földhasználati mód során;
- Pozitív, illetve minél magasabb energiamérleg (EROEI);
- A természet és a biodiverzitás védelme;
- A lokális viszonyok közé megfelelően illeszkedő növényfaj kiválasztása és technológia alkalmazása, az ökológiai rendszer átformálása nélkül;
- A használata bizonyítottan nagyobb társadalmi-gazdasági haszonnal járjon, mint az azt megelőző termelési rendszerben.

Meg szeretném vizsgálni, hogy a jelenlegi mezőgazdasági termelési struktúra nagyobb mértékű átformálása mellett milyen lehetőségeink vannak a biogáztermelésre. A rendelkezésre álló területet leszűkítettem azokra a településekre, ahol az állattenyésztés hulladékából már lehetőség nyílna üzem telepítésére. Ennek célja, hogy a keletkező fő- és melléktermékет a lehető legkisebb szállítási energiával jutassuk el a biogáz erőművekbe. A 34 településen keletkező trágya és szennyvíziszap kofermentációja növényi eredetű alapanyaggal kiegyensúlyozhatja a bevitt szubsztrátum szárazanyag-tartalmát, és jelentősen javíthatja a fajlagos biogáz-hozamot (BAI A. [szerk.] 2007). Emellett a nagyobb mennyiségű betáplált szerves anyag miatt növelhető az üzemméret, ami csökkenti a fajlagos beruházási költséget és a megtérülési időt. A KSH adatbázisából kiszámítottam a szántóföldek és a nem hasznosított mezőgazdasági területek nagyságát a kiválasztott településeken. Majd megvizsgáltam, hogy az integrált növénytermesztési rendszer különböző arányú alkalmazásával, milyen eredményeket lehetne elérni.

Fenntartható módon, az élelmiszertermeléssel és a takarmánytermesztéssel kiegyensúlyozottan termesztett energianövények esetén is felelőtlenség lenne becslésekbe bocsátkozni és pontos értéket meghatározni a bevonható terület nagyságáról. Ennek ellenére az eredményekből érdekes következtetések vonhatók le. A földterület nagysága összesen 213 254 ha (szántó és nem hasznosított mezőgazdasági terület), ami a megye szántó-területének (281 042 ha) a 75,9%-a (KSH 2010). Felállítottam három forgatókönyvet, ahol a terület 10-20-30%-ának bevonásával kiszámítottam a várható biogáz-produkciót. Elmondható, hogy optimális körülmények között, a megyei szántóterület minden 1%-ának bevonása után

évente 12,8 millió m^3, vagyis 0,27 PJ energiatartalmú növényi tömeg termelhető meg. A várható hozamot a bevont területnagyságával arányosan az *5. táblázat* mutatja be.

Az integrált rendszer alkalmazási aránya (%)	A bevont terület nagysága (ezer ha)	A várható biogáz-produkció (millió m^3/év)
10	21,3	128
20	42,7	256
30	64,0	384

5. táblázat: Az integrált növénytermesztési módszer különböző területi alkalmazása során várható biogáz-hozam Hajdú-Bihar megyében (KvVM 2007, KSH).

A termelésbe fogható szántóterület minimális környezet átalakítással járó potenciálját azonban másképp szeretném meghatározni, és másfelől közelítem meg a problémát. Megvizsgáltam a régióban üzemelő biogáz erőművekbe (Kenderes, Hajdúszovát, Biharnagybajom, Nyírbátor) táplált átlagos alapanyagmixet. Az üzemek honlapján, illetve sajtóközleményekben fellelt információk alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a helyi telepeken bekevert szubsztrátum általában 10-30%-ban növényi fő- vagy melléktermékekből állt.

Növényi fő- és melléktermékek aránya (%)	A szennyvíziszap és trágya mennyisége (ezer tonna)	Növényi zöldtömeg mennyisége (ezer tonna)	Alapanyag összesen (ezer tonna)
10	1 160	129	1 289
20	1 160	290	1 450
30	1 160	496	1 656

6. táblázat: A szubsztrátum mennyisége különböző arányú növényi termékek használata esetén az alapanyagmixben (BAI A. [szerk.] 2007, SZENDREI J. 2008).

Meg kell jegyezni, hogy Nyugat-Európában ez az arány, az intenzívebb energianövény-termesztés miatt 30-50% között is mozoghat. A bekeverési arány a helyi adottságoktól, a

rendelkezésre álló földterülettől és az alapanyagforrásoktól nagy mértékben függhet, ezért a régióra jellemző értéket veszem figyelembe. A fennmaradó részarány (70-90%) egyéb szektorokból, főként az állattenyésztésből származik. Szakirodalom alapján (SCHULZ, H. – EDER, B. 2005, BAI A. [szerk.] 2007, SZENDREI J. 2008) megállapítottam a megyei állattartásból és szennyvízkezelésből származó hulladék mennyiségét. **Összesen 1,16 millió tonna trágya és szennyvíziszap keletkezik évente a kiválasztott településeken.**

A 30%-os arány eléréséhez 496 ezer tonna növényi termékre lenne szükség. Ennek biogáz-hozama a termesztett növényfajtáktól függ. A megyében termesztett növények melléktermékeinek (kukoricaszalma, búzaszalma, napraforgólevél) szerves szárazanyagra vonatkoztatott, közepes gázhozamát átlagoltam (323 Nm^3/t) (KALTWASSER, B. J. 1983, GADUS, J. 2005), ami nem sokban tér el a KvVM tanulmányában szereplő 370 m^3/t értéktől. Optimális körülmények között a növények szerves szárazanyag-tartalma a friss tömeg kb. 25%-a (KvVM 2007). A *6. táblázaton* is látható, **hogy a kinyerhető biogáz mennyisége 496 ezer tonna friss növénytömeg esetén kb. 40 millió m^3**.

A megye megállapított technikai biogáz potenciálja az állattenyésztés és a szennyvíziszap esetén 69,2 millió m^3, emellett a kommunális hulladéklerakókban 31,7 millió m^3 depóniagáz képződik évente. A növénytermesztés melléktermékeiből, a megadott szempontok szerint 40 millió m^3/év biogáz keletkezhet. Eltekintve a kofermentációs többlet gázkihozataltól, **az összesen képződő 140,9 millió m^3 biogáz kb. 2,87 PJ energiát jelent évente,** amit a *7. táblázat* mutat be részletesen.

Szektor	Állattenyésztés és szennyvíztisztítás	Kommunális hulladék	Növény-termesztés	Összesen
Biogáz mennyisége (millió m^3/év)	69,2	31,7	40,0	140,9
Átlagos fűtőértéke (MJ/m^3)	22	16	21	-
Kinyerhető energia (PJ/év)	1,52	0,51	0,84	2,87

7. táblázat: Hajdú-Bihar megye technikai biogáz potenciálja, szektoronként (KSH, TESZIR, TIR).

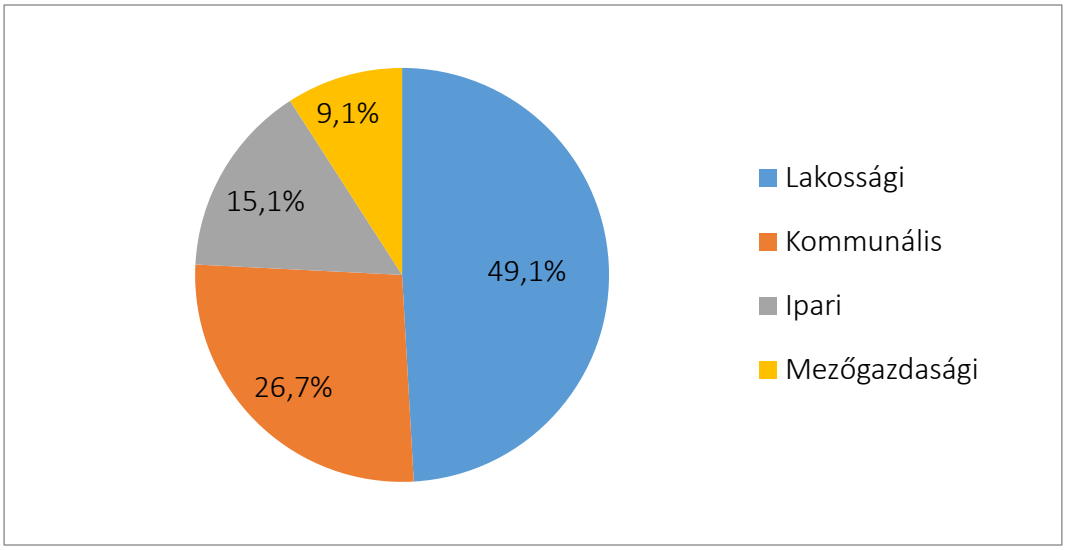
4. A BIOGÁZ FELHASZNÁLÁSÁNAK PERSPEKTÍVÁI A MEGYÉBEN

4.1. A BIOGÁZ LEHETSÉGES SZEREPE A MEGYÉBEN

Hajdú-Bihar megye éves **energiafelhasználása 2007-ben 23,2 PJ volt** (a közlekedési szektort nem számítva). Szektoronkénti megoszlás szerint (*4. ábra*) a lakossági fogyasztás volt a legmagasabb (11,4 PJ). 2007-ben a legfontosabb energiahordozó a földgáz, a megye összes energiafelhasználásának 57%-át adta. A megye **villamosenergia-fogyasztása** a régiós adatokból – népességarányosan számítva – **1 442 GWh-t tett ki** (EKK 2007). **Elmondható, hogy a meghatározott, közel 141 millió m^3 biogáz kihasználása esetén ez a technológia a megye energia-felhasználásának 12,4%-át lenne képes a biztosítani, amivel a földgázfogyasztás 21,7%-át válthatná ki.**

A gazdaság és a lakosság a biogáz eljárás decentralizált, stabil energiatermelése mellett számos előnyt élvezhet. A szükséges alapanyag már eleve helyben rendelkezésre áll, amit helyi munkaerővel termelhetünk meg, egyben vidékfejlesztési feladatot is ellátva. Fontos környezetvédelmi szempont, hogy az aerob lebomlás során légkörbe kerülő metán mennyisége csökken, valamint a trágyák, hígtrágyák és szennyvíziszap problémája megoldódik. Az állattartó telepek, élelmiszeripari létesítmények hulladékának az előírásoknak megfelelő ártalmatlanítása komoly pénzügyi terhet ró a vállalkozásokra. **A biogáz eljárás során keletkező biotrágya kb. 15%-os terméstöbbletet biztosíthat a növénytermesztésben, mint a szintetikus műtrágya** (BAI A. [szerk.] 2007).

Biotrágya alkalmazásával a műtrágya előállításához fel nem használt energia mennyisége is jelentős lehet. Egy kg nitrogén műtrágya előállításához kb. 30 MJ energia szükséges. A biotrágya nitrogén, foszfor, kálium tartalma függ az alapanyagtól, és a kirothasztás fokától (vagyis a fermentorban töltött időtől). A hosszú időt fermentorokban töltött biotrágya 0,5-2,5%-os (BAI A. [szerk.] 2007) nitrogén részarányt tartalmaz szárazanyagra vonatkoztatva. A kiszámított maximális szubsztrátum mennyiség (1 656 ezer t) nitrogéntartalma – a "nedves" eljárás során optimálisan alkalmazható szárazanyag-tartalmat (12%) figyelembe véve, átlagos értékkel számítva – közel 3 ezer tonna. **Az így megtakarított energiamennyiség 89 TJ-t is elérheti, csupán egyetlen hatóanyagnál**. Továbbá a biogáz üzemek a térben elszórtan jelennek meg, tehát a szállítási energia és az emisszió is kisebb mértékű (GRASSELLI G.–SZENDRŐI J. 2006).



4. ábra: Hajdú-Bihar megye energiafelhasználásának szektoronkénti megoszlási aránya 2007-ben (%) (EKK 2007).

A biogázt széleskörűen fel lehet használni a mezőgazdasághoz, élelmiszeriparhoz kapcsolódó tevékenységeknél. Az épületek fűtéséhez, főzéshez, gabona, kukorica, zöldtakarmány szárítására vagy HMV és elektromos energia előállításához. Számos más gyakorlati példát is fel lehet hozni. Hajdú-Bihar megyében például nagy számú tejelő tehenet tartanak. A tejhűtés energiaigénye 25,6 m^3 biogáz /szám/év, a 109,2 millió m^3-rel (a hulladéklerakókban képződő depóniagázt nem számítva) egy 4,3 milliós tehénállomány tejhűtését megoldhatnánk. Egy másik gyakorlati példa lehet az üvegházak fűtése, ahol egy négyzetméter üvegfelület esetén 3 066 MJ/év energia szükséges. A potenciál felhasználásával 78,4 hektárnyi üvegfelületű üvegházat fűthetnénk (Barótfi I. 2006).

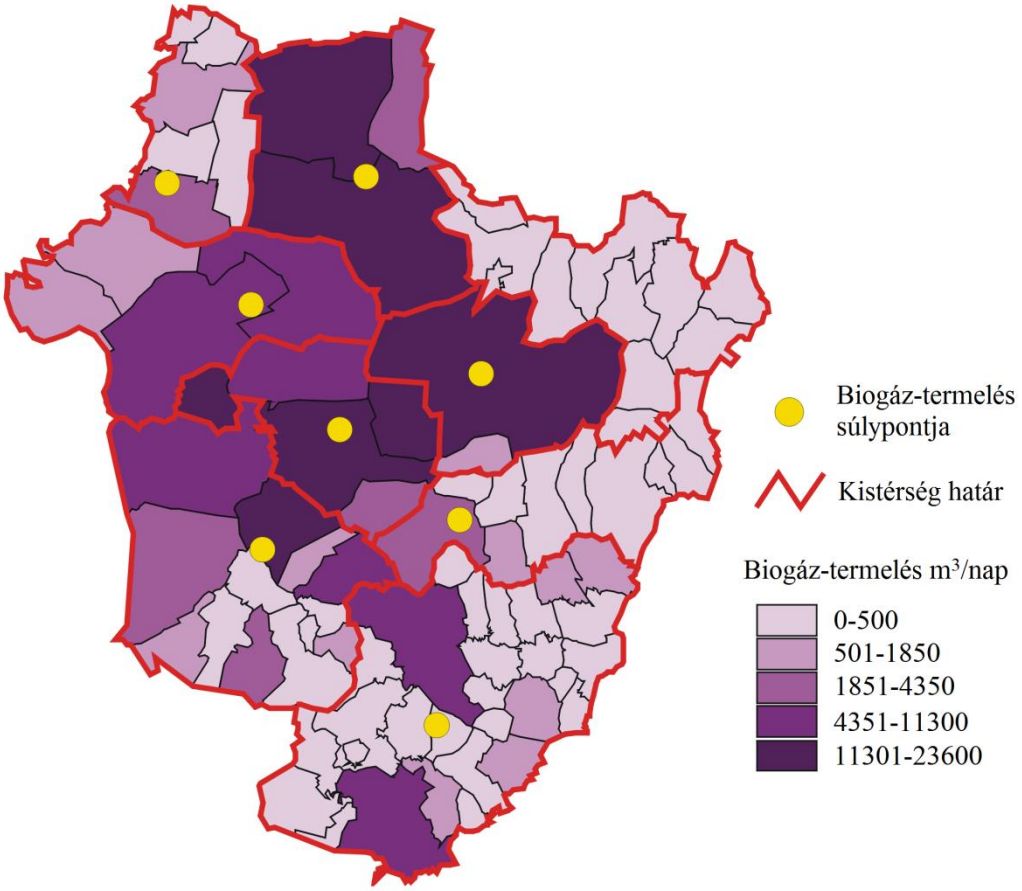
4.2. Villamosenergia-termelés

A megtermelhető biogázból 100%-os hatásfokon 797 GWh/év elektromos energiát lehetne előállítani. A mai technológia azonban a gázmotorok esetében 35-40%-os villamos hatásfokot tesz lehetővé (Zsebik A. 2007, www.clarke-energy.com). Emellett számolni kell bizonyos mértékű önfogyasztással, ami kb. 5-10%-ot jelent (www.bio-genezis.hu, KvVM 2007). A hasznosítható villamos energia 30%-os hatásfok mellett, így is jelentős, 239 GWh/év-t tesz ki, ami 16,6%-a a 2007. évi fogyasztásnak.

A rendelkezésre álló szerves anyagtól és a saját (pl. baromfifeldolgozó) energia-fogyasztástól függ, hogy hálózatra tudjuk-e termelni a villamos energiát, vagy csupán az önfogyasztás egy részét tudjuk fedezni. Ennek megállapítására kisebb területre készített tanulmány lehet eredményes, ami gazdasági szempontokat is figyelembe vesz.

4.2.1. Regionális erőművek

A méretgazdaságos, komplex regionális erőművek előnyben vannak a kisebb, lokális üzemekkel szemben. A nagyobb méretnek azonban hátrányai a megnövekedett szállítási költség, és a helyben képződő túl sok, olykor hasznosíthatatlan hőenergia. A kisüzemek hatékonyabban fel tudják használni a keletkező hőenergiát, viszont a túl magas fajlagos beruházási költségük miatt kevésbé kivitelezhetők hazánkban.



5. ábra: Az állattartásból és szennyvíziszapból kinyerhető biogáz mennyisége és súlypontjai Hajdú-Bihar megyében (TIR 2007).

A régiós energiastratégia is a nagyobb kapacitású (0,5-2 MW_{el}) erőművek megjelenésével számol (ENEREA 2010). A 2011-es költségviszonyok között a növényi melléktermékek gazdaságos szállítási távolsága 14,3 km volt (az átvételi árral együtt számítva) (BAI A. 2013). Véleményem szerint az állati trágya esetében is hasonló értékkel számolhatunk. Elmondható, hogy az alapanyag beszállítása több településről is történhet. Egy 14,3 km-es sugarú kör 642 km^2-t fed le, ami a valóságban az úthálózat miatt kisebb terület lenne, de ettől most eltekintek. Hajdú-Bihar megyei kistérségek átlagos területi kiterjedése 690 km^2 (ENEREA 2010), ami 93%-os területi lefedettséget jelent. **A 34 kiválasztott település központjának koordinátái, a képződő trágya és szennyvíziszap, valamint a belőlük termelhető biogáz mennyiségének ismeretében megállapíthatjuk az egyes kistérségek biogáz-termelési súlypontját.** Az eredményeket az *5. ábra* illusztrálja.

A kistérségek összes alapanyagát figyelembe vettem a koordináták kiszámításánál. A kijelölt pontok jelzik az elméletileg legmegfelelőbb helyet regionális erőművek jövőbeni telepítésére.

4.3. A BIOMETÁN ALKALMAZÁSA

A hazai szakirodalom az itthoni tapasztalatok hiánya miatt nem olyan bőséges, mint a biogáz egyéb felhasználási területein. Több európai országban azonban az elterjedt és széleskörűen használt eljárások közé tartozik. 11 ország termel biometánt Európában és 9-ben földgázhálózatra történő betáplálás is megvalósul. Mielőtt a hálózati rácsatlakozás létrejönne, a biometánnak meg kell felelnie a minőségi paramétereknek, amit minden államban saját gázszabvány alapján állapítanak meg, európai uniós szinten pedig a 2003/55EC számú irányelv rendelkezik a biogáz ez irányú felhasználásáról (FOREEST, van F. 2012).

A tisztítási folyamaton átesett biogáz piacképessége jelentősen nő és sokoldalúbb árucikké válik. A földgázt felhasználó ipari és lakossági szektornak esélye nyílik megújuló energiaforrásból származó gázt vásárolni. Németországban, Hollandiában, Svédországban egyre növekvő arányban hasznosítják a biometánt, hiszen megfelelő szabályozási környezetet teremtenek számára (FOREEST, van F. 2012).

A gépjárművekben való alkalmazáshoz a földgáz üzemű autókban nem szükséges a motor átalakítása vagy különleges beállítása. Paraméterei, mint például a fűtőértéke, a korróziót okozó gázok és egyéb motor meghibásodást kiváltó részecskék mennyisége nem nagyobb a földgázénál. Tulajdonképpen az így nyert gáz a lehetséges legtisztább, legkörnyezetkímélőbb hajtóanyag, ami jelenleg létezik. Nemzetközi tanulmányok igazolták, hogy más bioüzemanyagoknál (pl. etanol, biodízel) sokkal kedvezőbbek kibocsátási értékei. **A Hajdú-Bihar megyében megtermelhető biometán mennyisége kb. 80 millió m^3 évente.** Ezzel a mennyiséggel, tömegközlekedésben való felhasználás esetén, kb. 2 850 autóbusz éves üzemanyagát biztosíthatnánk (www.iea-biogas.net).

ÖSSZEGZÉS

Munkámban alapvető célom volt bemutatni a biogáz jelenlegi alkalmazását általánosságban és Hajdú-Bihar megyére vonatkoztatva egyaránt, emellett felmérni a terület biogáz potenciálját, valamint ismertetni felhasználásának lehetőségeit, lehetséges szerepét a helyi energiamixben.

Úgy gondolom, hogy az Európai Unió által kitűzött energiapolitikai irányvonal biztató jövőt ígér a megújuló energiaforrásoknak, köztük a biogáznak. Számos tagországban a biogáz-termelés szélesebb körben elterjedt, hiszen a lefektetett három fő alappillér mindegyikét, az ellátásbiztonságot, a fenntarthatóságot és a versenyképességet is képes teljesíteni. A hazai szabályozási környezet még nem teszi lehetővé a technológia átfogó kiépítését, pedig Magyarország természeti adottságai kedvezőek ennek megvalósítására, és erre kiváló példaként szolgálhat Hajdú-Bihar megye, amit az Észak-Alföld régió energiastratégiájában ki is emelnek a szakértők.

A dolgozat fő kutatási iránya a megye – statisztikai adatok és szakirodalmi információk alapján történő – komplex biogáz potenciáljának meghatározása. Többféle metódussal felmértem mind a mezőgazdaságban, mind a kommunális hulladéklerakókban, mind pedig a szennyvíztisztító telepeken képződő mennyiséget. **Az általam felhasználhatónak ítélt, évi 2,87 PJ energiatartalmú biogáz a helyi energiarendszerben jelentős arányt képviselne. A közlekedési szektort nem számítva, a fosszilis energiahordozók 12,4%-át lenne képes kiváltani az energiamixben, ami véleményem szerint példaértékű lehetne.**

A megye energiaszerkezetébe könnyen beilleszthető, hiszen akárcsak a földgáz, sokoldalúan felhasználható, a lokális igényekhez igazítható termék. A biogáz hő- és villamosenergia-termelésre, a biometán gépjárművekben való alkalmazásra, vagy földgázhálózatba történő betáplálásra is megfelel. **Hajdú-Bihar megye villamosenergia-felhasználásának 16,6%-át, földgázigényének 21,7%-át tudnánk vele helyettesíteni.** Úgy vélem, nem kizárólag Hajdú-Bihar megye alkalmas a biogáz hasznosítására, országszerte hatalmas lehetőségek rejlenek az eddig csak ipari, mezőgazdasági, vagy kommunális hulladékként tekintett értékes szerves anyagban.

A végső technikai potenciál megállapításakor viszonylag kevés növényi alapanyaggal számoltam. A növénytermesztés bevonása az energetikai szektorba, annak ideális mértéke,

leginkább agrártudományi kérdés és a szakemberek között is komoly vitatéma. A valós és fenntartható mennyiség meghatározása további kutatási feladat lehet a jövőben, akárcsak az, hogy kisebb területi szintre (pl. kistérségre) pontosabban, helyi adottságokhoz igazodva mérjük fel a biogáz potenciálját.

A jövőbeni kutatások további lehetőségeket rejtenek e szektorban. Folyamatosan fejlesztik a második generációs ("sejtrobbantásos" különleges előkezelésű) biogáz technológiát, ami növelheti hatékonyságát és jövedelmezőségét. Keveset tudunk még a mikroorganizmusokról, és azok együttéléséről. A jövőben töretlenül kutatni kell a metántermeléshez legalkalmasabb alapanyagokat és a legmegfelelőbb baktériumtörzseket.

A világon megújuló energiaforrások széles választéka vár arra, hogy az emberiség fenntartható módon kiaknázza azokat. Ez alól Hajdú-Bihar megye sem kivétel, számos lehetőség van, hogy az energiatermelést "zöldebbé" tegyük. Dolgozatomban azt a következtetést vontam le, hogy a megújuló energiák már egyetlen szegmense, a biogáz helyi felhasználásának esetén is jelentős eredmények várhatók. Ez még tovább fokozható más, környezeti fenntarthatóságnak eleget tévő technológiák alkalmazásával, amelyek elterjesztése Földünk és jövőnk szempontjából létfontosságú.

FELHASZNÁLT IRODALOM

A magyar villamosenergia-rendszer forrásoldali kapacitáselemzése 2011. – MAVIR, Budapest.

AMON, T.–KRYVORUCHKO, V.–BODIROZA, V.–AMON, B. (2005): Biogáz a szántóföldről. – Biomassza – energia a mezőgazdaságból, Háromhatár konferencia 2005, május 3-4. pp. 80-82.

Az Észak-Alföldi régió energiastratégiája 2010. – Észak-Alföldi Regionális Energia Ügynökség, Debrecen.

BAI A. (2013): A hazai biomassza hasznosítás. – Agrárium 23. 2. 52-53 pp.

BAI A. [szerk.] (2007): A biogáz. – Száz magyar falu könyvesháza, Budapest. 283 p.

BARÓTFI I. (2006): Állattartás, trágyakezelés és biogáz-termelési lehetőségek. – Agro-Napló 10. 4. pp. 112-114.

BUJDOSÓ Z.–MOLNÁR E.–PATKÓS Cs.–PÉNZES J.–RADICS Zs. (2012): Hajdú-Bihar megye területfejlesztési koncepcióját megalapozó feltáró-értékelő vizsgálat. – Debrecen. 134 p.

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

EurObserv'ER (2012): Biogas Barometer. 17 p.

FOREEST, van F. (2012): Perspectives for Biogas in Europe. – Oxford Institue for Energy Studies, Oxford.

GADUS, J. (2005): Elektromos energia előállítása biogázból. – Biomassza – energia a mezőgazdaságból, Háromhatár konferencia 2005, május 3-4. pp. 76-79.

GÉMESI Zs. (2009): Anaerob fermentációval előállított biogáz megtisztítása - metán leválasztás és gázellátó vezetékhálózatba való betáplálás, vagy motorhajtóanyagként való felhasználás. – OBEKK tudományos szakmai kiadványok sorozat (4/12). Szent István Egyetemi Kiadó, Gödöllő. 21 p.

GRASSELLI G.–SZENDREI J. (2006): Mezőgazdasági és élelmiszeripari, biogáz előállítására alkalmas biomassza felmérése Debrecen térségében. – Jubileumi kutatás és fejlesztési tanácskozás, Nr. 30, 3. kötet, Magyar Tudományos Akadémia, Gödöllő. pp. 99-102.

GYULAI I. (2008): The biomass dilemma. – CEEweb for Biodiversity, Budapest. 63 p.

HAJDÚ J. (2009): Biogázüzemek működése és biogáz üzemi technológiák. – OBEEK Tudományos szakmai kiadványok (11/12), Szent István Egyetemi Kiadó, Gödöllő. 15 p.

HAJDÚ J.–MAGÓ L. (2006): Az energiatermelő mezőgazdaság. – Jubileumi kutatás és fejlesztési tanácskozás, Nr. 30, 3. kötet, Magyar Tudományos Akadémia, Gödöllő. pp. 104-108.

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

HEGYI Zs.–POTYONDI L.–RÁCZ F.–PINTÉR J.–MARTON L. Cs. (2010): Silókukoricából biogáz. – MTA mezőgazdasági kutatóintézetének közleményei 2010/1 XXII. évfolyam 1. szám pp. 19-21.

KALTWASSER, B. J. (1983): Biogáz-előállítás és -hasznosítás. – Műszaki Könyvkiadó, Budapest. 79 p.

LEHTOMÄKI, A. (2006): Biogas Production from Energy Crops and Crop Residues. – Jyväskylä University Printing House, Jyväskylä. 91 p.

LUKÁCS G. (2008): Zöldenergia és vidékfejlesztés. – Szaktudás Kiadó Ház, Budapest. 222 p.

MAROSVÖLGYI B. (2004): Magyarország biomassza-energetikai potenciálja. – Energiagazdálkodás, 45.6. pp. 16-19.

Munkácsy B. (2011): 100%-ban megújuló energiára alapozott energiatervezés. In: Munkácsy Béla Erre van előre!: Egy fenntartható energiarendszer keretei Magyarországon Vision 2040 Hungary 1.0. pp. 14-16.

PETIS M. (2009): A biogáztermelési rendszer hiánya. – Agrárfutár 4. pp. 4-6.

POURMOVAHED, A.–OPPERMAN, T.–LEMKE, B. (2011): Performance and Efficiency of a Biogas CHP System Utilizing a Stirling Engine. – International Conference on Renewable Energies and Power Quality, Las Palmas de Gran Canaria 13th to 15th April, 2011.

RÁCZ F.–TÓTHNÉ Zs. Zs.–HEGYI Zs.–MARTON L.–OROSS D. (2011): A biogáz termelés lehetősége martonvásári kukorica hibridekből. – MTA mezőgazdasági kutatóintézetének közleményei 2011/1 XXIII. évfolyam 1. szám pp. 8-9.

SALLAI L.–MOLNÁR T.–FODOR D. (2006): Biogáz adott feltételek között történő energetikai célú termelése és felhasználása. – Agrártudományi Közlemények 2006/22. pp. 41-46.

SCHULZ, H.– EDER, B. (2005): Biogázgyártás. – Cser Kiadó, Budapest. 171 p.

SEMBERY P. – TÓTH L. [szerk.] (2004): Hagyományos és megújuló energiák. – Szaktudás Kiadó Ház, Budapest. 522 p.

SZENDREI J. (2008): A szekunder biomasszára alapozott biogáztermelés logisztikája és hatékonysági kérdései. – Doktori (Phd) Értekezés. Kézirat. Debrecen, p. 109.

Stratégia a magyarországi megújuló energiaforrások felhasználásának növelésére 2008-2020, Gazdasági és Közlekedési Minisztérium, Budapest.

SZUNYOG I. (2008): Elméleti biogáz potenciál. – Egy európai uniós kutatási projekt részeredményei, Miskolci Egyetem Kőolaj és Földgáz Intézet Gázmérnöki Intézeti Tanszék.

ZSEBIK A. (2007): Gázmotorok jövedelmezősége, megtérülése. – Magyar Energia Hivatal, Elemző tanulmány, Budapest.

Internetes források

http://www.bio-genezis.hu/index.php?inc=energiak (2013.04.14.)

http://www.clarke-energy.com/2013/chp-cogen-efficiency-biogas (2013.05.02.)

http://www.debreceni-vizmu.hu/szennyvizes/szennyvizes.html (2013.04.10.)

http://www.energy4farms.eu/download/hu/beszamolok/Booklet31_hu2_low.pdf (2013.05.06.)

http://www.eon-hungaria.com/vallalat/eoncsoport/debrecenikombinaltciklusueromu/cegtortenet (2013.04.10.)

http://www.eurostat.com (2013.04.15.)

http://www.iea-biogas.net/_download/publications/workshop/10/Biogas_research_in_the_ERI.pdf (2013.04.29.)

http://www.ksh.hu – (Központi Statisztikai Hivatal) (2013.05.01.)

http://www.nkek.hu/ext/download.php?id=145 (2013.04.17.)

http://www.teir.vati.hu/Energiaterkep/main – (Energia Központ Kht.) (2013.04.28.)

http://www.teszir.hu – (Települési Szennyvíz Információs Rendszer) (2013.04.02.)

http://www.terport.hu/teruletfejlesztes/orszagos-szint/fejlesztesi-dokumentumok/magyarorszag-energiapolitikaja-2008-2020-0 (2013.04.17.)

*http://*www.vizeink.hu/files2/2_7_melleklet_allattarto_telepek.xls (2013.03.15.)

KOVÁCS KRISZTINA

Németország villamosenergia-rendszerének átalakítása; avagy van-e élet az atomenergián túl?

BEVEZETÉS

Európában egyre több ország ér el kiemelkedő eredményeket a megújuló energiák hasznosításában és egyre több olyan nemzeti energiastratégiát dolgoznak ki Európa-szerte, amelyek segítségével szakítanak a fosszilis erőforrások felhasználásával, közülük az egyik legmeghatározóbb Németország. Egész Európa, és talán nem túlzás azt állítani, hogy az egész világ elé olyan mintát állít energiapolitikájával, amellyel mindenki számára elérhetővé válhat egy fenntartható, megújuló energiákra alapozott gazdaság. Németország vállalása, hogy 2050-re elérjék a 80% megújuló részarányt a villamosenergia-termelésben valóban ambiciózus, ezért választottam dolgozatom központi témájának. Ám vannak olyan dokumentumok – szcenáriók –, amelyek még ennél is merészebbek, és akár a 100%-os részarány elérését sem tartják lehetetlennek. Habár Németország jó úton halad afelé, hogy megfeleljen a kitűzött céloknak, látnunk kell azt is, hogy ez a kivételes kihívás – az energiafordulat (németül Energiewende) – nem halad zökkenőmentesen, és a nehézkes úton időközben felbukkannak olyan problémák, amelyekre előzetes példák híján nem lehetett kellőképpen felkészülni. Bármennyire forradalmi is Németország energia- és klímapolitikai vállalása, tisztában kell lennünk a problémákkal is ahhoz, hogy egy teljes körű, átfogó képet kaphassunk a folyamatról. Németország a közelmúltban az atomerőművei bezárásával került a figyelem középpontjába, és ezzel kapcsolatban igen sok negatív kritikát, véleményt is kap, mondván atom nélkül nincs villamosenergia-termelés, nincs energiabiztonság. Így dolgozatom vázát azon központi kérdés köré építem fel, hogy vajon van-e élet atomenergia nélkül, pótolható-e az atomerőművek bezárásával kieső igen tetemes kapacitás a megújulók segítségével?

A felmerülő nehézségek ellenére mégis azt állíthatjuk, hogy Németország kivételes helyzetben van. Nincs még egy olyan ország, ahol olyan erős nemzeti összefogás és támogatás lenne a célok elérése érdekében, mint Németországban. Nincs még egy olyan hely, ahol az alulról felfelé törekvő mozgalmak olyan erősek és elszántak lennének, mint Németországban, és ahol ekkora támogatottsága lenne a megújulókra való átállásnak. Ezért is tartom elképzelhetőnek, hogy a nehézségek ellenére Németország végül eléri céljait, ezzel követendő példát állítva az egész világ elé. A témával foglalkozó tanulmányokban és kutatásokban nem kisebb kifejezéseket használnak az energiafordulat szinonimájaként, mint „Németország nagy esélye", „a nemzet feladata" vagy „Németország legújabb újraegyesülése" (KWIATKOWSKA-DROŻDŻ, A. – MAZUR, K. 2012). Németország már most a világ egyik legnagyobb megújulókon alapuló technológiák exportőre és gyártója, és az átállás során ez csak tovább fog fokozódni, ezáltal olyan új dimenziót nyitva a zöldipar számára, amely az egész gazdaság fejlődésében meghatározó szerepet játszhat.

KUTATÁSTÖRTÉNET

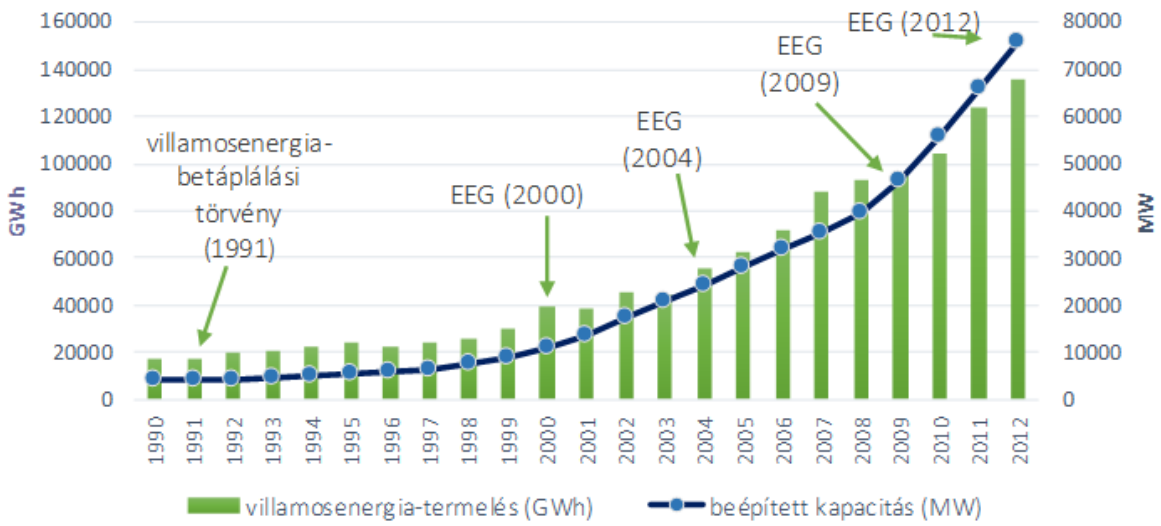
Míg Németországban az energiaátállás már hosszú évek óta zajlik, a nemzetközi szakmai körök csak a fukushimai atombaleset után kezdtek el behatóbban foglalkozni a német energiapolitikával. Egyes szerzők kiemelik a német intézkedések fontosságát, sőt egyenesen azt állítják, hogy ezek a döntések jobbá teszik, „feljavítják" a német politikát (WINTER, C. 2011). De már a japán atomkatasztrófát megelőzően is született olyan tanulmány, amely a német atomkivonás európai energiaárakra való hatásával foglalkozik, és több aspektusból vizsgálja annak következményeit. Már ebben a cikkben is rámutat a szerző, hogy az atomkivonás jótékony hatással van a CO_2-kibocsátás mérséklésére, illetve az intézkedés mihamarabbi végrehajtásával számottevő mennyiségű szén-dioxid kibocsátásától kíméljük meg Földünket (BODE, S. 2009). Az energiaátállással európai uniós szinten is foglalkoznak. Voltak olyan német szakértők, akik rámutattak, hogy ha az energiafordulatot a kormány valóban sikeressé akarja tenni, akkor azt át kell ültetni uniós szintű politikai kezdeményezésekbe, és támogatni kell minden ilyen irányú törekvést (FISCHER, S. – GEDEN, O. 2011).

Számos olyan nemzeti stratégia készült, amelyben a 100%-os megújulóra való átállással és az új rendszer kiépítésével foglalkoznak, mint például a Német Szövetségi Környezet-, Természetvédelmi és Reaktorbiztonsági Minisztérium (BMU) tanulmányaiban (NITSCH, J. 2008; WENZEL, B. et al. 2010), amelyekben különböző szcenáriók alapján mutatják be, hogy hogyan lehetne 2050-re elérni többek között a CO_2-kibocsátás 80%-os csökkentését és a teljes átállást. A Német Szövetségi Környezetvédelmi Hivatal (UBA) tanulmányában bemutatják, hogy hogyan lehetne áttérni Németországban egy teljesen megújuló energiákra alapozott villamosenergia-termelésre, akár már a mai naptól kezdve, így a dokumentum egy azonnali cselekvési terv (KLAUS, T. et al. 2010). A Német Tanácsadó Testület (SRU) jelentésében megfogalmazzák, hogy Németország miként tudja a fosszilis erőforrásokat teljesen kizárni a villamosenergia-termeléséből 2050-re (FAULSTICH, M. et al. 2010). Egy másik WWF-kutatás, a „Németország modellje" nevezetű is az átállással foglalkozik, mégpedig hogy miként lehetne az üvegházgázokat csökkenteni a hatékonyság és a jólét veszélyeztetése nélkül (KIRCHNER, M. — MATTHES, F. et al. 2009). A Greenpeace szakemberei is készítettek egy tanulmánykötetet, amely eloszlatja azon tévhiteket, miszerint az atomenergia kivonása az energiarendszerből veszélyeztetné a CO_2-kibocsátás 40%-kal való csökkentését 2015-re, tehát Németország csökkentési vállalása nem kerülhet veszélybe (BARZANTNY, K. et al. 2009). A Megújuló Energia-Kutató Társaság (FVEE) szerint szintén végrehajtható az átállás, és a jövőképüket egy 100%-ig megújulókon nyugvó gazdaságra és az energiahatékonyságra alapozzák (SCHMID, J. et al. 2010). Végül pedig a német kormány is elkészítette az energiakoncepciójához kapcsolódó tanulmányát, amelyben 9 szcenáriót állítanak fel, amelyek a lehetséges jövőképet vázolják 2050-ig (SCHLESINGER, M. et al. 2010). A dolgozat további részében az említett tanulmányok közül többet részletesen is feldolgozok, különös tekintettel a kormány energiakoncepciójára és a jövőbe mutató szcenáriókra.

1. Megújuló energiaforrások Németország energiapolitikájában

1.1. A megújulókból származó villamosenergia-termelés

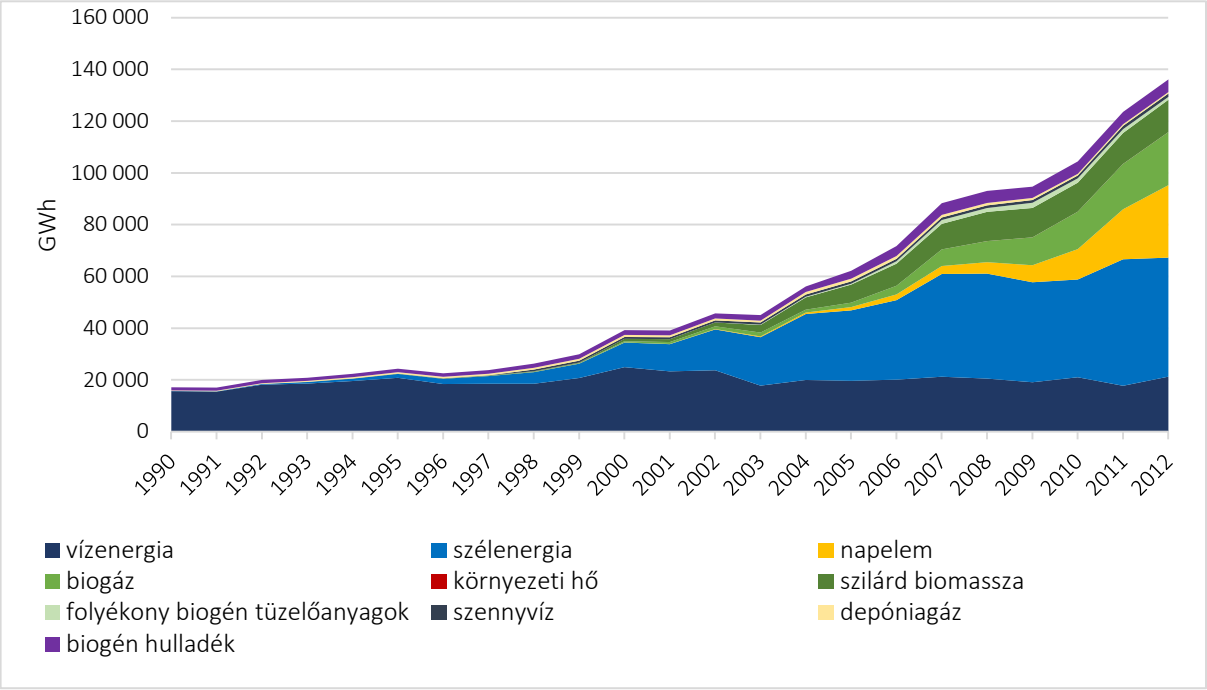
A megújulókból származó villamosenergia-termelésről Németországban 1990-től érdemes beszélni. Az 1991-ben életbe léptetett villamosenergia-betáplálási törvénnyel határozták meg először szisztematikusan a megújulók támogatását, ez biztosítja a zöldenergia kötelező felvásárlását (AEE 2012). A törvény bevezetése óta szinte kivétel nélkül növekszik a megújulók részaránya a villamosenergia-termelésben. Ennek oka egyrészt a már említett villamosenergia-betáplálási törvény, másrészt pedig az EEG, amely 2000-es bevezetése óta többször módosult. Az *1. ábra* alapján megfigyelhető, hogy az igazi áttörést ez utóbbi jelentette, mert 2000 óta sokkal nagyobb mértékben nőtt a megújulókból származó villamos energia mennyisége és a beépített kapacitásuk is (AEE 2012), mint korábban.



1. ábra. A megújulókból származó villamosenergia-termelés és a beépített kapacitás változása Németországban 1990-2012 között. (AGEE-Stat 2013)

A legnagyobb mértékű beépített kapacitás-növekedés a szélenergiának tulajdonítható. A villamosenergia-betáplálási törvénynek köszönhetően 1992 és 1993 között több mint a duplájára nőtt a beépített kapacitás, azaz 174 MW-ról 326 MW-ra. Azóta is folyamatosan növekszik az érték, 2012-ben már 31 315 MW-nyi szélturbina forgott Németországban, ami **41,19%-a** a teljes megújulós beépített kapacitásnak (AGEE-Stat 2013). A másik szembeötlő

növekedés a napelemek terén mutatkozik meg. Míg 1990-ben az 1 MW beépített kapacitást sem érték el (0,6 MW), addig 2012-re összesen 32 643 MW-ra nőtt az érték, ezzel a tavalyi évben megelőzve a szélturbinákat. Így a napelemek **42,94%-kal** részesednek a teljes beépített kapacitásból a megújulókon belül, amivel az első helyen állnak (AGEE-STAT 2013). A két említett energiaforráson kívül még jelen van a vízenergia, a különféle biomassza alapú energiahordozók és környezeti hő is, ám lényegesen kisebb részaránnyal. Sőt, utóbbiak olyan alacsony beépített kapacitással rendelkeznek, hogy az ábrán jórészt nem is látszik. A környezeti hőnek például egészen 2004-ig nem volt szerepe, és 2012-ben is csupán 12,1 MW volt a beépített kapacitás (AGEE-STAT 2013). A vízenergia jelentősége 1990 óta szinte egyáltalán nem változott, míg 23 éve 3 429 MW-nyi vízerőmű működött Németországban, addig 2012-ben 4 400 MW, vagyis ez idő alatt nem nőtt, illetve csökkent drasztikus mértékben a beépített kapacitás (AGEE-STAT 2013).

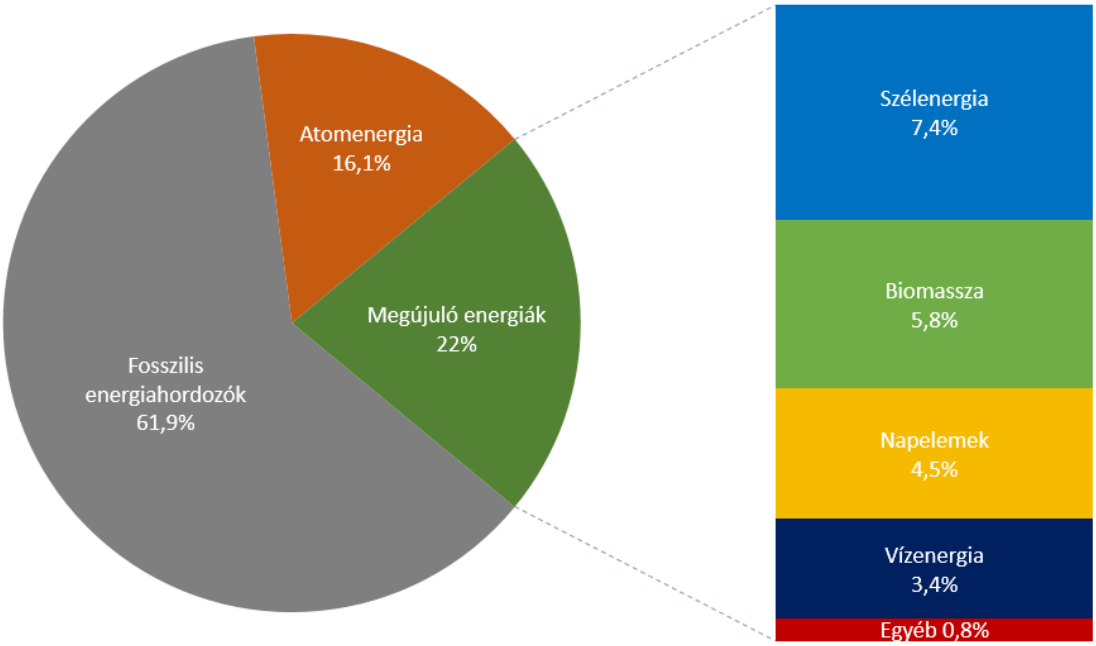


2. ábra. A megújulókból származó villamosenergia-termelés változása Németországban 1990-2012 között. (AGEE-STAT 2013)

A *2. ábra* azt mutatja meg, hogy 1990 és 2012 között hogyan változott a megújulókból származó villamosenergia-termelés. Habár a napelemek beépített kapacitása nagyobb, mégis kevesebb áramot termelnek, mint a szélturbinák, ami jórészt a hatásfokbeli különbségekre

vezethető vissza. Míg a szélturbinák Európában átlagosan 20-25%-os (FERREIRA, S. 2010), addig a napelemek átlagosan csak 10-15% körüli hatékonyságúak (WHITNEY, L. 2010). A vízenergia stabil szerepe ezen az ábrán is jól látszik, ami viszont még érdekesebb, hogy amíg a biogáz a beépített kapacitás terén a többi megújulóhoz képest viszonylag szerény értékekkel rendelkezik, addig az energiatermelésben a napelemekhez közelít (AGEE-STAT 2013).

2011-ben Németországban az export és az egyéb veszteségek után a primerenergia-felhasználás **13 521 PJ**-t tett ki (AGEB 2012b). E tekintetben a németek még nagymértékben támaszkodnak a fosszilis erőforrásokra is. 2012-es adatok szerint a kőolaj 33,3%-ot, a földgáz 21%-ot, a fekete- és barnakőszén együttesen 24,6%-ot tett ki.



3. ábra. Bruttó villamosenergia-termelés Németországban 2012-ben. (ZIESING, H. 2013)

Figyelemre méltó azonban az atomenergia részarányának csökkenése, jelenleg 8%-kal járul hozzá a primerenergia-felhasználáshoz, két évvel korábban (2010-ben) az érték még 10,9% volt (AGEB 2012a).

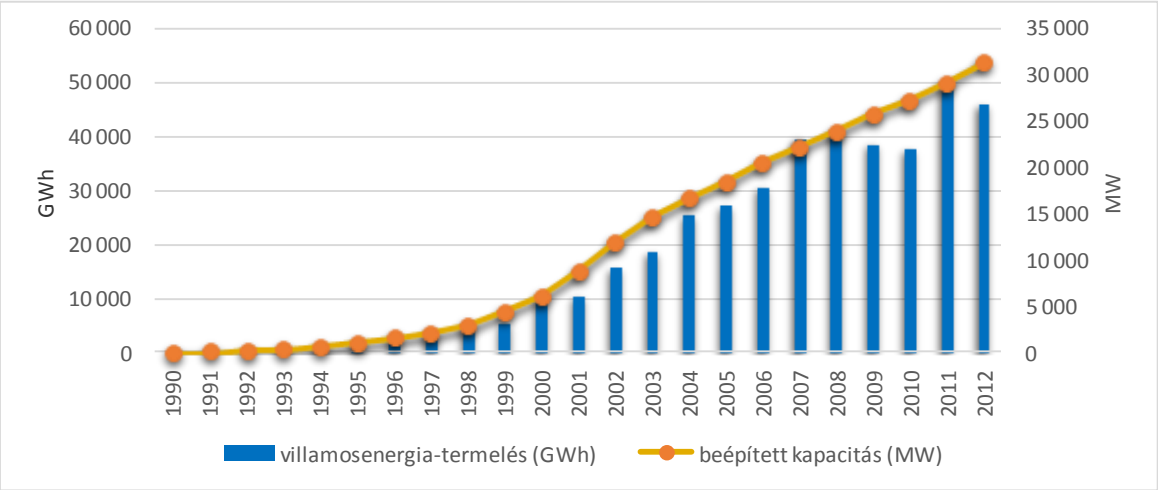
Németországban 2012-ben a megújulók részaránya a primer energia felhasználásában csaknem 12%, a villamosenergia-termelésben **21,9%** (*3. ábra*), vagyis az ország közel negyedét már fenntartható módon látják el árammal. Mint azt korábban említettem, folyamatosan növekszik a részarány, 2011-ben még csak 20,4% volt az érték (AGEB 2012a). 2012-ben

összesen **136 075 GWh**-nyi villamos energiát termeltek a megújuló erőforrások segítségével *(1. ábra*), összehasonlítva a paksi atomerőművel, az 2011-ben 15 685 GWh-nyi energiát állított elő, ami a magyar termelés 43,25%-át szolgáltatta (DEMETER K. 2012). A továbbiakban a jelenlegi négy legfontosabb megújulót, vagyis a szélenergiát, napenergiát és a biomasszát fogom részletesen bemutatni.

1.2. SZÉLENERGIA

Jelenleg a megújuló villamosenergia-termelésben a szélenergia a legmeghatározóbb, a teljes villamosenergia-termelés **7,4%-ával**. Sőt, a szélenergia-ipar további elsőségekkel is büszkélkedhet: 2011-ig ebben az ágazatban volt legmagasabb a beépített kapacitás, illetve szintén a szélenergia fejlődött a legnagyobb mértékben 1990 óta (AGEE-STAT 2013). Németország 2012-ben 31 315 MW beépített kapacitással rendelkezett (*4. ábra*), ami 15 darab paksi atomerőműnek felel meg. Ezzel az értékkel Németország **Európában is az első helyen áll**. Az újonnan üzembe helyezett szélturbinák összteljesítménye pedig ugyanebben az évben 2 439,66 MW volt, ami ugyancsak kiemelkedő érték (DEWI 2012). Összehasonlításképpen, Magyarországon jelenleg összesen nincs annyi beépített kapacitás (jelenleg összesen 330 MW), mint amennyit Németország egyetlen év alatt üzembe helyez, holott Magyarország remek, ám egyelőre kihasználatlan potenciálokkal rendelkezik (MUNKÁCSY B. 2011). Ráadásul hazánk legnagyobb része az 1. szélosztályba tartozik csakúgy, mint Németország keleti fele, és a különféle potenciálelemzések alapján nálunk is hasonló, illetve a legújabb technológiák használatának köszönhetően akár még nagyobb sikereket lehetne elérni (MUNKÁCSY, B. 2010).

Németországban a szélturbinák csupán 1%-a offshore erőmű és megközelítőleg 200 MW a kapacitásuk (MEYER, R. 2011).



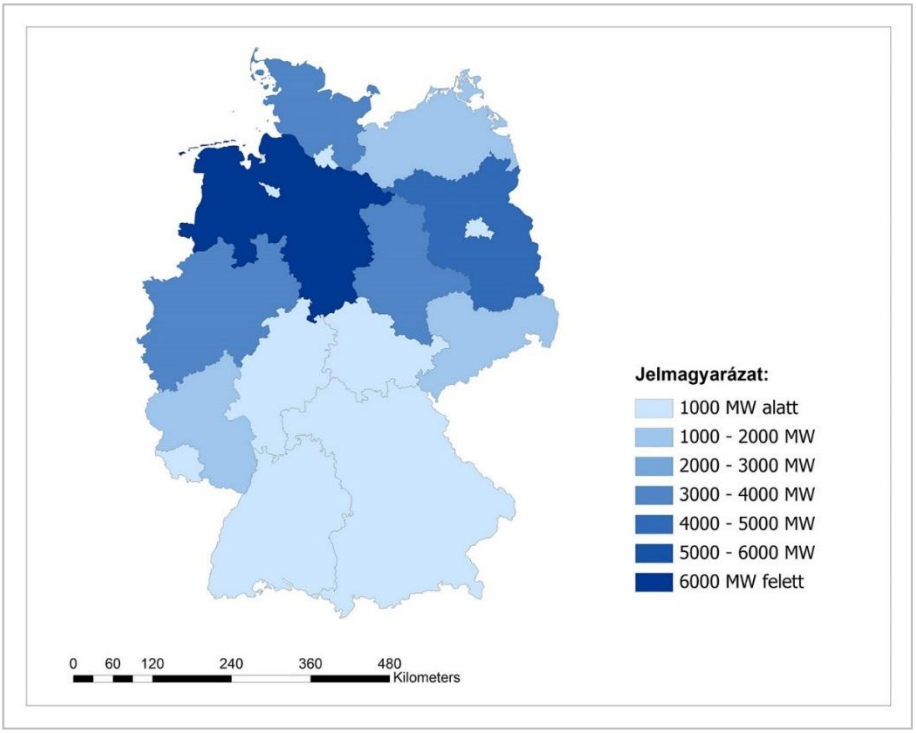
4. ábra. A szélenergiával történő villamosenergia-termelés és a beépített kapacitás változása 1990-2012 között (saját szerkesztés). (AGEE-STAT 2013)

Villamosenergia-termelés tekintetében is magasan a szárazföldi turbinák irányába billen a mérleg. Míg 2012-ben az onshore szélturbinák **45 323 GWh** energiát termeltek (33,3%-a a megújulókból származó villamos energiának), addig az offshore erőművek **csak 675 GWh**-ot (AGEE-STAT 2013). A Balti-tenger és Északi-tenger által nyújtott összes lehetséges területet kihasználva egy tanulmány szerint 2030-ig további 20 000 - 25 000 MW teljesítményű tengeri szélturbinát lehetne üzembe helyezni (KUHBIER J. 2007), a kormányzati tervek pedig kiemelten foglalkoznak a kiépítés szükségességével, amit a dolgozatban később bővebben is kifejtek. A *4. ábra* jól mutatja a szélenergia időjárástól való függőségét, ugyanis a villamosenergia-termelés ingadozása azt jelenti, hogy adott évben nem volt kellően szeles idő ahhoz, hogy a beépített kapacitás növekedésével lépést tudjon tartani az energiatermelés is. Egy ilyen kevésbé szeles évnek köszönhető például az is, hogy 2012-ben csökkent a villamosenergia-termelés a 2011-es évhez képest.

Országon belül a szélturbinák megoszlása egy egészen markáns határvonalat jelöl az északi és déli országrész között (*5. ábra*), ám egyben el is oszlatja a tévhitet, miszerint szélturbinákat csak a partvidékekre, tenger közelébe érdemes telepíteni, ugyanis egészen az ország belsejében, a tengertől távol is találunk szélturbinákat. A fenti adatokból láthatjuk, hogy Németországban rendkívüli mértékben kihasználják a földrajzi adottságaikat. Egy 2011-es tanulmányban térinformatikai eszközökkel felmérték azokat a lehetséges német területeket,

amelyekre szárazföldi szélturbinát lehetne telepíteni bárminemű korlátozás nélkül. Ebből kiderült, hogy az ország csupán **7,9%**-a felel meg az összes kritériumnak, vagyis ezek azok a helyek, ahol nincsenek védett területek, települések vagy erdők (BOFINGER, S. et al. 2011). Az ország 4,4%-án vannak olyan erdőterületek, amelyek nem állnak védettség alatt és szélturbina telepítésére is alkalmasak, illetve 10,1%-án vannak hasznosítható, ámde védett területek, így összesen akár az ország területének 22,4%-a válhatna beépíthetővé (BOFINGER, S. et al. 2011). Összehasonlításul, egy hazai tanulmány szerint Magyarországon az aktuális jogszabályok szerint alkalmas terület összesen 5 423,99 km^2-t tesz ki, ami az ország 5,8%-a, ám ezen a területen körülbelül 50 000 MW-nyi szélturbina telepítése volna lehetséges (MUNKÁCSY, B. 2010).

A német tanulmányból olyan további érdekes adatok is kiderülnek, mint hogy a legnagyobb alkalmas területtel — már csak méreténél fogva is — Bajorország rendelkezik (17 700 km^2), továbbá ha csupán csak a tanulmány szerint hasznosítható területek 2%-át használnák ki, akkor összesen **189 GW** szélturbinát lehetne működésbe hozni (BOFINGER, S. et al. 2011).

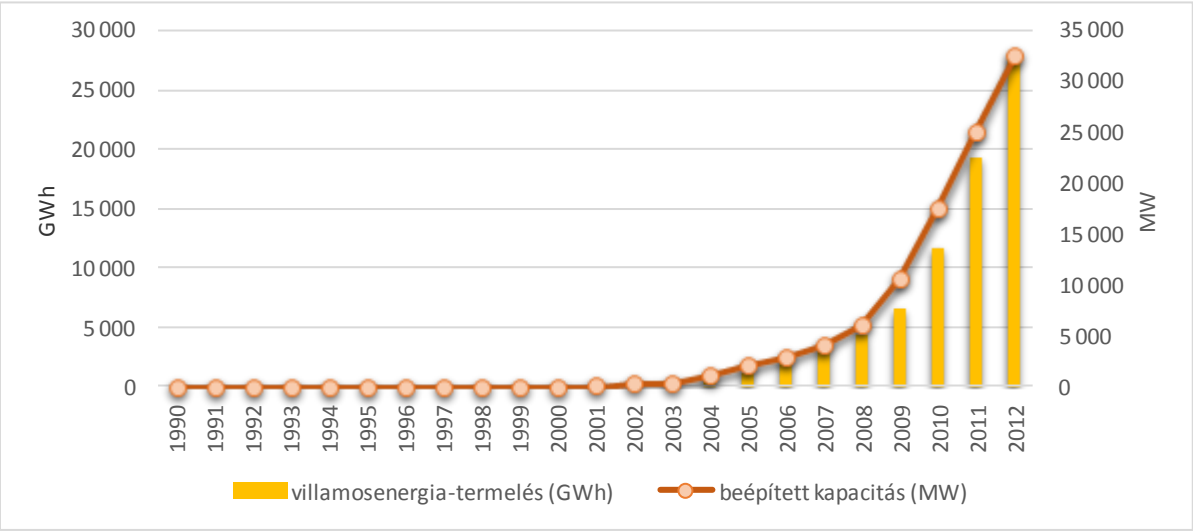


5. ábra. A szélturbinák beépített kapacitásának megoszlása tartományonként 2012-ben (saját szerkesztés) (WALLASCH, A. et al. 2013)

Összehasonlításul, 2012-ben összesen 32,64 GW (azaz 32 643 MW) volt a beépített kapacitás, a potenciálisan elérhető érték ennél több mint 5,5× nagyobb volna! Jelenleg a három legnagyobb beépített kapacitással rendelkező tartomány Alsó-Szászország, Brandenburg és Szász-Anhalt (WALLASCH, A. et al. 2013).

1.3. NAPENERGIA

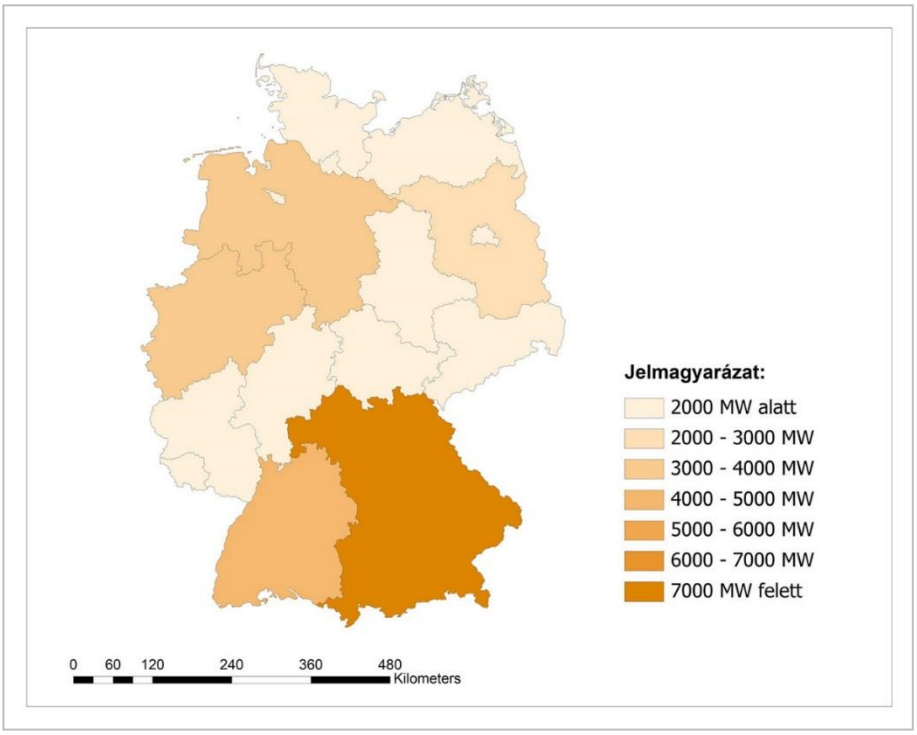
A megújulókból származó villamosenergia-termelésben a harmadik helyen a napelemek állnak a teljes áramtermelésben **4,5%-kal**. Németországban kirobbanó gyorsasággal növekszik a napelemek száma, 2011-ben csak Olaszország előzte meg a napelem-piacon – az olaszok 9,4 GW napelemet kötöttek hálózatra, ezzel szemben Németországban 7,5 GW-ot (EPIA 2012). 2012-ben Olaszország napelem-piaca visszaesett európai viszonylatban a második helyre, hiszen csak 3,3 GW-nyi napelemet telepítettek, Németország **7,6 GW**-jával szemben (EPIA 2013). A lépték nagyságát egy sor grandiózus számadat teszi érthetővé: az elmúlt 4 év alatt Németországban összesen 28,59 GW napelemet helyeztek működésbe (háztartások, mezőgazdaság, kis- és középvállalkozások, állami hivatalok). Míg 2008-ban még csak 3,81 GW, addig 2012 végén már **32,6 GW** napelem működött az országban (AGEE-STAT 2013).



6. ábra. A napelemekkel történő villamosenergia-termelés és a beépített kapacitás változása 1990-2012 között. (AGEE-Stat 2013)

Németország ezzel a teljesítménnyel – a koránt sem optimális természeti adottságok ellenére – világrekordot állított be a villamosenergia-termelésben.

A statisztikák az elmúlt években folyamatos beépített kapacitás-emelkedést mutatnak, aminek oka, hogy a német kormány szeretné fenntartani a növekedést és továbbra is támogatják a napelemek telepítését. Ebből a szempontból nem elhanyagolható tény az sem, hogy a kormány kutatás és fejlesztés céljából 50 millió eurót különített el, ami 2013 januárjától vált elérhetővé (CHOUDHURY, N. 2012). A 2012-es gyors fejlődés másik oka pedig az, hogy a napelemek ára rohamosan csökkent az elmúlt időkben. Világos tehát, hogy Németország óriási lehetőségeket lát a napenergia-hasznosításban és minden segítséget megadnak a folyamatos fejlődéshez, hiszen ezt a fajta technológiát az energiaátállás egyik kulcsfontosságú elemének tartják. Németországban található a világ napelem-kapacitásának több, mint harmada, és 2012-es adatok alapján világelső az egymillió főre jutó összes telepített napelemek teljesítményében (399,2 MW), illetve 2011-ben második volt az egymillió főre jutó újonnan telepített napelemek teljesítményében 915,5 MW-tal (SHAHAN, Z. 2012).
Tartományi megoszlásban napelemek terén az ideális fekvésű Bajorországé a vezető szerep, itt a legmagasabb ugyanis a beépített kapacitás az országban, 9 627 MW-tal (AEE 2013).



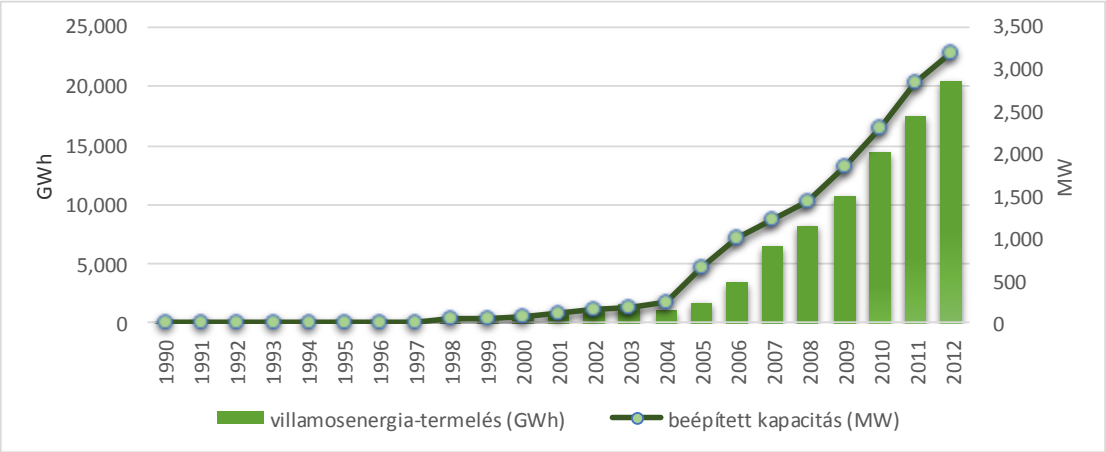
7. ábra. A napelemek beépített kapacitásának megoszlása tartományonként 2012-ben (saját szerkesztés) (AEE 2013)

Az összehasonlítás kedvéért, ez közel 5 paksi atomerőműnek feleltethető meg. Napelemekben jelentős tartomány még Baden-Württemberg és Észak-Rajna-Vesztfália is, bár itt majdnem csak feleannyi a beépített kapacitás, mint Bajorországban. Érdekes összevetni a beépítettséget a szélturbinákkal *(5. ábra*), ugyanis míg abban az esetben az északi országrészen összpontosulnak a turbinák, itt a déli országrészben, ezzel egyfajta egyensúlyt kialakítva az energiatermelésben.

1.4. BIOMASSZA

Az elmúlt évek fejlődésének egyik főszereplője a biomassza ágazaton belül a biogáz, ezért részletesebben most ezt fogom bemutatni. A villamosenergia-termelésben 1990 óta a napenergiához hasonlóan szinte a nulláról fejlődött fel a mai szintjére. 23 éve mindössze 0,6 GWh energiát termeltek biogáz segítségével, 2012-ben már 20 500 GWh-nyit (AGEE

2013). A növekedés igazi lendületét a 2000-ben bevezetett, és már többször szóba kerülő EEG adta meg. A törvény 2004-es módosításával viszont a biogáz üzemek száma, illetve a beépített kapacitás is (*8. ábra*) drámai módon növekedni kezdett, köszönhetően a megújuló nyersanyagok használatáért járó kedvezményekért (GRAAF, D. — FENDLER, R. 2010).



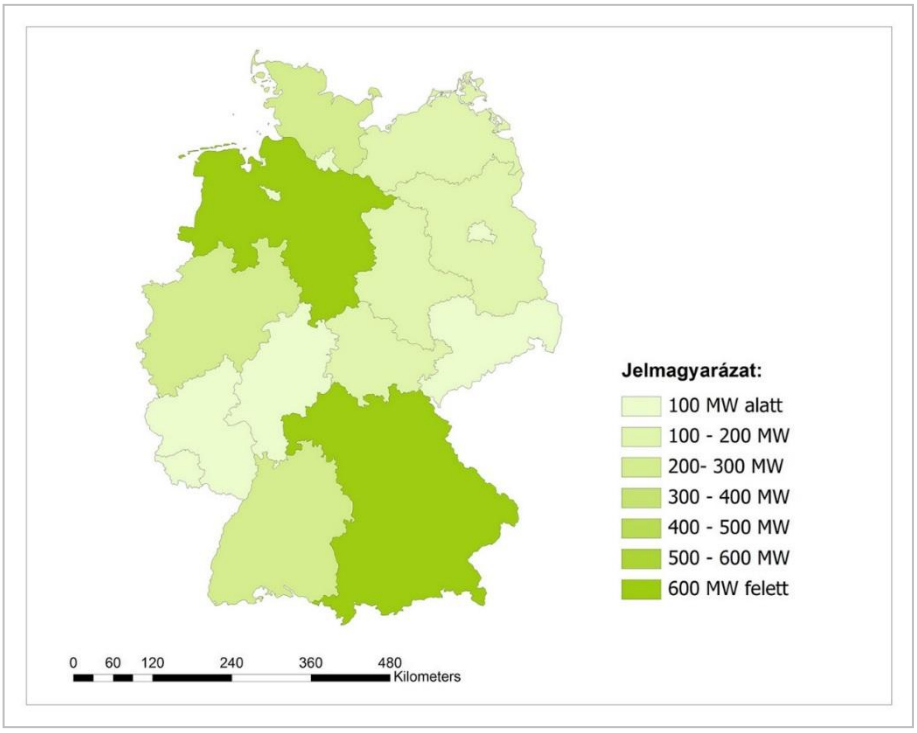
8. ábra. A biogázzal történő villamosenergia-termelés és a beépített kapacitás változása 1990-2012 között. (AGEE-Stat 2013)

A német kormány megkülönbözteti a különféle nyersanyagok biogáz-üzemekben való felhasználását, és kedvezményekkel, bónuszokkal segíti a megújuló nyersanyagok használatát, amitől megélénkült a biogáz üzemek kiépítése (BMELV 2012). A kapcsolódó kormányzati dokumentum meghatározása szerint a megújuló nyersanyagok olyan helyi, növényi vagy állati eredetű mezőgazdasági- és erdészeti nyersanyagok, amelyek élelmiszeripari vagy energetikai alapanyagként felhasználhatók (BMELV 2012). Ez a támogatás tehát világosan mutatja, hogy a biogáz-termelés elterjedése sokkal inkább függ a kedvező jogi háttértől és feltételektől, mintsem a rendelkezésre álló technológiáktól – ugyanis azok már rendelkezésre állnak, és ez szinte az összes megújulós technológiára érvényes megállapítás.

Nagy előnye a nap- és szélenergiával szemben, hogy a biomasszából történő villamosenergia-termelés kevésbé függ az időjárási viszonyoktól. Továbbá a biogáz könnyen tárolható az alacsony kereslet idején, amit fel lehet használni akkor, amikor igény van rá (FAULSTICH, M. et al. 2010). Épp ezért rendkívül alkalmas arra, hogy a nap- és szélenergia időszakosságát ellensúlyozza és egyensúlyban tartsa a termelést. Németország csakúgy, mint szinte az összes megújuló erőforrás esetében, úgy a biogáz-termelés szempontjából az első helyen áll az Európai Unióban. 2011-ben a biogázból történő bruttó villamosenergia-termelésben a lista élén végzett 20 500 GWh-val, ami a teljes EU-s termelés **54,17%**-a (EUROBSERV'ER 2012).

9. ábra. A biogáz üzemek beépített kapacitása tartományonként 2011-ben (saját szerkesztés) (DBFC 2013)

Országon belül a két legnagyobb termelő, és egyben a legnagyobb beépített kapacitással rendelkező tartomány Alsó-Szászország és Bajorország, ahogy azt a *9. ábra* is mutatja. A biogázból származó áram 30%-a az alsó-szászországi üzemekből származik, ami mintegy 1,3 millió háztartást lát el villamos energiával (NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM 2012).



Bajorországban szintúgy 1,3 millió háztartást látnak el a biogáz üzemekből származó árammal, ami a bajor bruttó villamosenergia-fogyasztás 5,7%-át jelenti (FACHVERBAND BIOGAS 2012).

A biomassza általánosságban véve rendkívül sokoldalúan felhasználható energiaforrás. Mint azt korábban láthattuk, a biomassza 5,8%-kal részesült a villamosenergia-termelésből. Ám nem csupán energiát lehet kinyerni belőle (villamos- és hőenergia, illetve üzemanyag), hanem élelmiszert és ipari nyersanyagokat is szolgáltat. Mivel a felhasználása az elkövetkezendő években folyamatosan növekedni fog, ezzel párhuzamosan nő majd az igény is iránta, a hasznosítható földterületek viszont végesek. Így a jövőben nagyon nagy hangsúlyt kell kapnia a maradék- és hulladékanyagok használatának (MORRIS, C. – PEHNT, M. 2012). A már fentebb említett előnyökön túl hátránya viszont, hogy nagyon szigorú fenntarthatósági követelményeket kell betartani a használata mellett, ugyanis míg a nap vagy a szél energiáját soha nem fogjuk tudni kimeríteni, addig nem megfelelő gazdálkodással tönkre tudjuk tenni a biodiverzitást, területeket vehetünk el az élelmiszertermeléstől vagy kimeríthetjük az erőforrásokat, ami megengedhetetlen (MORRIS, C. – PEHNT, M. 2012). Németország 2011-ben a szántói 17%-án már energianövényeket termesztett és egyes tanulmányok szerint ez az arány még növekedhet is az elkövetkezendő években a csökkenő népességszámnak köszönhetően (MORRIS, C. – PEHNT, M. 2012).

2. A NÉMET ENERGIAKONCEPCIÓ ÉS ENERGIAFORRADALOM

Az energiaátállás csak akkor lehet igazán sikeres, ha Németországban az energiaellátás megbízhatóvá és megfizethetővé válik, tehát az átálláshoz szilárd gazdasági alapokra van szükség. Az átállás kiépítéséhez Németország egy energiakoncepciót, energiacsomagot és egy átfogó stratégiát is kidolgozott, amelyekben meghatározták a végrehajtandó célokat és feladatokat (BMWi 2012). Az energiaátállás csak akkor vihető véghez, ha minden résztvevő pontosan követi az utasításokat és végrehajtja az ezekben leírt lépéseket. A koncepció kidolgozásakor a szakértők ugyanis többféle szcenáriót is elkészítettek, amelyek egyértelműen jelezték, hogy az energiaátállás egy végrehajtható és járható út, ám az is világossá vált, hogy ezt csak jelentős átalakításokkal és magabiztos fellépéssel lehet kivitelezni, és elő kell készíteni a szükséges feltételeket minden szinten. A német energiakoncepció nem egy előrejelzés, sokkal inkább lehetne egy igen kemény útvonaltervnek vagy iránytűnek nevezni, amivel csak akkor lehet célba érni, ha végigmegyünk a nehéz út teljes hosszán (BMWi – BMU 2010).
A kormány az energiakoncepcióval gondoskodik többek között az energiaellátás biztonságáról, az energiaárak megfizethetőségéről és az éghajlatváltozással kapcsolatos célkitűzések betartásáról. A korábban említett pontokon kívül a koncepció magába foglalja a következőket is (BMWi 2012):

- üvegházgázok kibocsátásának csökkentése 2020-ig 40%-kal, 2050-re pedig 80%-kal;
- a megújuló energiaforrások részarányát a bruttó energiafelhasználásban a 2010-es 10%-os értékről 2050-re 60%-ra kell növelni, illetve a villamosenergia-előállításban 2050-re 80%-os részarányt kell elérni;
- hosszútávon mérsékelni kell az energiafogyasztást: 2050-re az energiafogyasztásnak a 2008-as érték felére kell csökkennie;
- a villamosenergia-fogyasztást 2050-re 25%-kal kell csökkenteni a 2008-as értékhez képest, 2020-ban már el kell érni a 10%-os csökkenést. A végső energiafelhasználást a közlekedési szektorban 2050-re mintegy 40%-kal kell mérsékelni;
- az éves épületfelújítások arányának meg kell duplázódnia (a jelenlegi 0,8%-ról 2%-ra).

2.1. AZ ENERGIAKONCEPCIÓ FŐBB PONTJAI A VILLAMOSENERGIA-TERMELÉS SZEMPONTJÁBÓL

A 2010-ben kiadott energiakoncepció 9 fő pontot tartalmaz, melyek a következők (BMWi – BMU 2010):

A) Megújuló erőforrások, mint a jövő energiaellátásának sarokkövei
B) Energiahatékonyság, a legfontosabb tényező
C) Atomenergia és fosszilis tüzelésű erőművek
D) Hatékony hálózati infrastruktúra és a megújulók hálózatba integrálása
E) Energetikai épületfejlesztések és új, energiahatékony épületek
F) Mobilitási kihívások
G) Innováció és új technológiák fejlesztése
H) Energiaellátás európai és nemzetközi viszonylatban
I) Átláthatóság és elfogadottság

A következő alfejezetekben részletesebben kifejtve bemutatom a villamosenergia-rendszer átalakításával kapcsolatos legfontosabb pontokat, és azokat, amelyek a leginkább befolyásolják, illetve meghatározzák a megújuló energiák elterjedését és részarányát a német energiarendszerben.

2.1.1. MEGÚJULÓ ERŐFORRÁSOK, MINT A JÖVŐ ENERGIAELLÁTÁSÁNAK SAROKKÖVEI

A német kormány energiakoncepciójában világossá teszi, hogy a jövő energiaellátását a megújuló erőforrásoknak kell biztosítaniuk, és kiemelt céljuk, hogy bővítsék azok felhasználását és segítsék az elterjedésüket, miközben egyúttal költségcsökkentést is végrehajtanak az innováció segítségével. Kiemelt szerepet szánnak az offshore szélenergia-gazdálkodás bővítésének. A koncepció szerint egyre sürgetőbb volna felgyorsítani és kiterjeszteni a tengeri szélturbinák kiépítését, és megközelítőleg 75 milliárd eurót kell majd befektetni a jövőben, hogy Németországban növelni tudják a kapacitást 2030-ig a korábban is említett 25 GW-ra (BMWi – BMU 2010). Az offshore szélerőművek kiépítésének támogatása érdekében a német kormány és az állami tulajdonban lévő Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW, Fejlesztési Bank) 2011-ben elindította az Offshore Szélenergia-Programot, amelyben a

KfW hitelt nyújt a tengeri szélenergia projektekhez. A teljes hitelállomány összege 5 milliárd euró, és a program az energiakoncepción belüli, ám időben később született 10 pontos azonnali cselekvési terv része (LANG, M. 2011). Hasonlóan fontos az onshore szélenergia-gazdálkodás bővítése is, hiszen a koncepció szerint a szárazföldi szélturbinák hordozzák magukban a legnagyobb gazdasági potenciálokat rövid- és középtávon egyaránt. A dokumentum külön kitér a természetközeli módon való bővítésre, továbbá az egyik legfontosabb lépésnek a régebbi, elavult turbinák új, hatékonyabb típusokra cserélését tekintik (repowering). Ehhez a német kormány a tartományokkal és helyi hatóságokkal tárgyalásokat folytat, hogy elegendő földterületet biztosíthassanak az új szélparkoknak. A Szövetségi Szélenergia Társaság (BWE) tanulmánya szerint a repowering segítségével nem csak a területtel lehet körültekintőbben bánni, hanem a turbinák átlagteljesítménye is a duplájára növelhető (GROTZ, C. et al. 2009). Míg 2008-ban az átlagteljesítmény 20 000 db szélturbina mellett 1,2 MW volt, addig a tervek szerint 2020-ra 2,5 MW-ra nő majd, míg a turbinák száma ezzel szemben 19 000-re csökken (GROTZ, C. et al. 2009). Az energiakoncepció továbbá külön kiemelve foglalkozik a bioenergiával, amely becsléseik szerint fontos szerepet fog játszani a jövő energiaellátásában, mivel széleskörűen felhasználható és kedvező tárolási lehetőségekkel rendelkezik. Lényeges a biogáz és szilárd biomassza szerepe, amelyek könnyen tárolhatóak, és segítenek a szél- és napenergia által okozott ingadozások kiegyenlítésében, mérséklésében.

2.1.2. ATOMENERGIA ÉS FOSSZILIS TÜZELÉSŰ ERŐMŰVEK

Az atomerőművekkel kapcsolatban az energiakoncepció nem kifejezetten megengedő, csupán áthidaló technológiának tekinti csakúgy, mint a fosszilis erőforrásokat. Annak érdekében, hogy a megújulók minél széleskörűbben elterjedhessenek, Németországnak egy sokkal rugalmasabb erőművi parkra van szüksége. Az átállásig vezető átmenetben korlátozott ideig továbbra is szükség lesz az atomenergiára, emiatt a német kormány meghosszabbítja a meglévő atomerőművek élettartamát átlagosan 12 évvel – az 1980 előtt épült erőművek élettartamát 8 évvel, az 1980 után épültekét 14 évvel (BMWi – BMU 2010). 2022-ben bezár az utolsó működő atomerőmű is, de 2011 elején még 17 darab működött az országban (MORRIS,

C. – PEHNT, M. 2012). A számok remekül jelzik, hogy az atomkivonás már folyamatban van; az atomenergia villamosenergia-termelésben való részaránya az 1999-es 30%-ról 23%-ra esett 2010-ben. Az atomerőművek működésével kapcsolatban nem csak a kormány nem megengedő, hanem a lakosság sem. A fukushimai baleset után Berlinben mintegy 90 ezer ember vonult az utcára, kifejezve ellenérzését az atomerőművek működésével kapcsolatban (MORRIS, C. – PEHNT, M. 2012).

2.1.3. HATÉKONY HÁLÓZATI INFRASTRUKTÚRA ÉS A MEGÚJULÓK HÁLÓZATBA INTEGRÁLÁSA

A villamosenergia-rendszer átalakításának szempontjából nagyon lényeges pont a hatékony hálózati infrastruktúra és a megújulók hálózatba integrálása. A koncepció becslései szerint a jövőben a termelés a tengeri és partmenti régiókban nagymértékben növekedni fog, emellett számos decentralizált erőmű – napelemek és biomassza – fog hozzájárulni a villamosenergia-ellátáshoz. A legsürgetőbb azonban az észak-déli hálózatok kiépítése, amelyek majd az északi szélfarmokon megtermelt villamos energiát a déli ipari – ezáltal fő fogyasztó – és nyugati országrészekbe szállítják, a lehető legkevesebb veszteség mellett (BMWi – BMU 2010). Jelenleg a német villamosenergia-hálózat 1,8 millió kilométer hosszú, ami 45× körbeérné a Földet, és a 80%-a felszín alatt fut. 1,6 millió km, tehát a rendszer legnagyobb része alacsony feszültségű hálózat, csupán 35 000 km hosszú az úgynevezett ultra nagyfeszültségű hálózat (UHV), amellyel Németország a szomszédos országokhoz csatlakozik, illetve ezen a vezetéken szállítódik a legnagyobb távolságokra az áram, akár az ország egyik végéből a másikba (LANG, M. 2013). A korábbi fejezetekben láthattuk, hogy a napelemek és a szélturbinák számának megoszlása pont ellentétesen, az ország északi, illetve déli felében összpontosul, ezért a Német Energiaügynökség számításai szerint a megfelelő ellátás biztosítása érdekében körülbelül 4 500 km új UHV-hálózat kiépítésére volna szükség, hogy növelni tudják a szélturbinák kapacitását (MORRIS, C. – PEHNT, M. 2012). Az új hálózatokon kívül intelligens terhelésszabályozásra is szükség van, hogy megbízható ellátást tudjanak nyújtani a felhasználóknak és elkerüljék az alul- és túlterhelést, ami áramszünetekhez és áramkimaradásokhoz vezethet. A kormánytervek egyik legfontosabb pontjaként a már meglévő hálózatok modernizálását említik (STRATMANN, K. 2012). Felmerült a gondolat, hogy a német vasút már meglévő 7 700 km hosszú felsővezetékeit is felhasználják, így továbbítva a

villamos energiát az ország különböző pontjaira, de az ötlet megvalósíthatósága egyelőre kétséges. A németek ugyanakkor nem csak kiterjedt, központi rendszerekben gondolkodnak, hanem nagy hangsúlyt fektetnek a decentralizációra is, ami egyre nagyobb teret nyer, ugyanis számos kis áramtermelő működik már az országban, akik a megtermelt villamos energiát a hálózatba táplálják. Ezzel pedig nagy kihívást jelentenek a rendszerstabilitás szempontjából, így még inkább szükségessé válik a hálózatok fejlesztése, stabilabbá tétele (BMWi — BMU 2012a).

2.1.3.1. SMART GRIDS

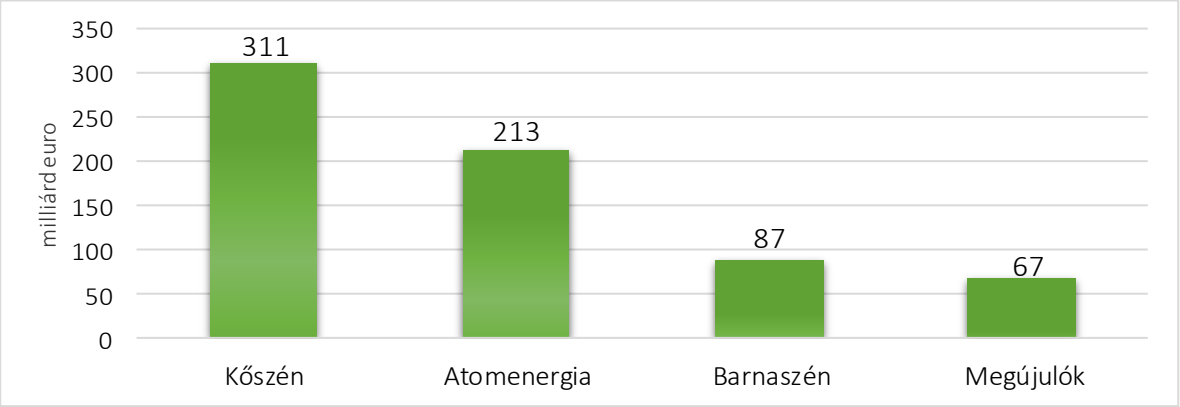
A villamosenergia-hálózat átalakításában különösen nagy szerepet kapnak az úgynevezett *smart grid*-ek, azaz az intelligens hálózatok. A német Energia- és Vízgazdasági Szövetség (BDEW) erről szóló tanulmánya alapján a smart grid egy olyan energiahálózat, amely információs és kommunikációs technológiák segítségével integrálja rendszerbe a vele kapcsolatban lévő piaci szereplők fogyasztási- és betáplálási szokásait gazdaságilag hatékony, fenntartható módon (AHLERS, E. et al. 2013). Az energiakoncepció kitér a kereslet-oldali menedzsment (Demand Side Management) fontosságára, amikor is a kínálathoz igazodik a kereslet, és nem fordítva (BMWi – BMU 2010). Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a fogyasztók nem csúcsidőben, hanem csúcsidőn kívül (például éjszaka vagy hétvégén) fogyasztanak több energiát, ezzel egyenletesebbé téve a napi fogyasztást. Az Energia- és Vízgazdasági Szövetség ütemterve szerint 2022-ig a már meglévő német elektromos hálózatot intelligens hálózatokká alakítanák. A folyamat végrehajtását 3 szakaszra osztották: előkészítő és úttörő- (2012-2014), tervezési- (2014-2018), illetve végrehajtási- és piaci szakasz (2018-2022) (AHLERS, E. et al. 2013). Az intelligens hálózatok kiépítésével felgyorsulhat a decentralizáció is, ugyanis a smart grid lehetőséget ad a kiserőművek hálózatra csatlakozására is, illetve a következő fejezetben részletesebben említésre kerülő Vehicle-to-Grid tárolási mód használatára.

2.2. MEGÚJULÓ ENERGIÁK FINANSZÍROZÁSA ÉS TÁMOGATÁSA

Az energiaátmenet kulcsfontosságú résztvevője maga a megújuló energia. A villamosenergia-termelésben és a primerenergia-felhasználásban is egyre nagyobb súllyal szerepel, és

Németország az eddigi összes megfogalmazott és kitűzött célját teljesítette a részarányokkal kapcsolatban. A kormány különféle törvényekkel és rendeletekkel igyekszik segíteni a további növekedést, ilyen például a már említett EEG (megújuló energia törvény), amely magában foglalja az EEG-, vagy más néven öko-illetéket, erről a későbbiekben még lesz szó bővebben. Kezdeményezték az úgynevezett KfW-Offshore programot, amelynek célja a tengeri szélenergia bővítése és fejlesztése és 5 milliárd euro támogatást különítettek el rá. Már 2009 óta létezik az EEWärmeG, ami az új építésű házaknál és — a 2011-es módosítás óta — a már meglévő középületeknél kötelezővé teszi, hogy a melegvíz-előállítás egy meghatározott aránya megújulók által történjen (BMU 2011). Az szabadon választható, hogy milyen módon és milyen megújuló erőforrás segítségével történik a meleg víz előállítása. Érdemes még megemlíteni a Megújuló Energia Exportkezdeményezést, amely egy 2002 óta létező kezdeményezés, és elősegíti a német megújuló energiaipar nemzetközivé válását, különös hangsúlyt fektetve a külkereskedelemre, éghajlatváltozásra és fejlesztési együttműködésekre.

A *10. ábra* megmutatja, hogy Németországban hogyan alakult a különféle energiahordozók állami támogatása 1970 és 2012 között. Ez idő alatt a legtöbb támogatást a kőszén kapta (összesen 311 milliárd eurót), majd ezt követte az atomenergia 213 milliárd euróval. Mivel a megújulók csak az 1990-es évek közepe óta részesülnek jelentősebb támogatásokban, ezért a jelenlegi 67 milliárd eurós össztámogatás jócskán elmarad a kőszén, az atomenergia és a barnaszén mögött (KÜCHLER, S. — MEYER, B. 2012).



10. ábra. Állami támogatások Németországban 1970 és 2012 között összesen. (KÜCHLER, S. — MEYER, B. 2012)

Amíg a megújulókra vonatkozó EEG-támogatás világosan megjelenik az áram árában, addig a szénre és az atomenergiára vonatkozó hozzájárulásokat egyrészt az állami költségvetésből, másrészt törvények segítségével fedezik, amik ugyanúgy növelik az áram árát, de ezek a fogyasztók számára már nem jelennek meg a villamosenergia-számlában. Ez pedig azt a téves benyomást keltheti, hogy a megújulókkal szemben a hagyományos energiahordozók sokkal megfizethetőbbek (KÜCHLER, S. — MEYER, B. 2012). Ez már csak azért sem igaz, mert a koránt sem elhanyagolható externális költségekről sokan megfeledkeznek.

Externáliának nevezzük, amikor egy gazdasági szereplő a tevékenysége következtében nem szándékosan, kompenzáció nélkül pozitív vagy negatív jóléti változásokat okoz egy másik gazdasági szereplőnek (KREWITT, W. — SCHLOMANN, B. 2006). Egy 2012-es német tanulmány szerint a villamosenergia-termelésben a legmagasabb externális költségekkel az atomenergia és a lignit rendelkezik. Míg utóbbi 10,7 cent/kWh-ba kerül, addig az atomenergia externális költsége 0,1-320 cent/kWh is lehet, az egy lehetséges atomkatasztrófával járó súlyos kiadások miatt (KÜCHLER, S. — MEYER, B. 2012). A dokumentum szerzői nem hisznek az úgynevezett „best guess”-ben, vagyis a legjobb becslésben, mégis a Német Környezetvédelmi Hivatal számításai nyomán az atomenergia átlagos externális költségét 10,7 cent/kWh-ban állapították meg, így az tehát a lignittel egyenértékű. A feketekőszén 8,9 cent/kWh-ba, a földgáz 4,9 cent/kWh-ba, míg a vízenergia és szélenergia csak 0,2-0,3 cent/kWh-ba, a napelemek pedig 1,2 cent/kWh-ba kerülnek (KÜCHLER, S. — MEYER, B. 2012). Minél magasabb az összeg, annál nagyobb szennyezéssel jár az adott erőmű vagy energiatermelő tevékenysége.

3. AZ ENERGIAÁTÁLLÁS – SZCENÁRIÓK 2050-IG

Hiába tart már évek óta a célok megvalósítása, Németország jelenleg is egy igen hosszú folyamat elején áll. A feladat hatalmas és sok időt vesz igénybe a végrehajtása - az egész energetikai rendszert új alapokra kell helyezni. Nem véletlenül olvashatóak a szakirodalomban és sajtóban az alábbi szalagcímek: "Holdra szállás Európa közepén", "az energiaátállás, mint történelmi jelentőségű feladat" vagy "Németország Európa óriási kísérleti laborja", és ezek a címek nagyon is hűen tükrözik a feladat súlyát. Az energiaátállás célja egy versenyképes energiapiac kialakítása, amely környezetbarát technológiákon alapszik és magas szintű jólétet és biztonságot nyújt anélkül, hogy a környezetet károsítaná, kihasználná vagy terhelné. Számos, már a korábbiakban is említett tanulmány készült a témában, amelyek mind arra tesznek javaslatokat, hogy hogyan lehetne 2050-re elérni a 100%-ban megújulók általi villamosenergia-termelést. Ezek közül én 3 tanulmányt választottam ki, amelyeket összehasonlítva bemutatom azok főbb pontjait, célkitűzéseit és lehetséges irányvonalait, kiemelve a különbségeket és az eltérő eredményeket, különös tekintettel a villamosenergia-termelésre. A 3 tanulmány a következő, amelyeket már a kutatástörténeti fejezetben is megemlítettem:

- Szövetségi Környezetvédelmi Hivatal (UBA): Energiacél 2050 (KLAUS, T. et al. 2010)
- Környezetvédelmi Tanácsadó Testület (SRU): 100%-ban megújuló villamosenergia-termelés 2050-re: környezetbarát, megbízható, megfizethető (FAULSTICH, M. et al. 2010)
- Greenpeace: B terv 2050 — Németország energiakoncepciója (BARZANTNY, K. et al. 2009)

Abban az összes tanulmány egyetért, hogy a megújuló energiáknak nincs alternatívája és hogy a 100%-os megújuló villamosenergia-termelés 2050-re reális cél. Az alábbi ábra összefoglalja a tanulmányok eredményeit és az általuk felvázolt lehetséges energiamixeket.

	UBA	SRU	Greenpeace
Szélenergia	64%	53%	54%
Napenergia	20%	15%	11%
Biomassza	2%	9%	10%
Környezeti hő	9%	19%	20%
Vízenergia	5%	4%	5%
Megújuló villamosenergia-termelés (összesen)	100%	100%	100%

1. táblázat. A 3 vizsgált tanulmány eredményeinek összehasonlítása. (BARZANTNY, K. et al. 2009; FAULSTICH, M. et al. 2010; KLAUS, T. et al. 2010 nyomán)

Az SRU számos szcenáriót vázolt fel, amiből én a könnyebb összehasonlítás kedvéért az 1.b jelölésűt választottam, mivel az csak német, tehát hazai villamosenergia-termelésre alapoz, míg a többi verzióban előfordulnak olyan lehetséges jövőképek is, mint például megosztani a villamosenergia-termelést Dániával vagy Norvégiával (FAULSTICH, M. et al. 2010). A legnagyobb szerepet a szélenergiának szánják, koncepciójuk szerint 51%-kal részesülne a 2050-es villamosenergia-termelésből. Ezen belül is a tengeri szélturbinákat helyeznék előtérbe; míg a szárazföldi szélturbinák csak 90,6 TWh-nyi energiát termelnének a tervek szerint, addig az offshore erőművek 316,9 TWh-nyit (FAULSTICH, M. et al. 2010). Érdemes megfigyelni, hogy míg jelenleg a környezeti hőnek igen csekély a részaránya az energiatermelésben, addig az SRU és a Greenpeace dokumentuma is igen nagymértékben számol vele. Az SRU 147,1 TWh-nyi energiát tervez környezeti hő által megtermelni 2050-re. A biomassza, és azon belül is a biogáz kevésbé jelentős szerepet játszik a tanulmányukban, ezzel ellentmondva a jelenlegi, már korábban bemutatott tendenciáknak, miszerint a biogáz egyre nagyobb teret hódít Németországban.

Az UBA tanulmányának érdekessége, hogy a szakértők nemcsak potenciált számoltak, hanem egyúttal arra is rávilágítottak, hogy a jelenlegi időjárási körülmények abszolút alkalmasak a 100% megújulóból termelt villamos energia előállítására (KLAUS, T. et al. 2010). Először egy olyan potenciált számoltak, ami már tartalmazza a legfontosabb korlátozásokat (védett vagy alkalmas területek, stb.), majd az így kapott számsort újrakalkulálták a 2006-2009 közötti átlagos időjárási adatokkal. Az így kapott értékek pedig magasan megfelelnek az ambiciózus

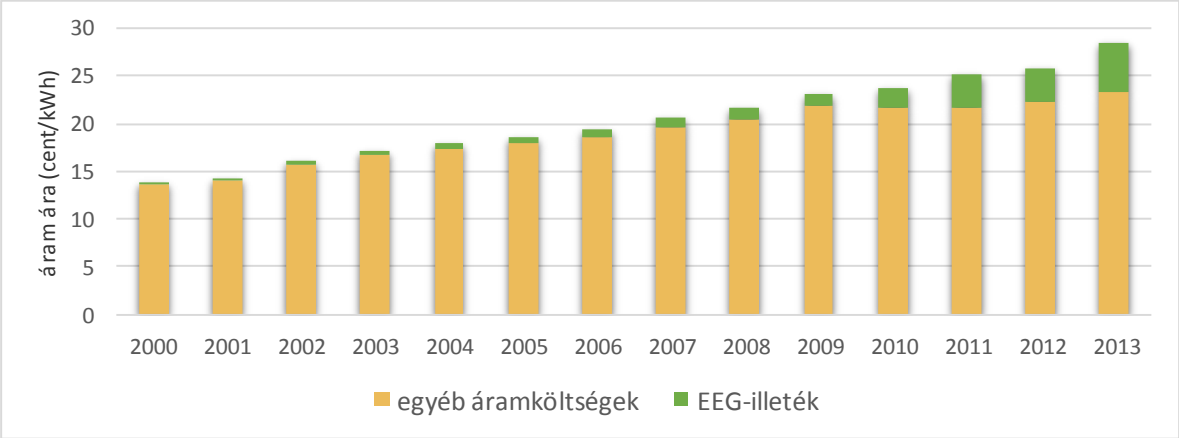
céloknak, a konvencionális erőforrások teljesen kiválthatók (KLAUS, T. et al. 2010). Az UBA szcenáriója adja a legnagyobb részarányt a szélenergiának, 64%-ot a teljes megújulós villamosenergia-termelésből. Ezen belül az offshore és onshore erőművek közti különbség nem olyan óriási, mint az előző esetben. A szárazföldi szélturbinák energiatermelése 170 TWh, a tengeri szélturbináké 177 TWh volna a tanulmány szerint 2050-ben (KLAUS, T. et al. 2010). A korábbiakban ismertetett szélenergia-potenciálhoz képest (*1.2. fejezet*) az UBA szakértői igen csekély, csupán 60 000 MW-os beépített kapacitással számolnak. A 3 dokumentum közül a napelem ebben kapta a legnagyobb szerepet 20%-kal (104 TWh). 1 620 km^2-nyi beépíthető felülettel kalkulálnak, amibe beletartoznak a tetők és az épületek homlokzatai is (KLAUS, T. et al. 2010). A biomassza szerepe ebben a tanulmányban a legelenyészőbb. Ennek oka, hogy az UBA szakértő szerint az energianövények több komoly problémát is okoznak, leginkább élelmezési- és földhasználati okokból eredően. Kizárják a jövőképükből az energiafű és az import biomassza felhasználását, és az egyéb biomassza használatát is korlátoznák. Bár csak igen kis mértékben, de engedélyeznék a hulladék biomassza erőművekben történő újrahasznosítását (KLAUS, T. et al. 2010).

A Greenpeace szakértőinek eredménye sok tekintetben hasonlít az SRU eredményeihez. Ők is a szélenergiát látják a legfontosabb megújulónak, az offshore erőművek 165 TWh-nyi, az onshore erőművek 90 TWh-nyi energiát termelnének az ő koncepciójuk szerint (BARZANTNY, K. et al. 2009). Kihasználatlan potenciálokat látnak a már említett repowering-ben. A régebbi, 2-3 MW-os szélturbinákat nagyobb, 5-6 MW teljesítményűre lehetne cserélni (BARZANTNY, K. et al. 2009). Szintén párhuzam vonható az SRU eredményeivel a már említett nagy részarányú környezeti hő-hasznosítás terén (20%), a Greenpeace szerint 93 TWh energiát termelhetnének a földhőt hasznosító erőművek 2050-ben (BARZANTNY, K. et al. 2009). Meglepő a napenergia viszonylag alacsony részaránya (11%). A tanulmány szerint a napelemek jövőbeli elterjedését és használatát nagyban befolyásolja majd a műszaki fejlődésük, különösen fontos a hatékonyságnövelés (BARZANTNY, K. et al. 2009). A biomassza tekintetében a Greenpeace véleménye az UBA szakembereiéhez közelít, ám jóval megengedőbb annál. A tanulmányban kiemelik, hogy ugyan a biomassza-felhasználás bővítésére szükség van, de csakis a természet- és környezetvédelmi kritériumok figyelembe vételével, illetve szintén említik az élelmiszerellátással és földhasználattal kapcsolatos aggályokat (BARZANTNY, K. et al. 2009).

Tehát mindhárom bemutatott tanulmány elképzelhetőnek és megvalósíthatónak tartja a 100%-osan megújulók általi villamosenergia-termelést 2050-re, így a kormány energiakoncepciója szerinti 80% elérése akár még visszafogottnak is mondható – ám mindenképpen reálisan teljesíthető cél.

4. Kihívások az energiafordulatban

Talán a leglényegesebb kérdés, hogy az eddig bemutatott célok és tervek milyen kihívásokat állítanak Németország elé, és miképpen tudják orvosolni az esetleges nehézségeket. Ugyanis látnunk kell azt, hogy egy ilyen nagyszabású energiapolitikai átalakítás nem mehet végbe problémamentesen. Az alábbiakban bemutatok párat azon kihívások közül, amelyek véleményem szerint a legfontosabbak és talán a legtöbb embert foglalkoztatják. Az első és legfontosabb kérdés, illetve amiről a legtöbb szakirodalom is szól, az az energiaárak növekedése. Az atomerőművek leállításával kétségtelenül nőttek a villamosenergia-árak, de azt sokan nem veszik figyelembe, hogy már az atomkivonás előtt, konkrétan 2000 óta folyamatosan nő az áram ára Németországban (*11. ábra*), és ennek csak egyetlen évben,



2010-ben volt az EEG a felelőse.

11. ábra. A lakossági áram árának változása Németországban 2000-2013 között. (BDEW 2013)

Ettől az évtől eltekintve viszont minden évben nőttek az EEG-illetéken kívüli egyéb áramköltségek. Míg 2000-ben a háztartások számára 13,94 cent/kWh-ba került a villamos energia, addig 2013-ban már 28,50 cent/kWh-ba (BDEW 2013). Az EEG-illeték az utóbbi években kétségtelenül hozzájárult az árak elrugaszkodásához, de mint azt láthatjuk, ettől függetlenül is tapasztalható az áremelkedés. Az illeték ellenben nagyon fontos, hiszen ezzel finanszírozzák a megújuló energiák elterjedését, vagyis a költségeket a végső fogyasztók között osztják szét. Jelenleg az illeték 5,27 cent/kWh, míg 10 éve, 2003-ban még csak

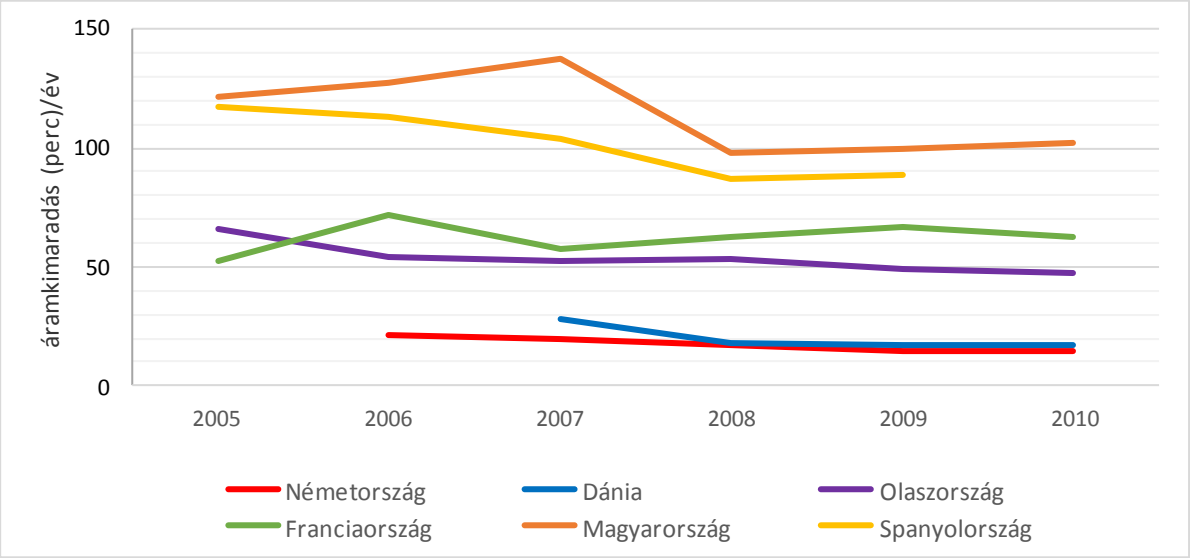
0,41 cent/kWh volt (BDEW 2013). Ám a kritikák, illetve kritikusok figyelmen kívül hagynak több fontos tényt. Egyrészt, minél nagyobb a megújulók részaránya a villamosenergia-termelésben, a jövőben annál alacsonyabb lesz az áram ára, hiszen a nap- vagy szélenergia ingyen van, nem kerülnek semmibe. Csak a megújulókat hasznosító rendszerek kiépítése jár költségekkel, ez zajlik jelenleg is, és ez az, ami még az árakat magasan tartja (FUßER, A. — GÜNTHER, R. 2012). Másrészt, ha a régi, hagyományos energiahordozókat felhasználó erőművek használatát folytatnák, akkor is magasak lennének az energiaköltségek, hiszen ezek az erőművek már öregek és elavultak, a karbantartásuk és fenntartásuk nagyon sok pénzt emésztene fel, amit minden bizonnyal ugyanígy, a végső fogyasztókkal fizettetnének meg és abban az esetben remény sem volna arra, hogy a közeli jövőben csökkenjen az áram ára (FUßER, A. — GÜNTHER, R. 2012).

Az energiaátmenet kritikusai bírálják, hogy a rengeteg fosszilis erőmű bezárásával munkahelyek szűnnek meg, az emberek elveszítik az állásaikat, ezért egyre kevesebben fognak az energiaiparban dolgozni. A valóság egészen más képet mutat. A megújuló energia-ipar már évek óta több munkavállalót foglalkoztat, mint a hagyományos energiaszektor, ahol 1991-ben még több mint 564 000 ember dolgozott, ám 2011-ben már csak 228 000 fő, aminek oka a szénbányák bezárása. Jelenleg a foglalkoztatottak fele a hagyományos energiaszektoron belül a villamosenergia-iparban dolgozik (BMWi — BMU 2012b). A megújuló energiaszektorban ezzel szemben 2011-ben 382 000 embert foglalkoztattak, 4%-kal többet, mint 2010-ben (BMWi — BMU 2012b), és ebből (2011-ben) 128 000 fő a napelem-iparban dolgozott, többségük Bajorországban (SOLARPRAXIS AG 2012). 2020-ra a becslések szerint már 600 000 fő fog az ágazatban dolgozni (összehasonlításképpen, jelenleg ennyi embert foglalkoztatnak az autóiparban), tehát közel megduplázódik a megújulós munkahelyek száma 9 év alatt (MORRIS, C. – PEHNT, M. 2012), arról nem is beszélve, hogy folyamatosan növekvő tendenciával számolnak, tehát a kritikusok félelme alaptalan a munkahelyek számának csökkenésével kapcsolatban.

Egy harmadik, igencsak vitatott téma az ellátásbiztonság és az áramszünetek kérdése. Mint azt korábban olvashattuk, az energiakoncepcióban nagyon fajsúlyos szerepet tölt be a villamosenergia-hálózatok fejlesztése, a megújulók integrálása és a smart gridek kiépítése. Mégis a német sajtóban és egyes publikációkban olykor az olvasható, hogy a német

villamosenergia-hálózat helyenként meglehetősen elavult és régi, nem bírja az egyre növekvő, megújulós beépített kapacitások által létrejövő terheléseket. Ezek az állítások nehezen férnek össze azzal a ténnyel, miszerint a német villamosenergia-hálózat Európa egyik legstabilabb, legbiztonságosabb hálózata (MORRIS, C. – PEHNT, M. 2012). A CEER (Európai Energiaszabályozók Tanácsa) által készített, szabványosított statisztika szerint 2011-ben a németek tudhatták magukénak Európa legmegbízhatóbb hálózatát. 2010-ben pedig egész évben összesen csupán 14,9 percig volt előre nem tervezett áramszünet a rendkívüli eseményeket nem számítva (*12. ábra*), ez szintén a legjobb eredménynek számít (CEER 2011).

A statisztikák alapján az az érdekes szabályszerűség is megfigyelhető, hogy minél nagyobb a megújulók részaránya egy országban, annál megbízhatóbb a hálózat. Ennek oka, hogy az adott országok igyekeznek minél korszerűbb hálózatot kiépíteni az integrálás megkönnyítésére, mint például Olaszországban vagy Spanyolországban, így ezekben az országokban is javult a megbízhatóság (amit jól mutat a *12. ábra*), mióta nagyobb a megújuló energiaforrások aránya a villamosenergia-termelésben (MORRIS, C. – PEHNT, M. 2012). A problémát Németország esetében ellenben az okozhatja, hogy a kormány készített egy listát az úgynevezett „sürgősségi vonalakról", amelyeket a célok teljesítése érdekében mihamarabb létre kell hozni.



12. ábra. Nem tervezett áramkimaradások a választott országokban, a rendkívüli események kivételével (perc/év). (CEER 2011)

1 900 kilométernyi különösen fontos vezeték kiépítésére volna szükség, amiből napjainkban mindössze körülbelül 200 km készült el. Ennek legfőbb oka a helyi ellenállás, vagyis a lakosság nem egyezik bele, hogy ilyen nagyfeszültségű vezetékek épüljenek a közvetlen lakókörnyezetükben. További hátráltató tényező még a bürokrácia és a finanszírozási problémák is (MORRIS, C. – PEHNT, M. 2012).

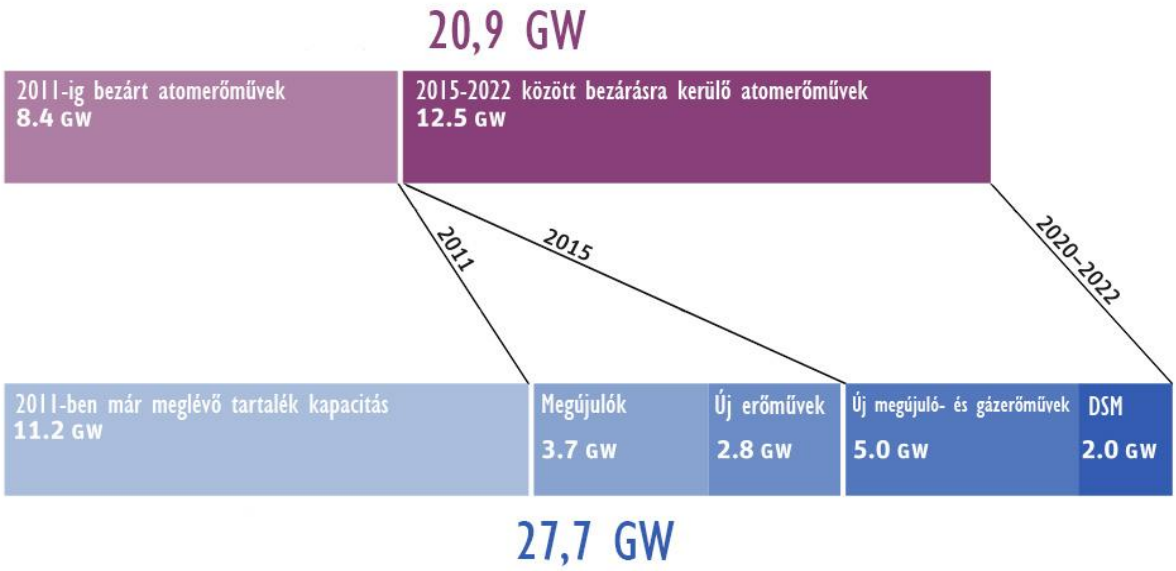
Elgondolkodtató kérdéseket vethet fel az erőforrások szűkös rendelkezésre állása. Ez azt jelenti, hogy bár Németország a megújulókban és az azokra épülő technológiákban látja a jövőt és kiutat, mégis előfordulhat, hogy egyes ehhez szükséges alapanyagok, illetve természeti erőforrások nem lesznek elegendőek a célok teljesítéséhez. Napelemek tekintetében aggályokat leginkább a szilícium elérhetősége vethet fel, hiszen a szilícium alapú napelemeknek ez a fő alkotóeleme. Ám a szakirodalmak és egy korábbi egyetemi tanulmányunk alapján a napelemek elterjedését és számuk további gyarapodását a szilícium nem fogja akadályozni, hiszen széles körben elérhető és nagy mennyiségben áll rendelkezésre a természetben, ugyanis a Föld második leggyakoribb eleme (KOVÁCS K. — CSOMA D. 2011). A szélturbinák sokkal robosztusabbak, legyártásuk igen komoly energia- és anyagigénnyel jár, aminek költségeit később a működésük során többszörösen visszatermelik. A legfőbb felhasznált alapanyaguk az acél (a gyártás 90%-át ez teszi ki), amiből a torony, gondola, rotor és egyéb fontos alkatrészek készülnek. Ez esetben szerencsésnek mondható az ágazat, hiszen az acél kiválóan, akár 100%-ban újrahasznosítható, így a vasérc esetleges szűkössége ilyen módon kiküszöbölhető. Külön kiemelendő, hogy az újrahasznosítás és a repowering összekapcsolható, hiszen akár a leselejtezett turbinák alkatrészeiből már egyúttal le is lehet gyártani az újakat (ALBERS, H. et al. 2009). Az elektromos autók legfontosabb alkatrésze a lítium-ionos akkumulátor, amely a világ egyik leghatékonyabb akkumulátora, ugyanis remek villamosenergia-tárolási képességekkel rendelkezik. Ebben az esetben valójában nem a készletek szűkössége okozhat gondot a jövőben, hanem az a tény, hogy a világ gazdaságosan kitermelhető lítium-készletének 75%-a Chilében található, amivel a piac nagy részét a kezében tartja, ráadásul egyre növekszik iránta a kereslet, ami áremelkedést vonhat maga után, jelentősen növelve a már eleve sem olcsó elektromos autók árát. Így elképzelhető, hogy a jövőben csak állami támogatás segítségével terjedhetnek el ezek a környezetbarát és hatékony járművek, bár fontos megjegyezni, hogy a tudomány és technika fejlődésével

jelentősen csökkenthetővé válhat a lítium-szükséglet, ezzel pedig a korlátozó tényezők mérséklődhetnek (KOVÁCS K. — CSOMA D. 2011).

ÖSSZEFOGLALÁS

Dolgozatomban bemutattam a német energiaátállás folyamatát, annak eszközeit, céljait és eddig elért, sokszor grandiózus eredményeit. Németország vállalásai egyáltalán nem nevezhetők a valóságtól elrugaszkodottnak, sőt, teljesen reálisak. A dolgozat rámutatott arra a tényre, hogy kellő elszántsággal, jól kidolgozott és határozott energiakoncepcióval, és persze erős gazdasági háttérrel véghez lehet vinni a nagy ívű vállalásokat. A részletesebben is bemutatott 3 alternatív energiakoncepció is azt a tényt erősíti, hogy kivitelezhető a teljes átállás a megújulókra. De amire a német eredmények talán a legjobban rámutatnak, az az, hogy az energiaátállás gyakorlatilag bármelyik másik országban is elérhető, hiszen a szemléletmódbeli változásokhoz nincs szükség másra, mint az emberek gondolkodásának megváltoztatására, ami az egész energiaátállás alapjának tekinthető – ugyanakkor talán a legnehezebb feladat is egyben, de kellő ösztönzéssel és segítséggel elérhető a kézzelfogható változás. Véleményem szerint a hozzáállásunk, gondolkodásmódunk megváltozatása nagyobb és fontosabb feladat a technikai kihívásoknál. Németországban ezt a különösen jelentős feladatot véghez tudták vinni a történelmi múltból eredő nehézségek ellenére is, az 1990 után újraegyesített ország szinte a nulláról indult neki annak a hatalmas fejlődési pályának, ami a dolgozat lapjain bemutatásra került. Az emberek álláspontja a passzív szemlélőből fokozatosan alakult át aktív résztvevővé, hála a különféle, dolgozatomban is bemutatott ösztönzőknek. Mi sem példázza ezt jobban, mint hogy 2010-ben a megújulós beépített kapacitás (53 GW) 51%-a magánszemélyek és gazdák tulajdonában volt (MORRIS, C. – PEHNT, M. 2012). A német lakosság sokkal elégedettebb a megújulókkal, mint a hagyományos, fosszilis energiahordozókat hasznosító erőművekkel. Sokkal szívesebben élnek napelemek, biomassza-üzemek és szélturbinák közelségében, mint egy széntüzelésű erőmű vagy atomerőmű mellett, és jobban is támogatják a zöldenergiát hasznosító technológiák elterjedését. A lakosság 65%-a támogatja a megújulók elterjedését, ezen belül leginkább napelemeket szeretnék minél többet látni az országban, 76%-os a támogatottsága (MORRIS, C. – PEHNT, M. 2012).

A *13. ábra* az eddig bemutatott és részletezett számadatokat teszi számunkra átláthatóbbá, jobban értelmezhetőbbé. Az már első ránézésre látszik, hogy a megújulók, az új és hatékony gázerőművek, illetve a keresletoldali szabályozás (DSM) kiépítése és megvalósítása beépített kapacitás terén meghaladja az atomerőművek kapacitását (MORRIS, C. – PEHNT, M. 2012). Habár 2011 és 2015 között nem terveznek atomerőmű-bezárást, mégis az idő alatt 6,5 GW új kapacitást építenek ki megújulókból és gázerőművekből.



13. ábra. Az atomenergiát kiváltó kapacitások 2011 előtt és 2011-2022 között. (Morris, C. – Pehnt, M. 2012)

Az ábra 2022-ig jelzi előre a változásokat, tehát még 10 év sem kell ahhoz, hogy a megújulók kiváltsák az atomenergiát. Ennél is tovább megy egy amerikai kutató, akinek véleménye szerint ha Németország megismétli az elkövetkezendő 3 évben a 2011-ben véghezvitt megújulós kapacitásnövelést, akkor 2014-ig teljesen fedezhetik a fukushimai katasztrófa előtti atomenergia-termelést (LOVINS, A. 2013). Tehát ezek, és a dolgozatban bemutatottak alapján biztosra vehető, hogy létezik atomenergia nélküli villamosenergia-termelés egy olyan erősen iparosodott országban is, mint Németország. És bár a hosszú út végére csak igen sokára fognak elérni, de a dolgozatban ismertetett számadatok már most jelzik nekünk, hogy a németeknek minden esélyük megvan elérni a kitűzött célokat, vagy egyes esetekben akár még

túl is szárnyalni azokat. Hiszen ahogy azt a különféle alternatív szcenáriók alapján is láthattuk, a kormány ambiciózus céljait felül is lehet múlni, ugyanis az országban megvan rá a potenciál, csak élni kell vele, és segítő szándékú, szakértői útmutatásból nincs hiány. Németország már most, alig pár évvel az atomerőművek bezárása és az energiakoncepció megszületése után óriási dolgokat vitt véghez. Elég csak a napelemek számának kirobbanóan gyors növekedésére vagy a biogáz térnyerésére gondolni, mindkét esetben szinte a semmiből jutottak el a mai szintre, ami már önmagában véve is hatalmas teljesítmény. Németország Európa faltörő kosa, amely olyan kövezetlen utakat jár be, amelyeket előtte még soha senki. És ha nem térnek le erről az útról, akkor rövidesen megmutatják Európának, hogy hogyan alapozza egy közel 82 millió fős, korábban jelentős atomenergia-felhasználó ország szinte a teljes gazdaságát a megújuló energiákra.

FELHASZNÁLT IRODALOM

AEE (2012): Bundesländer mit neuer Energie - Jahresreport Föderal-Erneuerbar 2011/12. – Agentur für Erneuerbarer Energien, Berlin. p. 33

AEE (2013): Installierte Leistung Photovoltaik 2012. – Agentur für Erneuerbare Energien, Berlin.
(http://www.foederal-erneuerbar.de/uebersicht/bundeslaender/BW|BY|B|BB|HB|HH|HE|MV|NI|NRW|RLP|SL|SN|ST|SH|TH|D/kategorie/solar/auswahl/183-installierte_leistun/#goto_183)

AGEB (2012a): Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 2011. – Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V., Berlin. p. 12

AGEB (2012b): Energieflussbild 2011 für die Bundesrepublik Deutschland in Petajoule. – Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V., Berlin.
(http://www.ag-energiebilanzen.de/viewpage.php?idpage=21&viewpic=1349445651.jpg)

AGEB (2013): Bruttostromerzeugung in Deutschland von 1990 bis 2012 nach Energieträgern. – Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V., Berlin.
(http://www.ag-energiebilanzen.de/viewpage.php?idpage=65)

AGEE-STAT ()2013: Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. – Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik, c/o Zentrum für Sonnenenergie-und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg, Stuttgart. p. 41

AHLERS, E. — ANIOL, Y. — SCHOLZ, B. (2013): BDEW-Roadmap - Realistische Schritte zur Umsetzung von Smart Grids in Deutschland. – Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., Berlin. p. 71

ALBERS, H. – GREINER, S. – SEIFERT, H. – KÜHNE, U. (2009): Recycling of Wind Turbine Rotor Blades - Fact or Fiction? — DEWI Magazin No. 34, 2009/2. pp. 32-41.

ANTON, C. — STEINICKE, H. (2012): Bioenergie: Möglichkeiten und Grenzen. – Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, Halle. p. 56

BARZANTNY, K. — ACHNER, S. — VOMBERG, S. 2009: Klimaschutz: Plan B — Energiekonzept für Deutschland. – Greenpeace e.V., Hamburg. p. 154

BDEW 2013: Erneuerbare Energien und das EEG: Zahlen, Fakten, Grafiken 2013. – Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V., Berlin. p. 79

BMELV 2012: Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe. – Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Berlin. p. 40

BMU 2012: Moving forward with renewed energy. – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin. p. 32

BMWi — BMU 2010: Energy Concept for an Environmentally Sound, Reliable and Affordable Energy Supply. – Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Berlin – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin. p. 37

BMWi — BMU 2012a: Energiewende auf gutem Weg. – Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Berlin – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin. p. 17

BMWi — BMU 2012b: Erster Monitoring-Bericht „Energie der Zukunft“. – Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Berlin – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin. p. 132

BMWi 2012: Germany’s new energy policy - Heading towards 2050 with secure, affordable and environmentally sound energy. – Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Berlin. p. 55

BODE, S. 2009: Nucs down in Germany - Prices up in Europe? — Energy Policy 37. pp. 2492-2497.

BOFINGER, S. —CALLIES, D. —SCHEIBE, M. —SAINT-DRENAN, Y. —ROHRIG, K. 2011: Potenzial der Windenergienutzung an Land — Kurzfassung. Bundesverband WindEnergie e.V., Berlin. p. 24

BUCHAN, D. 2012: The Energiewende - Germany’s gamble. – Oxford Institute for Energy Studies, Oxford. p. 38

CEER (2011): 5th CEER Benchmarking Report on the Quality of Electricity Supply 2011. – Council of European Energy Regulators, Brussels. p. 260

CHOUDHURY, N. (2012): German government finalizes feed-in tariff (http://www.pv-tech.org/news/german_government_finalizes_feed_in_tariff)

DBFC (2012): Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse. – Deutsche BiomasseForschungsZentrum, Leipzig. p. 120

DEMETER K. (2012): A PA Zrt. 2011. évi villamos energia termeléséhez kapcsolódó jellemző adatok. — Elektrotechnika: a Magyar Elektrotechnikai Egyesület hivatalos lapja, 2012/01. pp. 27

EPIA (2012): Global Market Outlook for Photovoltaics until 2016. – European Photovoltaic Industry Assotiation, Brussels. p. 76

EPIA 2013: Market report (2012). – European Photovoltaic Industry Assotiation, Brussels. p. 7

EurObserv'ER 2012: Biogas Barometer. – Systèmes Solaires Le Journal Des Énergies Renouvelables N° 212. p. 7

Fachverband Biogas (2012): Biogas kann's - Energie für Bayern. – Fachverband Biogas e. V., Freising. p. 9

Faulstich, M. — Foth, H. — Calliess, C. — Hohmeyer, O. — Holm-Müller, K. — Niekisch, M. — Schreurs, M. (2010): 100% erneuerbare Stromversorgung bis 2050: klimaverträglich, sicher, bezahlbar. – Sachverständigenrat für Umweltfragen, Berlin. p. 447

Ferreira, S. (2010): Case 5 - Investing 1 million Euros into higher efficiency motors or wind turbines. — In: Ferreira, S. 2010: Evaluating Environmental Performance in Low Carbon Energy System. – European Copper Institute - Leonardo ENERGY Program. pp. 33

Fischer, S. – Geden, O. (2011): Die deutsche Energiewende europäisch denken. – SWP-Aktuell 2011/47, Berlin. 4 p.

FNR (2012): Biogas. – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., Gülzow-Prüzen. p. 44

Fußer, A. — Günther, R. 2012: Mythen und Fakten zur Rolle der erneuerbaren Energien in der Energiewende. – WWF Deutschland, Berlin. p. 17

Graaf, D. — Fendler, R. 2010: Biogas production in Germany. – Federal Environment Agency, Dessau-Rosslau. p. 29

Grotz, C. — Jensen, B. — Schroth, G. 2009: Repowering von Windenergieanlagen - Effizienz, Klimaschutz, regionale Wertschöpfung. – Bundesverband Windenergie e.V., Berlin. p. 20

Kirchner, M. — Matthes, F. et al. 2009: Modell Deutschland - Klimaschutz bis 2050. – WWF Deutschland, Frankfurt a.M. p. 533

Klaus, T. —Vollmer, C. —Werner, K. —Lehmann, H. —Müschen, K. 2010: Energieziel 2050: 100% Strom aus erneuerbaren Quellen. – Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. p. 196

Kovács K. — Csoma D. 2011: Az energetikai rendszerváltás nehézségei a természeti erőforrások szűkösségének szempontjából. — In: Munkácsy B. (szerk.): Erre van előre! Egy fenntartható energiarendszer keretei Magyarországon. Környezeti Nevelési Hálózat Országos Egyesület, Szigetszentmiklós. pp. 137-145.

Krewitt, W. — Schlomann, B. 2006: Externe Kosten der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Vergleich zur Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern. – Deutsches Zentrum

für Luft- und Raumfahr, Stuttgart – Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung, Karlsruhe. p. 59

KUHBIER, J. 2007: Offshore wind power in Germany. – Prezentáció, Berlin. p. 8

KÜCHLER, S. — MEYER, B. 2012: The full costs of power generation — A comparison of subsidies and societal cost of renewable and conventional energy sources. Bundesverband WindEnergie eV., Berlin. p. 20

KWIATKOWSKA-DROŻDŻ, A. – MAZUR, K. 2012: The expensive energy revolution in Germany - The implementation of the Energiewende is behind schedule. – OSW Commentary, Issue 77. 2012/5/10. p. 8

LANG, M. 2011: BMU and KfW Launch EUR 5 Billion Offshore Wind Programme (http://www.germanenergyblog.de/?p=6484)

LANG, M. (2013): BDEW: German Electricity Grids 1.8 Million km (http://www.germanenergyblog.de/?p=12807) letöltés: 2013.04.29.

LOVINS, A. (2013): Germany's Renewables Revolution. – Rocky Mountain Insitute. (http://blog.rmi.org/blog_2013_04_17_germanys_renewables_revolution)

MEYER, R. (2011): Industry Report 2011 - Offshore wind power market Germany. – Windenergie Agentur WAB, Bremerhaven. p. 26

MORRIS, C. – PEHNT, M. (2012): Energy Transition - The German Energiewende. – Heinrich Böll Stiftung, Berlin. p. 83

MUNKÁCSY B. (2010): A területi tervezés szorításában - A szélenergia-hasznosítás hazai lehetőségei, in: Területfejlesztés és Innováció 4. 2., pp. 20-27

MUNKÁCSY B. (2011): Napenergia. — In: MUNKÁCSY B. (szerk.): Erre van előre! Egy fenntartható energiarendszer keretei Magyarországon. Környezeti Nevelési Hálózat Országos Egyesület, Szigetszentmiklós. pp. 78-86.

NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM (2012): Biogas in Niedersachsen - Entwicklung, Stand und Perspektiven. – Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz und Landesentwicklung, Hannover. p. 28

NITSCH, J. (2008): Further development of the “Strategy to increase the use of renewable energies” within the context of the current climate protection goals of Germany and Europe. – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin. p. 188

SCHLESINGER, M. — LINDENBERGER, D. — LUTZ, C. et al. (2010): Energieszenaren für ein Energiekonzept der Bundesregierung. – Prognos AG, Basel – Energiewirtschaftliches Institut

an der Universität zu Köln, Köln – Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH, Osnabrück. p. 267

SCHMID, J. — HAUER, D. — SCHMIDT, D. — SCHMIDT, M. — STAIß, F. — STADERMANN, G. — STEINER, M. — STRYI-HIPP, G. (2010): Energiekonzept 2050 - Eine Vision für ein nachhaltiges Energiekonzept auf Basis von Energieeffizienz und 100% Erneuerbaren Energien. – ForschungVerbund Erneuerbare Energien c/o Helmholtz-Zentrum, Berlin. p. 72

SHAHAN, Z. (2012): Top Solar Power Countries (Per Capita, Per GDP, Per TWh of Electricity Produced, & in Total) (http://cleantechnica.com/2012/06/12/top-solar-power-countries-per-capita-per-gdp-per-twh-of-electricity-produced-in-total)

SOLARPRAXIS AG (2012): Solarenergie in Deutschland. – Solarpraxis AG, Berlin. p. 160

STRATMANN, K. (2012): Neue Netze braucht das Land. (http://www.handelsblatt.com/politik/deutschland/energiewende-neue-netze-braucht-das-land/6689202.html)

WALLASCH, A. – EKKERT, M. – REHFELDT, K. (2013): Status des Windenergieausbaus in Deutschland. – Deutsche WindGuard GmbH, Varel. p. 10

WENZEL, B. – NITSCH, J. (2010): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Stuttgart – Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES), Kassel – Ingenieurbüro für neue Energien (IFNE), Teltow. p. 60

WHITNEY, L. (2010): SunPower unveils more efficient solar panels. (http://news.cnet.com/8301-11128_3-20003973-54.html)

WINTER, C. (2011): After nuclear has gone - Energy in Germany. — International journal of hydrogen energy, 37. pp. 1-5.

ZIESING, H. (2013): Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2012. – Arbeitsgemeinschaft Energie bilanzen e.V., Berlin. p. 41

TÓTH T. PÉTER

Győr-Moson-Sopron megye szélenergia-termelés potenciáljának vizsgálata térinformatikai módszerekkel

BEVEZETÉS

A szélenergia szerepe a jövő energiagazdálkodásában igen lényeges lesz. Éppen ezért fontos látni az ebben rejlő lehetőségeket. A térinformatikai elemzés nélkül készített korábbi szélenergia-potenciál elemzésekről, becslésekről (így például a megye energetikai és környezetvédelmi terveiben foglaltakról) bebizonyosodott, hogy sok tekintetben igen pontatlan eredményeket adtak. A térinformatika megjelenésével azonban már elkészülhettek olyan tanulmányok (MUNKÁCSY B.- KOVÁCS G.- TÓTH J. 2007; MUNKÁCSY B. – BORZSÁK S. 2008; MUNKÁCSY B. 2010), amelyek lényegesen pontosabb eredményeket közöltek a szélturbinák hazai telepíthetőségéről. Jelen tanulmány keretében közöljük legújabb térinformatikai módszerek segítségével számított eredményeinket az egyik leginkább frekventált térség, Győr-Moson-Sopron szélenergia-potenciálját illetően.

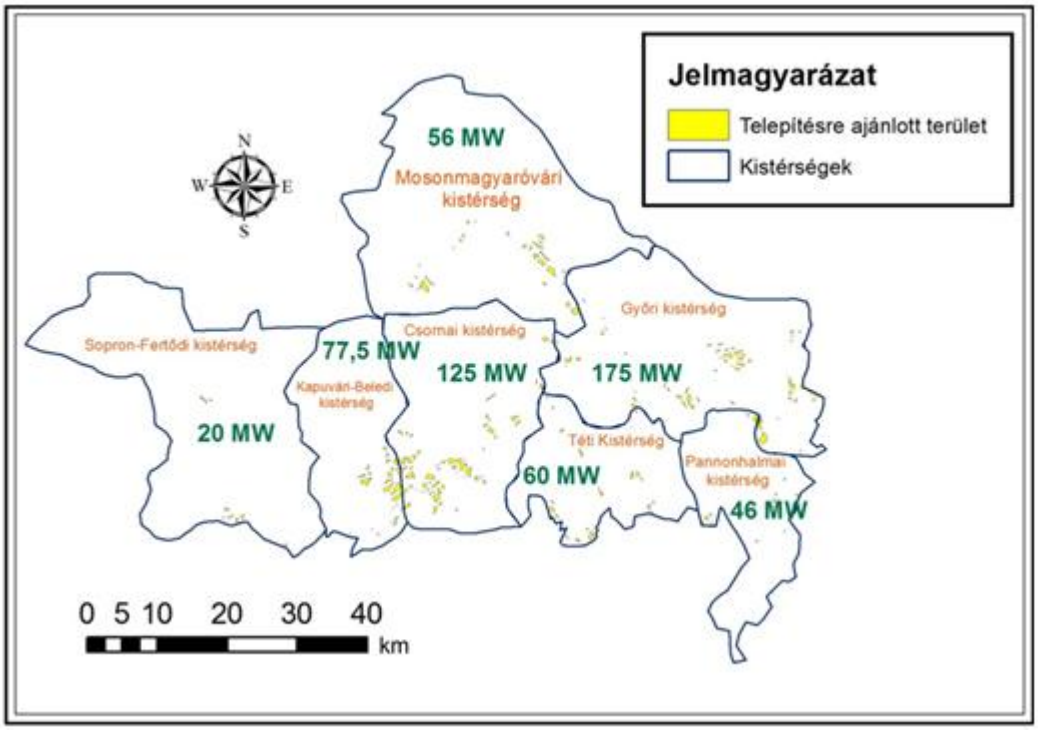
1. A SZÉLENERGIA IPAR HELYZETE ÉS JÖVŐKÉPE HAZÁNKBAN

A szélenergiát illetően – a világban lezajlódó gyors növekedési folyamatokkal szemben – Magyarországon évek óta stagnálás mutatkozik. Európában az elmúlt években olyannyira dinamikus növekedés ment végbe, hogy már 2005-re elérték a 2010-re kitűzött 40 GW-t kapacitást. Jelenleg a módosításokat követően 2020-ra 180 GW az elérendő cél. Ez azt jelentené, hogy az összenergiatermelésnek körülbelül a 12%-a lenne fedezhető a szél segítségével. (GÁCS I. et al. 2009). Hazánkban ezzel szemben egyelőre ott tartunk, hogy az általános vélekedés szerint mérlegelni kell a szélerőművek célszerűségét és fejlesztését (LOVAS

R. 2010). A dokumentum újabb vizsgálatok elvégzését helyezte kilátásban, amely segítségével meg lehet bizonyosodni arról, hogy valóban megéri-e a szélenergia-termelés a Kárpát-medencében.

2. Potenciálbecslés térinformatikai eszközökkel

Győr-Moson-Sopron megye már eddig is fő célterülete volt a szélenergia-fejlesztéseknek, de vajon mekkora potenciál van még a megyében? A vizsgálathoz alapul elsősorban a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium (KvVM; 2005) által kiadott tájékoztató és a VÁTI Magyar Regionális Fejlesztési és Urbanisztikai Kht. által kiadott (2007) tanulmány, a számítások elvégzéséhez pedig az ArcGIS nevű program legfrissebb verziója szolgált.



1. ábra: A szélerőmű-kapacitások technikai potenciálja és a jogszabályi környezet által nem kizárt helyszínek területi elhelyezkedése Győr-Moson-Sopron megye kistérségeiben

Ha az egész megye lehetőségeit vesszük figyelembe, akkor 1% alatt marad a jogszabályi korlátozások által nem érintett terület, amit teljes mértékben kihasználva 559,5 MW névleges

teljesítmény telepítését tenné lehetővé. Ha figyelembe vesszük, hogy jelenleg Magyarországon 329,325 MW-nyi szélerőmű van telepítve, akkor a kapott érték jelentősnek mondható, és mindenképpen érdemes ezekkel a területekkel nem csak elméleti síkon számolni.

Hangsúlyozni kell ugyanakkor, hogy ezek csak a jogszabályok alapján telepítésből nem kizárt területek, és pontosabb lokális vizsgálatok (pl. szélsebességmérés) elvégzése szükséges ahhoz, hogy megtudjuk, a fentiek közül vajon melyek a telepítésre legalkalmasabb területek. Mindazonáltal figyelemreméltó, hogy hazánk szélben leggazdagabb területén ilyen drasztikus a különböző korlátozó tényezők hatása.

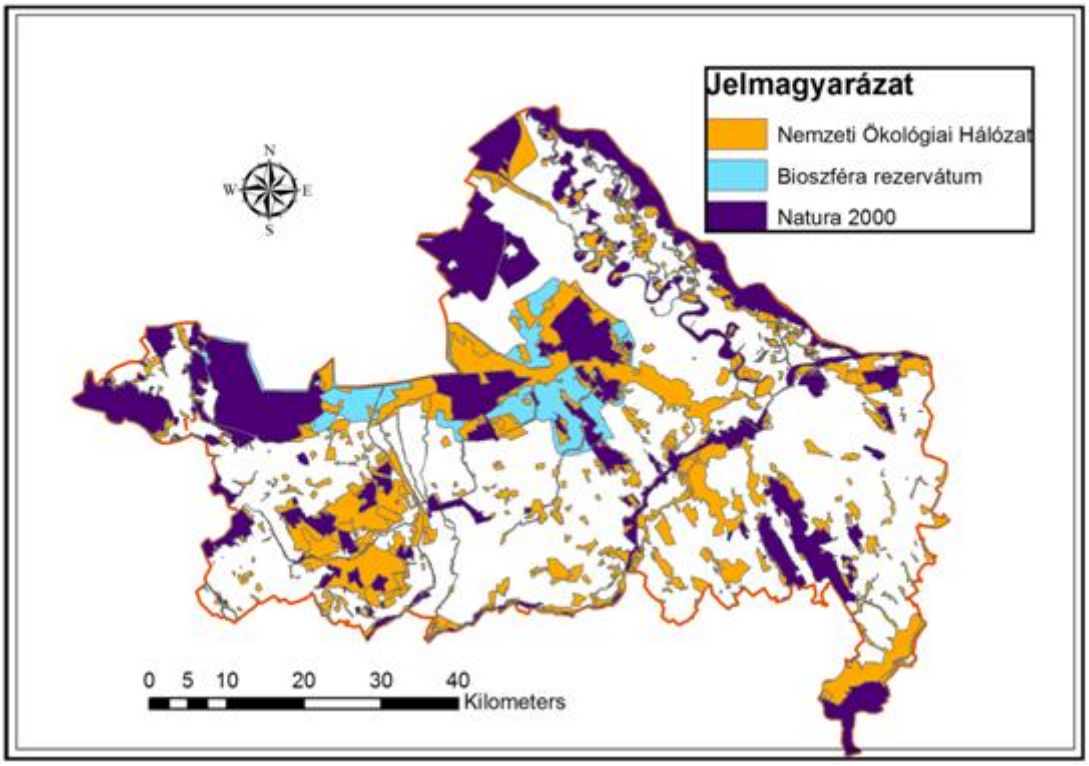
Az elemzés eredményeként kapott mintegy 560 MW teljesítmény különösen abból a szempontból tűnik érdekesnek, hogy más, hasonló adottságú európai térségre jellemző, tehát a gyakorlatban már megvalósult egységnyi területre jutó turbinateljesítmény – 0,16 MW/km^2 (Németország Brandenburg tartománya) (ENDER, C. 2012) – figyelembe vételével Győr-Moson-Sopron megyében 653,3 MW szélerőmű-kapacitás volna kiépíthető!

A Sopron-Fertődi kistérség messze a legkisebb értéket kapta a megyében. Ez különösen abban a megvilágításban érdekes, hogy a térségben jelenleg is működő turbinák kapacitása meghaladja a szigorú térinformatikai elemzés eredményeként kapott értéket, illetve az is elgondolkodtató, hogy így ezek a berendezések olyan helyszínekre kerültek, ahol a fenti szabályozási dokumentumokban foglaltak szigorú érvényesítésével ez nem lett volna engedélyezhető. A Kapuvári-Beledi kistérség és a Csornai kistérség esetében – pár kisebb területet leszámítva a délkeleti oldalon – a kistérségek határán vannak nagyobb kapacitás elhelyezésre alkalmas zónák. A Mosonmagyaróvári kistérség nagyon gazdag természeti értékekben, ezért számos területet kizárt az elemzés, így például a Szigetközi Tájvédelmi Körzetet, ami 10 787,8 ha–os területnek biztosít védelmet. A kistérség keleti oldalán számos Natura 2000-es terület van, illetve a Nemzeti Ökológia Hálózat is behálózza a vidéket. A környék nagyon gazdag vizekben, a Mosoni-Duna meanderezése folytán geomorfológiai értékek is keletkeztek. Ugyanakkor a közlekedési és az energiahálózat kiépítettsége megfelelő, illetve magasabb rendű utak is átszelik a régiót. A Győri kistérség esetében a lehetőségek maximális kihasználásával mintegy 70 darab turbina építésére van lehetőség. Ez a szám azért ilyen magas, mert sok kisebb terület csatlakozik a nagyobbak mellé, melyek kellő távolságra

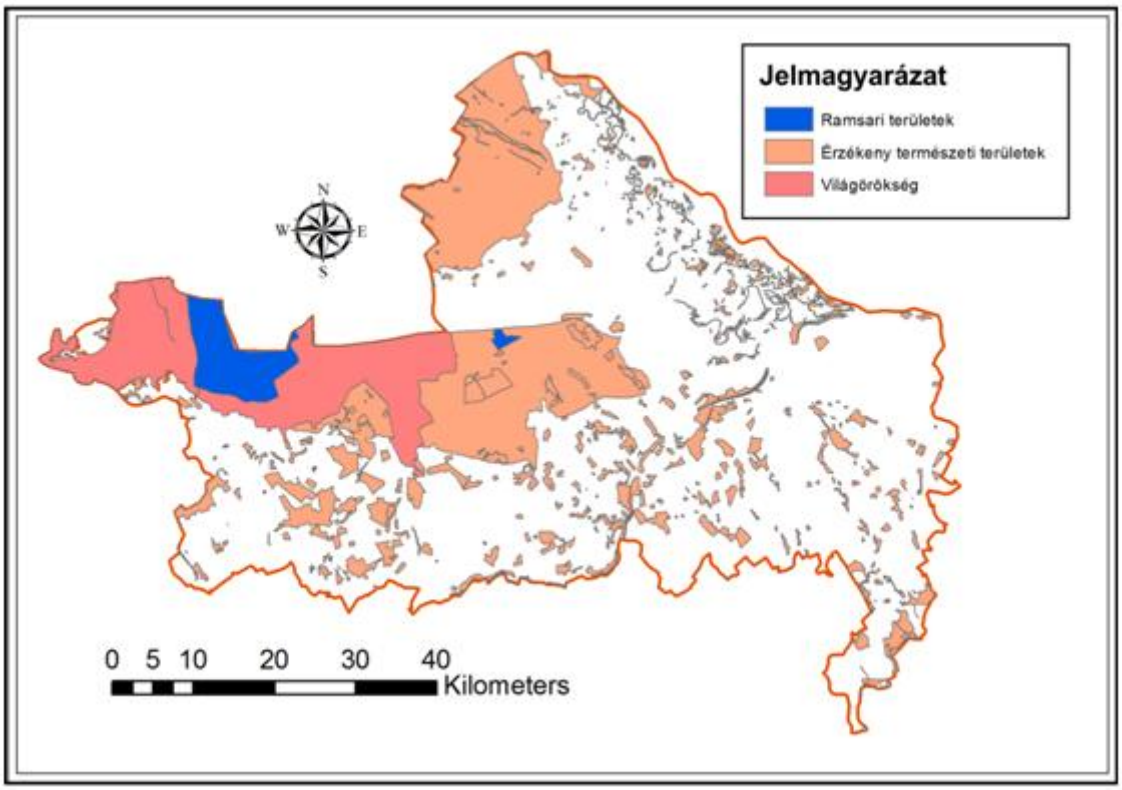
vannak egymástól ahhoz, hogy ne érvényesüljön a „park” hatás. A Téti és a Pannonhalmai kistérségben teljesen elszórtan helyezkednek el azok a területek ahol a jogszabályok jelenleg nem zárják ki turbinák telepítését.

2.1 Kizárt területek áttekintése

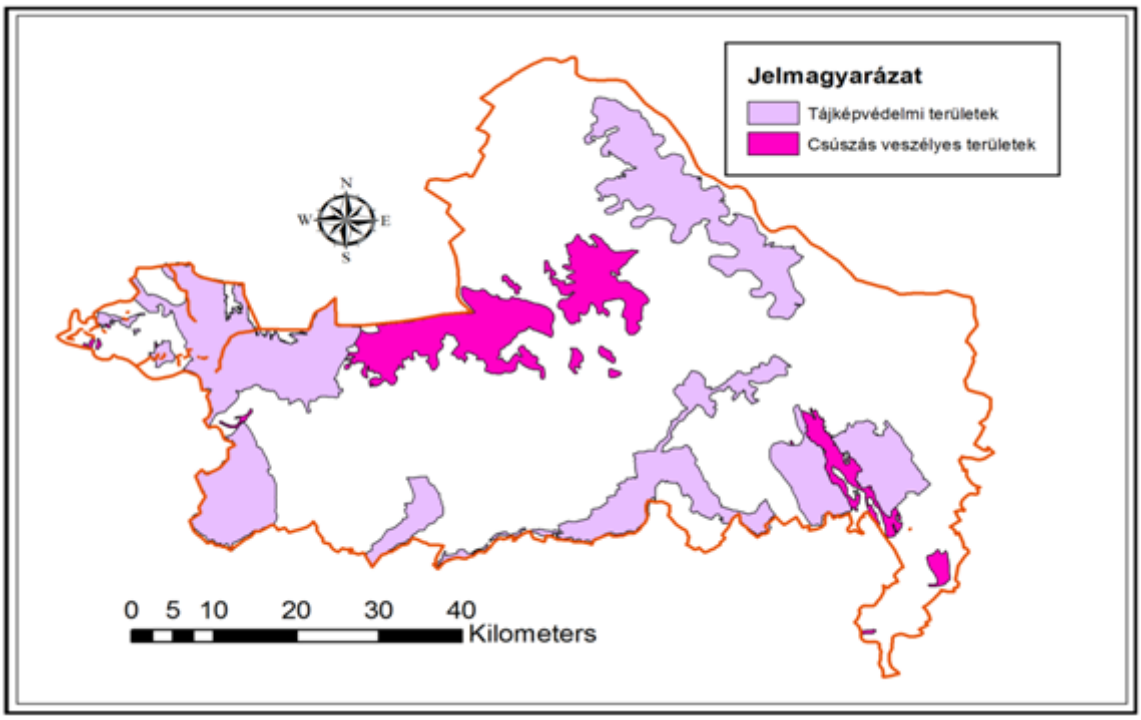
A *2.,* a *3.* és a *4. ábrán* láthatóak azok a jelentősebb kiterjedésű területek amelyeket a jogi szabályozás alapján kizárandó területek közé sorolhatunk. Az elemzés eredményeképpen elkészített térkép felhívja a figyelmet arra, hogy a közeli jövőben felül kell vizsgálni a hatályos jogszabályokat, amik elemzésünk szerint jelenleg sok esetben indokolatlanul akadályozzák a szélerőművek telepítését.



2. ábra: Győr-Moson-Sopron megye Nemzeti Ökológiai hálózata, Natura 2000-es területei és Bioszféra rezervátumai



3. ábra: Győr-Moson-Sopron megye Ramsari területei, Érzékeny természeti területei; Világörökséghez tartozó területei



4. ábra: Győr-Moson-Sopron megye tájképvédelmi és csúszásveszélyes területei

Az *1. táblázatban* olvasható, hogy a megye területéből az egyes kategóriák a terület hány százalékát jelentik, valamint az is, hogy számszerűleg mekkora területet foglalnak el.

Kizárt terület megnevezése	Területe (km^2)	Területe védőzónával (km^2)	Részesedés (%)
Nemzeti Park	237,31	469,27	11,08
Tájvédelmi Körzet	217,30	661,72	15,63
Természetvédelmi Terület	6,6958	12,711	0,3
Natura 2000	1 396,61	2 640,01	62,37
Bioszféra - rezervátum	74,99	228,23	5,39
Nemzeti Ökológia Hálózat	2 452,32	3 899,15	92,12
Ramsari Terület	96,45	165,33	3,9
Érzékeny Természeti Terület	1 277,38	2 919,21	68,9
Világörökség	459,15		10,84
Tájképvédelmi terület	929,526	1 482,78	35,03
Csúszásveszélyes terület	418,85		9,89
Erdővel borított terület	805,7398	2 304,9	54,4
Közúthálózat		3 052,39	72,28
Energiahálózat		499,54	11,8
Vízfolyások		1 348,13	31,85
Tavak	36,56	48,15	1,13
Beépített területek	225,909	857,17	20,25
Repülőterek		153,46	3,62
Korlátozó tényezők	*400,863*		*9,47*
Összesen	**4 196,1**		**99,14**

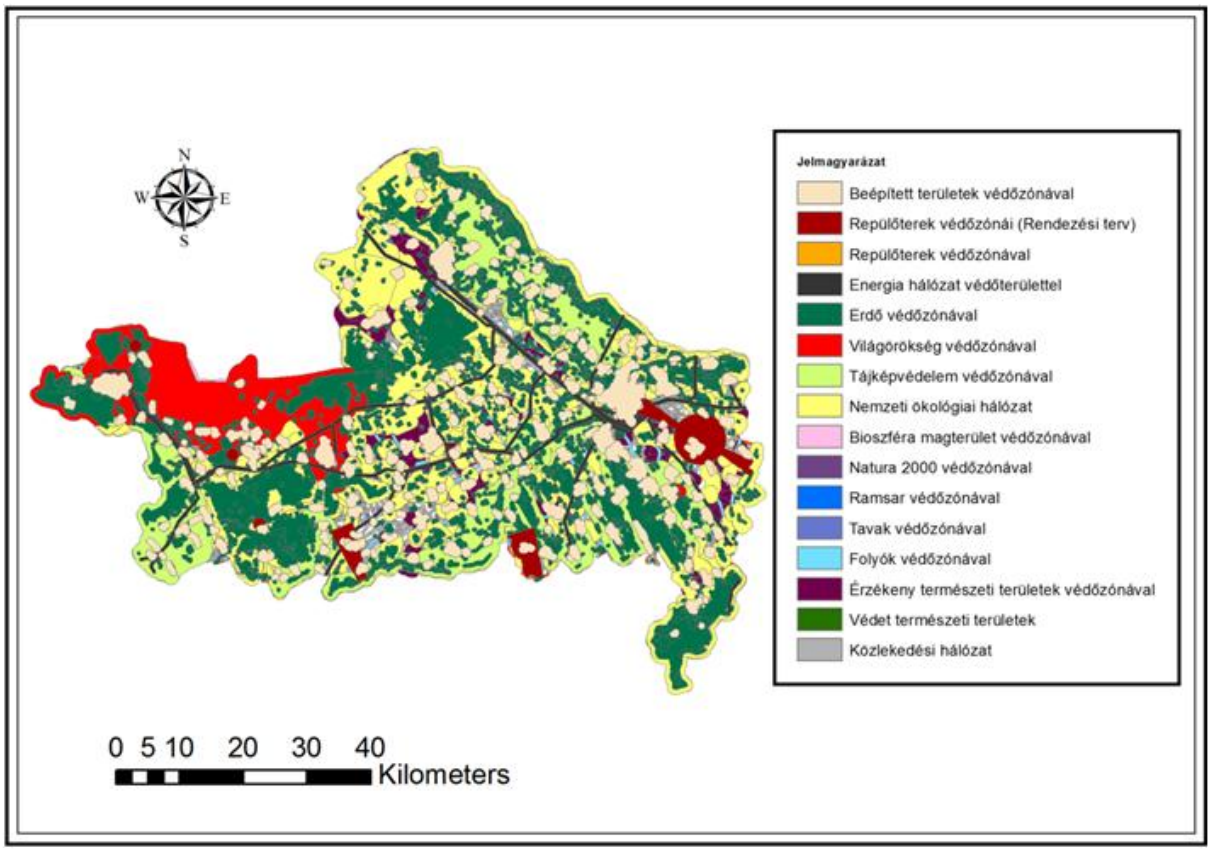
1. táblázat: Győr-Moson- Sopron megye szélenergia-telepítés alól jogszabályilag kizárt területei

A táblázatban jól láthatók bizonyos kategóriák kiugró értékei. A Nemzeti Ökológiai Hálózat egymaga a terület *92,12*%-át kizárja, de védőzóna nélkül is több mint a megye felét elfoglalná. További meglepő eredmény a Natura 2000-es területek kimondottan nagy aránya. Ez azért lényeges tényező, mert a megye területrendezési terve kiköti, hogy az effajta védettséget élvező területeken nem lehet szélturbinákat létesíteni. Ugyanakkor az Európai Unió nem vár el ilyen szigorú tiltást a Natura 2000-es területek tekintetében, hiszen ezek bizonyos fajok védelmét célozzák. Előfordulhat tehát olyan élőhely, ahol a védett faj életkörülményeit nem befolyásolja a szélerőmű, így ezeken a szigorú tiltás nem indokolt. Természetesen ennek a problémának részletes bemutatása minden érintett terület egyenkénti vizsgálatát követeli meg, így jelen tanulmány keretein túlmutat.

A közúthálózatnál a korábbi térinformatikai elemzésekhez MUNKÁCSY B. (2004a) számításához képest kapott magas értéket azzal magyarázhatjuk, hogy jelen esetben a teljes úthálózattal (nem csak a burkolt utakkal) történt a jelenlegi kalkuláció. A problémát az jelenti, hogy a jogszabályok nem határozzák meg pontosan, hogy milyen úttípusokat kell figyelembe venni. Látni kell ugyanakkor, hogy a meglévő mezei- és talaj utak a gyakorlatban nem korlátozó, hanem akár a telepítést elősegítő tényezők is lehetnek, ezáltal tovább csökkenne az építésnél fennálló környezetzavaró hatás. E szabály felülvizsgálatával, pontosításával is fontos területeket nyerhetnénk.

Két további kizáró tényező van, ami szintén jelentős területeket von el, az érzékeny természeti terület, és a tájképvédelmi terület, amely utóbbi a megye több mint 1/3-át vonja ki a lehetséges telepítés alól. A fő probléma ezzel a kategóriával, hogy létrehozása szubjektív alapokon nyugszik. A Fertő-tó térsége például hazai oldalon tájképvédelmi zónába tartozik, míg az osztrák oldalon jól láthatók a parton elhelyezett szélerőművek (MUNKÁCSY B. 2004c). Ugyancsak szubjektív vélemény, hogy a szélerőművek esztétikai szempontból milyen megítélésben részesülnek. Vitathatatlan, hogy jól láthatóak a tájban, ám a modern formai tervezéseknek köszönhetően a gyártók egyre inkább törekednek arra, hogy jobban tájba illeszthetőkké váljanak. Mindemellett egy lényeges változás látszik körvonalazódni az elmúlt években egyre divatosabbá váló ökoturizmus megjelenésével. Ausztriában ezt már jóval korábban felismerték, aminek következményeként jelenleg a szélerőmű-parkok egy része

turisztikai látványosságnak számít. Kiemelkedő jelentőséggel bír a Bruck an der Leitha mellett található szélerőmű, ami kilátóként is funkcionál egyben.



5. ábra: A jogszabályok alapján kizárt összes terület

Összegzés

A térinformatikai elemzést elvégezve a vizsgált területen nagyon alacsony érték adódott potenciális területként, ami messze elmaradt a korábban publikált tanulmányokban (Munkácsy B. 2004a, Kovács G. 2009) szereplő eredményektől. Az eltérés hátterében a közlekedéshálózat legkisebb elemeinek és az ezeket körülvevő védőzóna, valamint a Nemzeti Ökológia Hálózat pontosabb figyelembe vétele állhat. Emellett a Natura 2000-es területek is jelentősen korlátozzák a telepítésre alkalmas területek arányát, ugyanakkor az OLÉH által kiadott dokumentáció szerint ezek a területek csak korlátozó okok lennének, ám a megye területrendezési terve ennél szigorúbban korlátoz.

Fontos hangsúlyozni továbbá, hogy a kapott eredmények számításakor csak a jogszabályi kategóriákat vettük figyelembe, tehát annak meghatározásához, hogy az adott területek valóban alkalmasak-e a telepítésre, további vizsgálatok szükségesek.

További nehézséget okoz a rendezetlen és ellentétektől korántsem mentes jogi szabályozás, valamint a bonyolult engedélyezési rendszer. A beruházók számára irreálisan hosszú a befektetett összeg megtérülési ideje, az állandó jogszabályváltozások pedig bizonytalanná teszik a külföldi befektetőket. Vélhetően a korlátozó kategóriák is felülvizsgálatra szorulnának, mivel néhány közülük túl szigorú, esetleg nincs is rá szükség. A megnyugtató megoldást az jelentené, ha – a német gyakorlathoz hasonlóan (MUNKÁCSY B. 2004b) – térségi területi fejlesztéssel foglalkozó irodák előzetesen határoznák meg a szélerőművek telepítése szempontjából kívánatos területeket, amelyek közül a beruházó választhatna. Ennek köszönhetően jobban érvényesülhetnének a különféle szakmai szempontok, elkerülhető volna az engedélyeztetés próba-szerencse alapú jelenlegi gyakorlata.

FELHASZNÁLT IRODALOM

ENDER, C. (2012): Wind Energy Use in Germany - Status 30.06.2012. in: DEWI Magazin No. 41, August 2012. pp. 41-48.

GÁCS I. – SZALAI S. – TAR K. – TÓTH P. (2009): A szélenergia helyzete Magyarországon. – Magyar Tudomány. 171.évf.8. sz. pp. 947-959

Környezetvédelmi És Vízügyi Minisztérium (2005): Tájékoztató a szélerőművek elhelyezésének Táj- és Természetvédelmi szempontjairól.- Természetvédelmi Hivatal.-26p.

KOVÁCS G. (2009): Hova tervezünk szélerőművet? Jogszabályi korlátok és technikai potenciál.- In.: OROSZ Z. - SZABÓ V. – FAZEKAS I. (szerk.): Környezettudatos energiatemelés és felhasználás. Debrecen. pp. 306.

LOVAS R. [szerk.] (2010): Megújuló energiák hasznosítása. - Magyar Tudományos Akadémia. - pp. 86-93

MUNKÁCSY B. (2004a): A szélenergia és hasznosításának környezeti vonatkozásai magyarországi példákon. – kézirat, doktori értekezés, ELTE; 144 P.

MUNKÁCSY B. (2004b): A németországi regionális tájtervező irodák.In: Energiagazdálkodás, 45. 1. pp. 13-15.

MUNKÁCSY B. (2004c): Adalékok a szélturbinák természet- és tájvédelmi vonatkozásaihoz. – Környezetvédelem, 12. 5. pp.28-29.

MUNKÁCSY B. – KOVÁCS G. – TÓTH J. (2007): A szélenergia-hasznosítás lehetőségei és távlatai Komárom-Esztergom megyében – in: Energiagazdálkodás 48. évf. 2007. 1. sz. pp. 18-21.

MUNKÁCSY B. – BORZSÁK S. (2008): Szélenergia-potenciálok az ister-granum eurorégió magyarországi területén. – in: Energiagazdálkodás, 49. ÉVF. 2. pp. 10-12.

Országos Lakás- És Építésügyi Hivatal (2004): A szélkerekek-szélerőművek-szélerőmű-parkok telepíthetőségéről. - Tájékoztató. - 7 sz. melléklet

MUNKÁCSY B. (2010): a területi tervezés szorításában - a szélenergia-hasznosítás hazai lehetőségei. In: Területfejlesztés és innováció 4. 2. pp. 20-27.

TÓTH P. – BÍRÓNÉ KIRCSI A. (2009): A szélenergia hasznosítás jövője 2020-ig Magyarországon. - IX. Környezettudományi Tanácskozás. - Konferencia kiadvány,- pp.24-38

VÁTI Magyar Regionális Fejlesztési És Urbanisztikai Közhasznú Társaság (2007): Szélkerekek elhelyezhetősége – a kizárt területek térinformatikai behatárolása – Vizsgálati dokumentáció. 25 p.

HARMAT ÁDÁM

Az energetikai faültetvények a decentralizált villamosenergia-rendszerben Magyarországon

BEVEZETÉS

Magyarország az Európai Unió tagállamai közül a megújuló energiaforrások felhasználásban jóval az átlag alatti mutatókkal bír, annak ellenére, hogy már számos tanulmány kimutatta, hogy megújuló energia potenciálunknak csak a töredékét hasznosítjuk (MUNKÁCSY B. 2011). A hazai természeti adottságoknak megfelelően a legnagyobb kiaknázható potenciál a biomasszában van. A különböző biomassza-források közül az egyik legvitatottabb pont az energianövények kérdésköre, hiszen létjogosultságuk fenntartható módon csak azokon a termőterületeken lehet, amelyek kivonásával nem veszélyeztetik az élelmiszertermelést, illetve természetvédelmi szempontból is megfelelnek a fenntarthatóság elvárásainak.

Az elterjedési lehetőségükre és az energiapotenciáljukra vonatkozó becslések a szakirodalomban rendkívüli szélsőségeket mutatnak. Ezért munkám elsődleges céljának azon szántóföldi területek lehatárolását tűztem ki, amelyek a legoptimálisabbak a fás szárú energiaültetvények telepítésére. További célom volt meghatározni a termeszthető energiaültetvények kapcsolt villamos- és hőenergia potenciálját egy olyan energiarendszerben, ahol azok felhasználása a kistérségi központokban valósul meg.

1. A FÁS SZÁRÚ ENERGIAÜLTETVÉNYEK

1.1. ÁLTALÁNOS JELLEMZŐJÜK

A fás szárú energetikai ültetvényt a 71/2007. (IV. 14.) Korm. rendelet a következőképpen definiálja: „külön jogszabályban meghatározott fajú, illetve fajtájú fás szárú növényekkel létesített, biológiai energiahordozó termesztését szolgáló növényi kultúra, amelynek területe az 1500 m^2-t meghaladja." Két típusát különbözteti meg: a **sarjaztatásos,** ahol a vágásforduló nem haladja meg az öt évet, és a **hengeres** (újratelepítéses), amely nem sarjaztatásos, és a vágásforduló nem haladja meg a tizenöt évet. Magyarországon előbbi tekinthető életképesnek, mivel a 33/2007. (IV. 26.) és a 72/2007. (VII. 27.) FVM rendelet szerint csak a sarjaztatásos ültetvény telepítése részesíthető kiegészítő támogatásban.

Sarjaztatásos technológia esetében az ültetvényt nagy tőszámmal (13-15 ezer tő/ha) telepítik, jó sarjadó fafajokkal. Az ültetvényt 2-5 évenként tarra vágják, amely külön beavatkozás nélkül újrasarjad. A kitermelési ciklus egy ültetvényen általában 5-7 alkalommal ismételhető meg. Az utolsó letermelést követően az ültetvényt fel kell számolni (PÓLISKA CS. 2012).

Ezen ültetvényfajtával lehet megtermelni a legnagyobb dendromassza hozamot a legrövidebb idő alatt: az Egyesült Államokban vizsgálatok szerint egy hektár akác energetikai faültetvény hozama 10-45 hektár természetes erdő hozamával egyezik meg, de fontos tény, hogy ez az összevetés nem tartalmazza a termelésbe befektetett energiát (IVELICS R. 2006). A sarjaztatásos technológia terjedt el mind Európában, mind Magyarországon.

A fás szárú biomassza termelés létjogosultságnak egyik kulcskérdése az ültetvény **energetikai megtérülése** (EROEI érték), ami az ültetvényen való gazdálkodás során felmerült energiamennyiség, és a termelt dendromasszából kinyerhető energia aránya. Az EROEI érték függ az alkalmazott fafajtól, a számítás módszertanától, az ültetvény termesztési technológiájától, a dendromassza-hozamtól, valamint a betakarításkor alkalmazott technológiától. Ezek függvényében a nemzetközi szakirodalomban az EROEI értékre vonatkozóan 2-től egészen 58-ig találhatunk értékszámokat (FIALA, M. ET AL. 2010). A hazai termőhelyi viszonyokra vonatkozó számítások a termőhelytől és a fafajtól függően **2,3 és 18,5 között változik** (HAJDÚ J. 2009). A megfelelő termőhely kiválasztása rendkívül fontos, mivel

egyes vizsgálatok szerint a bevitt energiamennyiség jelentős részét (41%-át) a talajerő-utánpótlás adja ki (FIALA, M. ET AL. 2010). Fontos megemlíteni, hogy ezen számítások nem veszik figyelembe a faapríték szállításának negatív befolyásoló szerepét.

A fás szárú energianövények termesztése megosztja a természet- és környezetvédők véleményét, hiszen pozitív környezeti hatása nem olyan egyértelmű, mint a többi megújuló energiaforrás esetében. A fás szárú energiaültetvények **jelentős vízforrást használnak fel** növekedésükhöz (különösen a nyár és a fűz), e mellett pedig több vizet párologtat el, mint egy szántóföldi növény, így átlagosan a növény életszakaszától függően 35-45%-kal több vizet használnak fel, mint a gabonanövények (IEA 2011). Ennek a talajvízre gyakorolt hatása azonban csak ott szignifikáns, ahol több ezer hektáros ültetvények egy tömbben helyezkednek el (CALSIN B. et al. 2010). A talaj **szén- és nitrogéntartalmát, valamint mikroorganizmusainak számát** kedvezőbb mértékben befolyásolja, mint a szántóföldi növénykultúra. Nagy koncentrációban képesek felvenni a nehézfémeket, amely tulajdonságuk hasznosítható a szennyvíz ártalmatlanításában (MCKAY, H. 2011).

Egy fás szárú energiaültetvény **flórája és faunája szintén gazdagabb egy szántóföldi kultúránál**, azonban annak szintje messze alatta marad egy természetes erdővel összevetve. Ugyancsak ez figyelhető meg, ha a fás szárú energiaültetvények éghajlatváltozásra gyakorolt hatását vizsgáljuk. Az erdők addig nettó szénelnyelők, amíg növekedésben vannak, és nem érik el a klimaxban bekövetkező egyensúlyi helyzetet. Ezzel szemben a fás szárú energianövények rövid vágásfordulója miatt szerepük ilyen szempontból semlegesnek tekinthető. Ráadásul szén-dioxid semlegességét beárnyékolja az a tény, hogy a termesztéséhez szükséges gépi munkaerő, illetve a faanyag szállítását végző teherautók fosszilis energiaforrást használnak fel (IEA 2011).

Az ültetvények elterjedését nagyban befolyásolja azok megtérülési ideje. Pálfi J. vizsgálata szerint **az akác és a fűz 6 év, míg a nyár 4 év alatt térül meg támogatások nélkül** (CSIPKÉS M. 2011, PÁLFI J. 2008 alapján). Elterjedését ez nagyban nehezíti, hiszen a gazdák visszakoznak attól, hogy az első néhány évben csak kiadás jelentkezik. További hátráltató tényező, hogy az ültetvény nagyjából 20 évre meghatározza a terület hasznosítását, így a bérbe adott területeken nehezebben valósítható meg a telepítése. DOBOS A. és társai (2006) alapján a teljes élettartalomra számolt költségarányos növekedés az akác esetében **támogatások nélkül**

26%, a támogatásokkal 58,6% volt. **A nyár** a vizsgálatok szerint jóval jövedelmezőbb: **költségarányos jövedelmezősége a támogatások nélkül 59,1%,** támogatásokkal 86,5%. CSIPKÉS M. (2011) elemzése szerint **átlagos fedezeti hozzájárulás** értéke hektáronként a **svéd fűznek volt a legmagasabb**, amelyet az akác, majd a kukorica, illetve a nyár követett. A lista aljára az őszi káposztarepce, az őszi búza és a napraforgó kerültek.

A fás szárú energianövények **társadalmi hatása** egyértelműen **pozitívnak mondható**. Az energetikai ültetvény ápolása jelentős **élőmunkát** igényel. DOBOS A. és társai (2006) szerint átlagosan 100 hektár energetikai ültetvény négy munkahelyet tud teremteni. IVELICS R. (2006) szerint is 15-20 hektár ültetvény igényel egy élőmunkát. Az IEA (2007) számításai szerint az energiaültetvény élőmunka igénye 41 fő/100 GWh, amely energiamennyiség kb. 90 fő elektromos áram igényét biztosítja.

1.2. FÁS SZÁRÚ ENERGIAÜLTETVÉNYEK MAGYARORSZÁGON

Magyarországon a mezőgazdasági művelés alatt álló területek aránya kétszerese az EU átlagnak, ugyanakkor az intenzív termelés ellenére a **hozamok elmaradnak a nyugati átlagtól**. Több tanulmány és szakértő a lemaradás okát az alacsony hozamú földek magas arányában látja (DOBOS A. et al. 2006). A nagy ráfordítást igénylő, intenzív szántóföldi termelést csak a jó és a legjobb adottságú területeken szabad fenntartani, mivel a termőföldet mindenütt arra és olyan intenzitással célszerű hasznosítani, amire az a legalkalmasabb, illetve amit képes károsodása nélkül elviselni (ÁNGYÁN J. 1999). Ezért azon területeken, ahol gazdaságilag és ökológiailag is indokolatlan az intenzív szántóföldi kultúra fenntartása, ott **művelési ág-váltást** kell véghezvinni, egy gazdasági és természeti értelemben is fenntartható földhasználat érdekében. Ennek egyik opciója lehet a fás szárú energiaültetvények.

Az ültetvényekkel kapcsolatos hazai kísérletek már több évtizede elkezdődtek. Az erdészek már a 60-as években végeztek kutatásokat nyárültetvényekkel (GOCKLER L. 2010). A 90-es évek közepétől és a 2000-es évek elején több hazai kutatóintézet és egyetem kezdett kísérleti ültetvények létesítésébe. Az erre a célra hasznosított terület 2006-ban 300 ha körüli volt. A jogszabályi változásoknak köszönhetően 2007-től lehetővé vált, hogy a rövid vágásfordulójú faültetvények mezőgazdasági területen való termesztése állami támogatásban részesüljön, így az ültetvények területe jelentősen nőtt. Ma a megvalósított ültetvények nagysága még

mindössze **2 340 hektár**, amelynek 71%-át nyár, 12%-át akác, 17%-át pedig fűz alapfajból származó fajta foglalja el.

Gockler L. (2010) szerint az ültetvények alacsony területének az oka az, hogy az energiaültetvények hazai termelése még ma is inkább kísérleti stádiumban van, amelynek oka az erdészet nehéz gazdasági helyzete, amely az új technológiát igénylő fa-előállítási mód bevezetését csak jelentős támogatással tudná véghezvinni. Növelheti még a telepítési kedvet, ha pontosabb adatok lesznek elérhetőek az ültetvények élettartalmával kapcsolatban, hiszen attól jelentősen függ az ültetvény gazdaságossága. Holott FISCHER, G. és társai (2010) számításai szerint az energianövények összevont potenciális energiahozamai alapján a második helyet foglaljuk el Európában, 163 GJ/ha értékkel.
Telepíthető fafajok a 45/2007. (VI. 11.) FVM rendelet alapján kizárólag nyár, fűz vagy akác lehet. Történt még kísérletezés puszta szil, illetve bálványfajokkal, azonban ezen fajokból, fajtákból ültetvény a rendelet szerint nem létesíthető. A következőkben a három, rendeletben szereplő fafajt mutatom be:

a) FŰZ (SALIX SSP.)

Az energiaültetvényekhez a nagy terméshozamot elérő, magas növésű cserje folyamú klónokat, illetve fajtákat alkalmazzák. A legelterjedtebb faj a **kosárfonó fűz** (Salix viminalis).

A fűzfajok többsége a csapadékos, hideg és a mérsékelt éghajlatú helyek növénye. Természetes körülmények között a nedvesebb, lúgosabb, bázisokban szegény talajokon élnek. Termesztett változataik számára is az 5,6-7,0 pH értékű talajok az optimálisak. Szikes talajokon a fűz nem fordul elő, és nem is javasolható termesztése (DOBOS A. et al. 2006).

A fűz azokat az **állandó vízhatás alatt álló, felszínig nedves területeket kedveli**, ahol a rendszeres vízborítást megkapja, de a pangó vizet csak néhány hétig kell elviselnie. Hosszabb vízállás esetén azonban a növény léggyökeret ereszt, növekedése lelassul, és oldalirányú oldalhajtásokat növeszt, ami kedvezőtlen a betakarításkor. A termőréteg vastagsága sekély, közép mély és mély lehet. Fizikai talajféleség homoktól az agyagos vályogig terjedhet. Genetikai talajtípus szerint öntés, réti és lejtőhordalék talajok felelnek meg a fűz talajigényeinek. A füzek telepítésére sok esetben a védett vizes élőhelyek és a korlátozás alá eső Natura 2000-es területek szomszédságában kerül sor. Ilyen helyeken energiaültetvény is

csak a hazai flórában megtalálható fajokkal történhet. Korlátozás alá nem eső területeken szabad fajtaválasztás van (GONCZLIK A. et al. 2005). Jó fagytűrő képességgel rendelkeznek (JUHOS K. et al 2011).

Egy-három éves vágásforduló mellett kb. 25 évig tartható fenn az ültetvény. Hozama a talajadottságoktól függően 18 és 24 t/ha között változik (BARKÓCZY ZS. – IVELICS R. 2008, CSIPKÉS M. 2011).

b) NYÁR (POPULUS SSP.)

A nyár a fűzhöz hasonlóan a fűzfafélék családjának a tagja. Energiahozamai között a környezeti adottságok függvényében nagy különbségek vannak. Egy adott termőhelyen a legjobb növekedésű nyárfajta dendromassza termése két-háromszorosa is lehet a termőhelynek és a termesztési célnak nem megfelelő fajtához viszonyítva, de jelentősek a különbségek az egyes fajták térfogati sűrűség értékeik között is (IVELICS R. 2006).

Igen változatos termőhelyeken termeszthető: a láp- és öntéstalajokon, a réti talajokon, a barna erdőtalajokon és a csernozjom talajokon is megél. Viszont a váztalaj, az erősen savanyú barna erdőtalaj, illetve a szolonyeces réti talaj alkalmatlan a telepítésére. Döntő befolyásoló szerepe van azonban a hidrológiai adottságoknak. Legalkalmasabbak a jó vízraktározó és víztartó képességű, a nagy mennyiségű vízkészlettel rendelkező talajok. Szintén alkalmasak az időszakos vízborítás alatt álló területek, amelyek vízborítása május végére megszűnik. A többletvízhatástól mentes területeken a termesztése nem lehetséges. A termőréteg vastagsága legalább 60 cm kell, hogy legyen, de az ideális a 120 cm-nél mélyebb termőrétegű talajok. A fizikai talajféleség a humuszos homoktól a vályogon át a gyengén agyagos vályogig terjedhet, kémhatást tekintve pedig a legkedvezőbbek a semleges kémhatású talajok (IVELICS R. 2006).

Jellemző vágásfordulója két év. Hozama a talajadottságoktól függően 17 és 22 t/ha között változik. Az ültetvény várható élettartalma 20 év (BARKÓCZY ZS. – IVELICS R. 2008, CSIPKÉS M. 2011).

c) AKÁC (ROBINA PSEUDO-ACACIA L.)

Az akác olyan helyre telepíthető, ahol a talajvíz szintje nem emelkedik 60-80 cm fölé. 60 cm-nél mélyebb termőréteget igényel. Az akác a vályog, homokos vályog és homoktalajokon érzi jól magát. A savanyú homoktalajokat jobban kedveli, mint a meszes homokot. A talaj kémhatása terméshozamát csak kis mértékben befolyásolja.

Fája nagy sűrűségű. Kedvező égési tulajdonságai vannak: gyúlékonysága jó; égése lassú, de teljes mértékű, hamutartalma kevés. Kérgének égéshője kis mértékben meghaladja a faanyag energiatartalmát. A kora tavaszi fagyokra viszont érzékeny.
Genetikai talajtípus szerint a homoktalajok közül a nem karbonátos humuszos homoktalajok, és a két vagy többrétegű gyengén humuszos homoktalajok alkalmasak a telepítésre. A hullámterekben a magas fekvésű öntéstalajokra és a homokos vagy vályogos, nem karbonátos öntéstalajokra lehet akácot telepíteni. A barna erdőtalajok közül a jó vízellátású agyagbemosódásos erdőtalajok, a barnaföldek, a kovárványos barna erdőtalajok és a csernozjom barna erdőtalajok kiválóak a termesztésre. A csernozjom talajok közül a vastag humuszrétegű csernozjom jellegű homoktalaj, és a kilúgozott csernozjomok is alkalmasak az akáctermesztésre.

Az időszakosan magas talajvízállású réti és szikes talajok; a sötétszínű erdőtalajok; a sziklás, köves és kavicsos, karbonátos váztalajok; a futóhomok talajok kizárják az akác eredményes termesztését. A nátriumtelítettségű talajtípusok egyike sem alkalmas akáctermesztésre (DOBOS A. et al. 2006; IVELICS R. 2006).
Az alkalmazott vágásforduló általában három év. Hozama a talajadottságoktól függően 6 és 20 t/ha között változik. Az ültetvény várható élettartalma 20 év (BARKÓCZY ZS. – IVELICS R. 2008, CSIPKÉS M. 2011).

CSIPKÉS M. (2011) szerint a közeljövőben az akác lehet a legalkalmasabb a termesztésre annak kedvező termő- és tüzeléstechnikai tulajdonságai miatt. BOROVICS A. (2008) szerint viszont a nyár széles termőhelyi spektruma miatt lesz a legkedveltebb faj. Becslése szerint a fás szárú energianövények létesítésére alkalmas termőhelyek 70%-án nyár, 25%-án akác, 5%-án pedig fűz ültetvény várható.

A három fafaj **energetikai felhasználásának** legfontosabb jellemzőit összegzi az *1. táblázat*. A legelőnyösebb fafaj a fűz, amelynél a legnagyobb az energiahozam, és a leghosszabb élettartam várható. A nyár optimális termőhelye szélesebb, mint a fűzé, becsült hozama alig marad el, fűtőértéke pedig nagyobb a fűzéhez viszonyítva. Az akác habár a termőhely szempontjából igénytelen fafaj, hozama nem közelíti meg a másik két fajét, ezért az akác termesztése esetén számíthatunk a legkisebb energiahozamra.

Fafaj	Hozam (t/ha)	Fűtőérték 15%-os nedvességtartalom mellett (MJ/kg)	Energiahozam (GJ/ha)	Jellemző vágásforduló (év)	Élettartam (év)
Akác	6-20	14,8	89 - 296	3	20
Nyár	17-22	15,1	256 – 332	2	20
Fűz	18-24	14,8	266 - 355	1-3	25

1. táblázat: Fás szárú energianövények várható hozamai és jellemzői Magyarországon. (Forrás: BARKÓCZY Zs. – IVELICS R. 2008, valamint CSIPKÉS M. 2011 a következő irodalmak alapján: GERGELY S. 1988, MAROSVÖLGYI B. 1998, BAI A. 1999, BAI et. al 2002, DEFRA 2007a és DEFRA 2007b alapján.)

2. A FÁS SZÁRÚ ENERGIAÜLTETVÉNYEK ELTERJEDÉSÉNEK HAZAI VONATKOZÁSAI

2.1. A FÁS SZÁRÚ ENERGIAÜLTETVÉNYEK ELTERJEDÉSI POTENCIÁLJA A SZAKIRODALMAK ALAPJÁN

Az energetikai faültetvények potenicális magyarországi kiterjedésére vonatkozóan számos vizsgálat készült az utóbbi években mind nemzetközi, mind hazai kutatócsoportok által. Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség két tanulmányt is közzé adott, ahol az energianövények lehetséges területi kiterjedését vizsgálják Európában. A 2006-os tanulmány szerint Magyarországon **2010-re 413, 2020-ra 512, 2030-ra pedig 547 ezer hektár** terület áll rendelkezésre, ahol az energianövényeket környezetvédelmileg fenntartható módon lehet termeszteni (EEA 2006). Viszont 2007-es tanulmány szerint már a következő képen alakulnak a potenciális területek:

	2011	2020	2030
Alkalmas terület, de mint gyep (ezer ha)	413,2	511,6	547,4
Energiaültetvényre alkalmas terület (ezer ha)	56,8	231,2	296,9
Összes alkalmas terület (ezer ha)	470	742,8	844,3

1. *táblázat: Energianövények termesztésére alkalmas, becsült jövőbeli területek. (Forrás: EEA 2007)*

Megállapítható, hogy az újabb tanulmány összességben nagyobb rendelkezésre álló területtel számol, de a kifejezetten energiaültetvényre alkalmas területek tekintetében viszont kisebb területeket mutattak ki alkalmasnak.

A 4FCROPS (Food, Feed, Fiber, Fuel) projekt keretében vizsgálatra került, hogy az EU-27 egyes tagállamaiban mekkora lesz az egyes energianövény-fajták kiterjedése (ALEXOPOLOU E. 2010). Ezek szerint hazánkban 2020-ra az energianövények területe elérheti az **1 millió hektárt**, amelynek egyharmada ugarterületek, egyharmada korábbi szántóterület, valamint további egyharamda olajnövényekkel bevetett terület. A tanulmány készítői szerint 2030-ig további fél millió hektár szántóterület bevonása lehetséges.

Az FVM Agrár-környezetgazdálkodási EU-harmonizációs Munkabizottsága kezdeményezésére 1997-ben kidolgozásra került egy agáralkalmasságot és környezetérzékenységet integráló földminősítési rendszer, amely a Nemzeti Agár-környezetvédelmi program kutatási alapját adta. Az eredmények alapján **Magyarországon 1,5 millió hektár olyan intenzíven művelt szántóföldi terület van, amelyen nem érvényesül az értékfenntartó gazdálkodás elve**, vagyis a tájhoz, a környezethez illeszkedő ágazati rendszer és az ahhoz kapcsolódó intenzitási fok megtartása. Ezeket figyelembe véve az 1,5 millió hektárból 6-700 ezer hektáron erdősítést, 3-400 ezer hektáron gyepesítést, 500 ezer hektáron pedig külterjes szántóföldi művelést lenne célszerű végezni (ÁNGYÁN J. 1999). Habár a program nem tér ki konkrétan az energiaültetvények témakörére, azonban a fás szárú energiaültetvények a művelési ág

váltásának ajánlása alapján az 500 ezer hektár nagyságú extenzív szántóföldi termőhelyen létesülhetnek meg.

HAJDÚ J. (2006) szerint az energetikai faültetvények potenciálja 1,8-2,5 millió t faanyag egy évben, ami alacsonyabb terméshozammal (15 t/ha) számolva **120-160 ezer hektár** területet jelent.

SOMOGYI Z. (2003) szerint 30 éven belül 773 ezer hektár mezőgazdasági területen válik a termelés gazdaságtalanná, ezeken a területeken várhatóan erdősítés lesz, de megoszlanak a vélemények, hogy mekkora területen érdemes hagyományos erdőt, és mekkorán energiaültetvényt telepíteni. Az energiaültetvények maximális értéket **560-630 ezer** hektárban határozza meg MAROSVÖLGYI B. – HALUPA L. (1996) alapján.

KOHLHEB N. és társai (2009) az energiatermelésre rendelkezésre álló területeket a következőképpen állapították meg: kidolgoztak egy ökotípusos zónarendszert, amelyeket összevetettek a szántóterület nagyságával. Így az általuk vizsgált 4,7 millió hektár szántóterületből intenzív gazdálkodásra alkalmas 1 millió hektár, extenzív gazdálkodásra, 2,2 millió hektár. Véleményük szerint 537 ezer hektárt gazdasági erdővé, 434 ezer hektárt pedig véderdővé szükséges átalakítani. A fennmaradó 496 hektárt pedig gyep művelési ágra célszerű konvertálni. Ezen felül számításokat végeztek, hogy az ország népességének ellátásához mekkora területre van szükség. Az eredmények szerint 1,5 millió hektár szántóföld, illetve 194 ezer hektár gyep terület el tudná látni a népességet élelmiszerrel, illetve a szükséges állatállományt takarmánnyal. A két vizsgálatot összegezve megállapították, hogy **szántóterületből 2 191 ezer hektár, gyep területből 1 256 ezer hektár fordítható bioenergia termelésre**.

Amint láthatjuk, az energianövények elterjedési potenciáljára való becslések nagy szórást mutatnak, a néhány ezer hektártól a több millió hektárig. E mellett megállapítható, hogy a fent bemutatott potenciálvizsgálatok a potenciális területnagyságot a felszabadítható területek nagyságával teszik egyenlővé. Véleményem szerint azonban az energianövények termőhelyi igényeinek figyelembe vétele ugyanolyan fontos, hiszen azok a nem megfelelő talajon csak alig, vagy egyáltalán nem teremnek meg. Így szükségesnek láttam egy saját vizsgálati módszertan elvégzését.

2.2. A FÁS SZÁRÚ ENERGIAÜLTETVÉNYEK ELTERJEDÉSI POTENCIÁLJÁNAK VIZSGÁLATA

Vizsgálatom során a potenciális területeket két oldalról közelítettem meg. Egyrészt meghatározom azon területeket, ahol művelési ág-váltásra van szükség. Majd ezen területeket összevetve az egyes növények ökológiai igényeivel határozom meg a potenciális elterjedési területet. A lehatárolást ArcGIS 10 szoftver segítségével végeztem.

2.2.1. A MŰVELÉSI ÁG-VÁLTÁSRA SZÜKSÉGES SZÁNTÓTERÜLETEK LEHATÁROLÁSA

Ahhoz, hogy meghatározzam azokat a szántóterületeket, ahol művelési-ág váltásra van szükség, szükséges megvizsgálni, hogy a lehatároláshoz mely termőföld-értékelési módszertan a legmegfelelőbb. Három termőföld-értékelési rendszert vizsgáltam meg: az aranykorona-rendszert, a száz pontos talajértékszám-rendszert, illetve az integrált földminősítési zónarendszert.

Az aranykorona-rendszerrel kapcsolatban megállapítottam, hogy az nem alkalmas a vizsgálatomhoz, hiszen habár a tiszta jövedelem mutatja a föld minőségét is, az elválaszthatatlanul összefügg a hozadék közgazdasági tényezőivel, mint a munkaráfordítással, a gazdálkodás technikai színvonalával, valamint a növény genetikai hozamképességével. E mellett a talajadatok nagyrészt becsültek ill. azokból kevés állt rendelkezésre, az új talajvizsgálati eszközök pedig nincsenek jelen a mérőszámban (DÖMSÖDI J. 2007).

A száz pontos talajértékszám-rendszert vizsgálva elmondható, hogy a termőhelyi értékszám nem számol a talajfelszínre hulló víz domborzat okozta veszteségével, sem a talajba került víznek a növény számára való hasznosulásával. A domborzati korrekciós számok értékei nem kísérleti kimért értékek, hanem becslésen alapulnak. A rendszer másik hibája, hogy azon földértékelési körzetei megegyeznek az aranykorona-érték számításának alapját szolgáló becslőjárásokkal, területi általánosításának határai a régi földosztályokkal, így a módszer

rejtett közgazdasági értékelést tartalmaz (KUPI K. 2002). Így e rendszer sem tekinthető alkalmasnak.

Az **integrált földminősítési zónarendszer** adatforrása 30 területi adatbázis, amely a talajparamétereken kívül domborzati-, klíma-, élővilág-, és vízvédelmi paramétereket is tartalmaz. Kidolgozása során az ország területét 100*100 m-es felbontási rácshálózattal 9,3 millió darab egy hektáros négyzetre osztották. A 16 mezőgazdasági és 14 környezetérzékenységi értékszámot a szerint súlyozták, hogy milyen szerepet játszik a mezőgazdasági termékenység illetve a környezeti érzékenység kialakításában. Így az ország minden egyes hektárjára meghatároztak egy 0-99 közötti mezőgazdasági alkalmassági, illetve egy 0-99 közötti környezetérzékenységi értékskálán. A mezőgazdasági alkalmassági értékszámból kivonták a környezetérzékenységi értékszámokat, majd a különbséghez hozzáadtak 100-at, így egy 0-198 közötti értéket kaptak, ahol a 100 alatti értékek a terület környezetérzékenységi meghatározottságára, a 100 felettiek pedig az agár meghatározottságra utalnak (KUPI K. 2002).

Az értékskála segítségével három zónát alakítottak ki. A 100 alatti értékű területeket a **védelmi zónába**, a 100-125 értékű területeket a **kettős meghatározottságú zónába**, míg a 125 feletti értékszámú területeket az **agrárzónába** sorolták be (ÁNGYÁN J. et al. 1999).

Az integrált földminősítési rendszer alkalmas a fás szárú energiaültetvények termesztésére legoptimálisabb területek kijelölésére, mivel az agrár-környezeti értékszám alapján meghatározható a legoptimálisabb hasznosítása egy adott szántóterületnek. Ennek térképes állományát a SZIE Környezet- és Tájgazdálkodási Intézet Területi Tervezési és Térinformatikai Tanszéke rendelkezésemre bocsátotta.

2.2.2. A *FÁS SZÁRÚ ENERGIANÖVÉNY-FAJOK TERMŐHELYI FELTÉTELEINEK MEGHATÁROZÁSA*

Kutatásom következő lépéseként lehatároltam a fás szárú energianövény-fajok termesztésére alkalmas területeket. A műveletet az MTA digitális **Agrotopográfiai adatbázis** (AGROTOPO) segítségével végeztem el.

Az MTA Talajtani és Agrokémiai Intézetében az Agrotopográfiai térképsorozat tematikus adataiból alakították ki az adatbázist, amely 1:100 000 méretarányú, országos adatokat tartalmaz. A termőhelyi talajadottságokat meghatározó főbb talajtani paraméterek a következők: 1. genetikai talajtípus, 2. talajképző kőzet, 3. fizikai talajféleség, 4. agyagásvány összetétel, 5. talaj vízgazdálkodási tulajdonságai, 6. kémhatás és mészállapot, 7. szervesanyag-készlet, 8. termőréteg vastagság, 9. talajértékszám.

A fenti paraméterek közül a növények talajigénye szerint a vízgazdálkodási, a fizikai talajféleség, a fizikai talajféleség, a genetikai talajtípus, valamint a termőréteg vastagságának tényezőit vettem figyelembe. Az egyes növényekhez tartozó pontos termőhelyi kritériumokat a *3. táblázatban* összegeztem. Azon területeket vettem termesztésre alkalmasnak az egyes fajoknál, ahol az egy fajra vonatkozó feltételek együttesen teljesülnek.

	Fűz	Nyár	Akác
Vízgazdálkodás	• jó víznyelésű és vízvezető-képességű, jó vízraktározó-képességű, jó víztartó talajok • közepes víznyelésű és vízvezető-képességű, nagy vízraktározó-képességű, jó víztartó talajok • közepes víznyelésű és gyenge vízvezető-képességű, nagy vízraktározó-képességű, erősen víztartó talajok • jó víznyelésű és vízvezető-képességű, igen nagy vízraktározó-, és víztartó-képességű talajok	• jó víznyelésű és vízvezető-képességű, jó vízraktározó-képességű, jó víztartó talajok • közepes víznyelésű és vízvezető-képességű, nagy vízraktározó-képességű, jó víztartó talajok • közepes víznyelésű és gyenge vízvezető-képességű, nagy vízraktározó-képességű, erősen víztartó talajok • jó víznyelésű és vízvezető-képességű, igen nagy vízraktározó-, és víztartó-képességű talajok	• igen nagy víznyelésű és vízvezető-képességű, gyenge vízraktározó-képességű, igen gyengén víztartó talajok • nagy víznyelésű és vízvezető-képességű, közepes vízraktározó-képességű, gyengén víztartó talajok
Fizikai talajféleség:	• homokos vályog • vályog • agyagos vályog	• homokos vályog • vályog • agyagos vályog	• homok • homokos vályog • vályog
Kémhatás, amely kizáró ok	• erősen savanyú talajok	• erősen savanyú talajok	• erősen savanyú talajok
Genetikai talajtípus (nyár esetében amelyek kizáró tényezők)	• réti talajok • réti öntéstalajok • lápos réti talajok • síkláp talajok • lecsapolt és telkesített síkláp talajok • mocsári erdők talajai • fiatal, nyers öntéstalajok	<u>Amelyek kizáró tényezők</u>: • köves és földes kopárok • szoloncsákok • szoloncsák-szolonyecek • réti szolonyecek • sztyeppesedő réti szolonyecek közepes víznyelésű és vízvezető-képességű, nagy vízraktározó-képességű, jó víztartó, vagy közepes víznyelésű és gyenge vízvezető-képességű, nagy vízraktározó-képességű, erősen víztartó: • réti talajok • réti öntéstalajok • lápos réti talajok • síkláp talajok • lecsapolt és telkesített síkláp talajok • mocsári erdők talajai • fiatal, nyers öntéstalajok	• humuszos homokos talajok, amelyek kémhatása gyengén savanyú • agyagbemosódásos barna erdőtalajok • barnaföldek (Ramann-féle barna erdőtalajok) • kovárványos barna erdőtalajok • csernozjom-barna erdőtalajok • csernozjom jellegű homoktalajok • réti öntéstalajok • fiatal, nyers öntéstalajok
Termőréteg vastagsága:		• > 100 cm	• 70 - 100 cm • > 100 cm

3. táblázat: A fás szárú energianövény-fajok termőhelyi feltételei az AGROTOPO adatbázis talajtulajdonsági paraméterei szerint.

2.2.3. A FÁS SZÁRÚ ÜLTETVÉNYEK TELEPÍTÉSÉRE LEGALKALMASABB TERÜLTEK LEHATÁROLÁSA

A fent bemutatott két területi adatbázis, illetve a Corine Land Cover 2006 adatbázis alapján a fás szárú ültetvények telepítésére legalkalmasabb területek lehatárolását több lépésben végeztem el.

Elsőként a CLC 2006 adatbázis, illetve az Integrált földminősítési zónarendszer térkép állománya alapján lehatároltam azon szántóterületek, amelyek a Nemzeti Agrár-környezetvédelmi Program (továbbiakban NAKP.) kettős meghatározottságú területként definiált. Ennek nagysága 1,8 millió hektár lett. Ez az a terület, amelyen az agrár-környezeti értékszám 120 és 125 között van. E területen szükséges a művelési ág megváltoztatása egy kevésbé intenzív földhasználati módra. Az NAKP ezen szántóterületek nagyságát 1,5 millió hektárban határozza meg. Az eltérésnek oka a különböző CLC adatbázisban keresendő. Az NAKP kialakításakor a CLC 50-es adatbázist használták, amelynek méretaránya kisebb, 1:50 000; felbontása nagyobb, ezért a szántóként használt területek pontosabban lehatárolhatóak.

A terület nagy kiterjedése miatt a lehatárolt területet öt csoportra osztottam az agrár-környezeti értékszám alapján, így a továbbiakban szűkíteni lehet a kijelölt területet az agrár-környezeti értékszám nagysága alapján. A csoportosítást a következő agrár-környezet értékszám szerinti besorolás alapján végeztem:

1. terület	120 <= AKÉ < 125
2. terület	115 <= AKÉ < 120
3. terület	110 <= AKÉ < 115
4. terület	105 <= AKÉ < 110
5. terület	100 <= AKÉ < 105

4. *táblázat: A kijelölt öt területi csoport agrár-környezeti értékszám kategóriái.*

Az egyes fajok telepítésére alkalmas területek, valamint a kettős meghatározottságú terület-csoportok közös területként meghatároztam, hogy az egyes agár-környezeti értékszám-csoportok szerint mekkora az egyes fajok területe:

1. ábra: A területcsoportok területe az alkalmas fajok szerint. (Forrás: saját szerkesztés)

Az 1. terület a rendelkezik a legnagyobb területi kiterjedéssel, területe összesen 255 ezer hektár. Az agrár-környezetgazdálkodási értékszámok alapján ez a terület a legalkalmasabb energetikai faültetvények létrehozására, mivel a kettős meghatározottságú területek közül az agráralkalmasság ezekena területeken a legnagyobb. A további területek kiterjedésfe az agrár-környezeti értékszám csökkenésével egyre kisebb lesz. Ezzel együtt az egyes területeken csökken az agráralkalmasság, és növekszik a természeti érzékenység. Ennek következtében a fás szárú energiaültetvények elterjedése elsősorban a magasabb agrár-környezeti értékszámmal rendelkező területeken előnyös. Így a következő három szcenáriót állítottam fel:

Szcenárió	Agrár-környezeti értékszám	Terület (ha)			
		Akác	Nyár	Fűz	Összesen
1.	120 <= AKÉ < 125	53 621	176 268	24 921	**254 810**
2.	115 <= AKÉ < 125	116 482	318 017	57 206	**491 705**
3.	110 <= AKÉ < 125	193 874	414 780	78 680	**687 334**

5. táblázat: Az energiaültetvények elterjedési potenciáljának háromféle víziója.

Az **1. szcenárió** esetében az energiaültetvényeket az agrár-környezeti értékszám szerinti legalkalmasabb területeken telepítenék. Ez esetben a terület nagysága **255 ezer hektár**. A fentiekben bemutatott szakirodalmi potenciálbecslések alapján ezt a szcenáriót tartom a legvalószínűbbnek, amely középtávon megvalósulhat.

A **2. szcenárióban** a rendelkezésre álló területet kibővítettem a 115 és 120 közötti agrár-környezeti értékszámú területekkel. Így a terület nagysága **492 ezer hektárra nőtt.** Összevetve a szakirodalommal, ez a szcenárió hosszabb távon valósulhat meg.

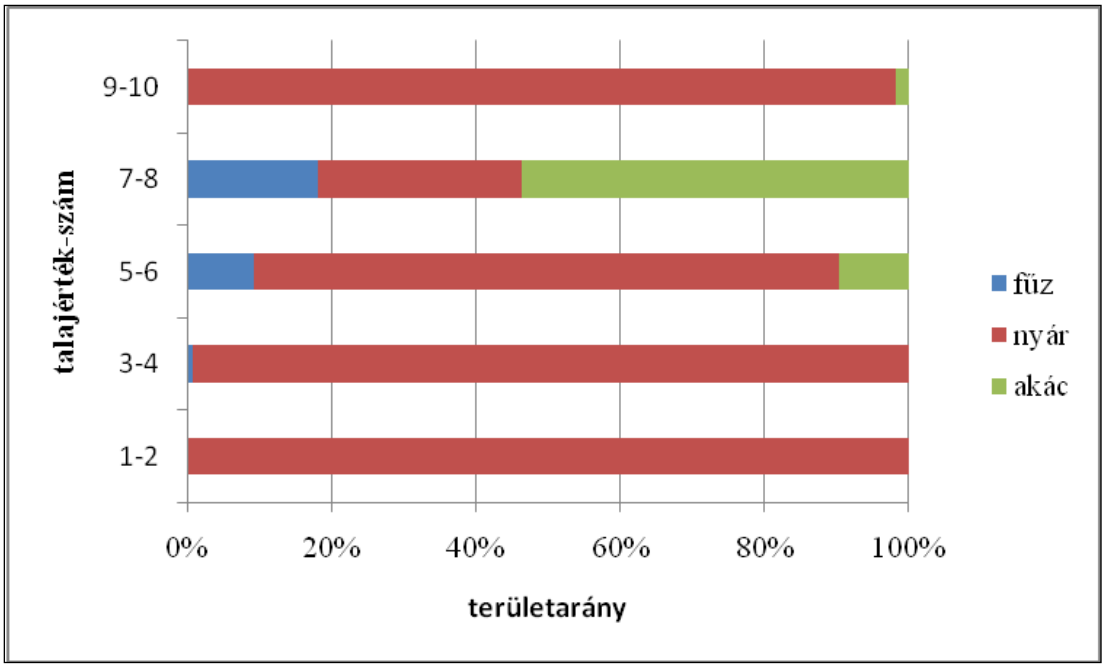
A **3. szcenárió** esetében már a 110-nél nagyobb agrár-környezeti értékszámmal rendelkező területek is beletartoznak a potenciális területekbe. A terület nagysága **687 ezer hektár**. Véleményem szerint ezen szcenárió esetében már olyan területek is bevonásra kerülnének, amelyek a környezeti fenntarthatóságot tekintve már veszélyeztetve lennének. Ezért a fás szárú energianövények ekkora szintű elterjedését már nem tartom előnyösnek. Így a további vizsgálatok során ezzel a szcenárióval nem foglalkozom.

a) 1. SZCENÁRIÓ

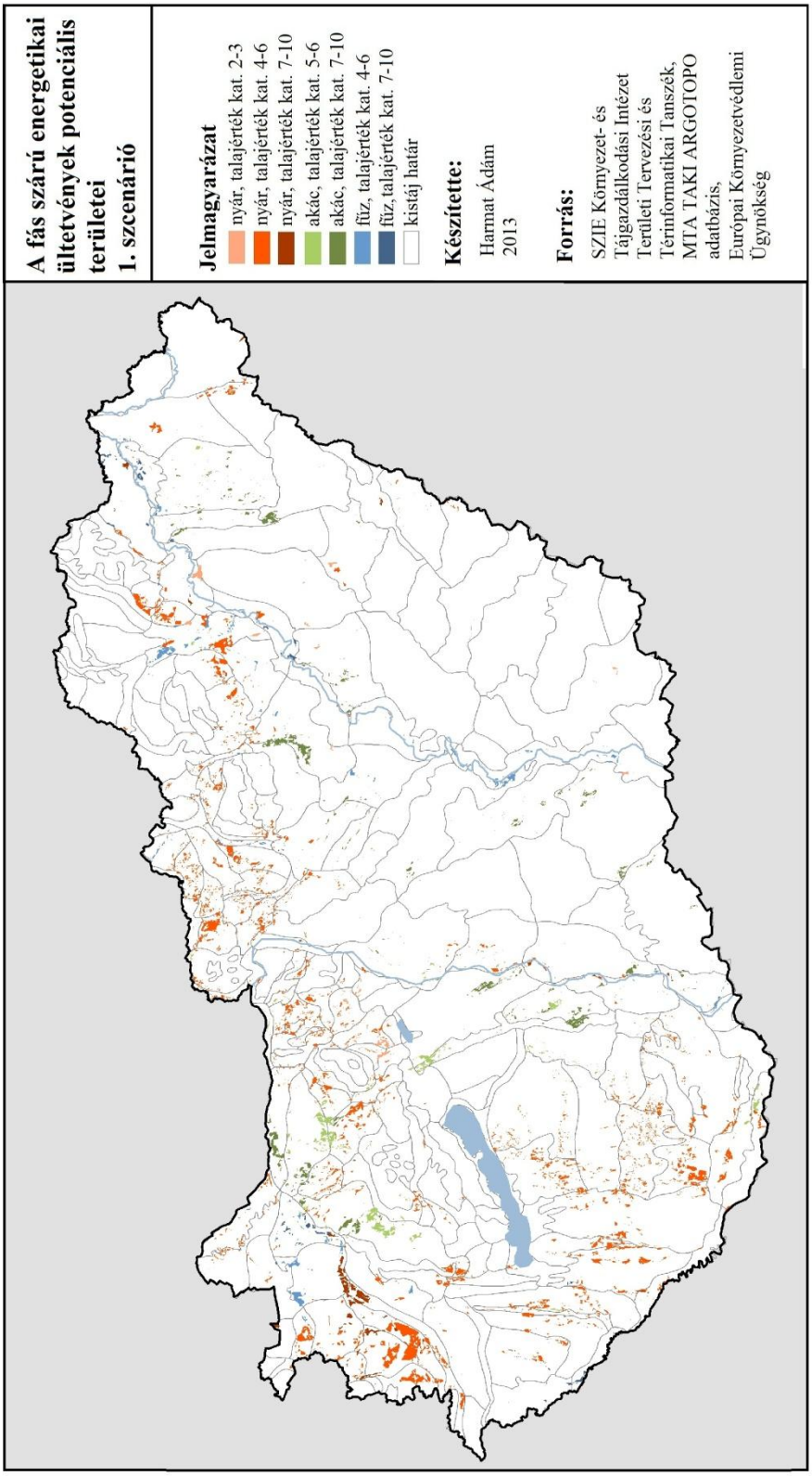
A *3. ábra* mutatja be a fás szárú energetikai ültetvények területi kiterjedését az 1. szcenárió esetén. Az ültetvények legnagyobb arányban a nyugat-magyarországi peremvidéken lehetnek jelen. Egyes kistájak esetén arányuk akár a 15%-ot is meghaladhatja. Ilyen kistájak: Rábai teraszos-sík, Ikva-sík, Harangod, Nógrádi-medence, és Súri-Bakonyalja.

Az akác legnagyobb mértékben a Dél-Mezőföldön, az Igmánd-Kisbéri medencében, a Sárvíz-völgyben, a Győr-Tatai teraszvidéken, valamint a Pápa-Devecseri síkon teremhet. A fűz a Sajó-Hernád–síkon, a Csornai-síkon, a Mura-balparti síkon, a Rétközön, illetve a Kapuvári-síkon teremhet a legnagyobb arányban. A nyár számára a legelőnyösebb kistájak a Rábai teraszos sík, Harangod, a Nógrádi-medence, valamint az Ikva-sík. Ezen kistájak több, mint 15%-át a nyár foglalhatja el. Ezen kistájakon kívül további 6 kistájon részaránya meghaladhatja a 10%-ot.

A talajérték-szám megoszlást tekintve a fűz és az akác a rosszabb értékszámú talajokon lehet jelen, míg a nyár ugyanúgy előfordulhat a jó, mint a rossz talajérték-számmal rendelkező területeken (*2. ábra*).



2. *ábra: Az egyes fajok termőhelyének talajérték-szám szerinti eloszlása az 1. szcenárió szerint. (Forrás: saját szerkesztés.)*

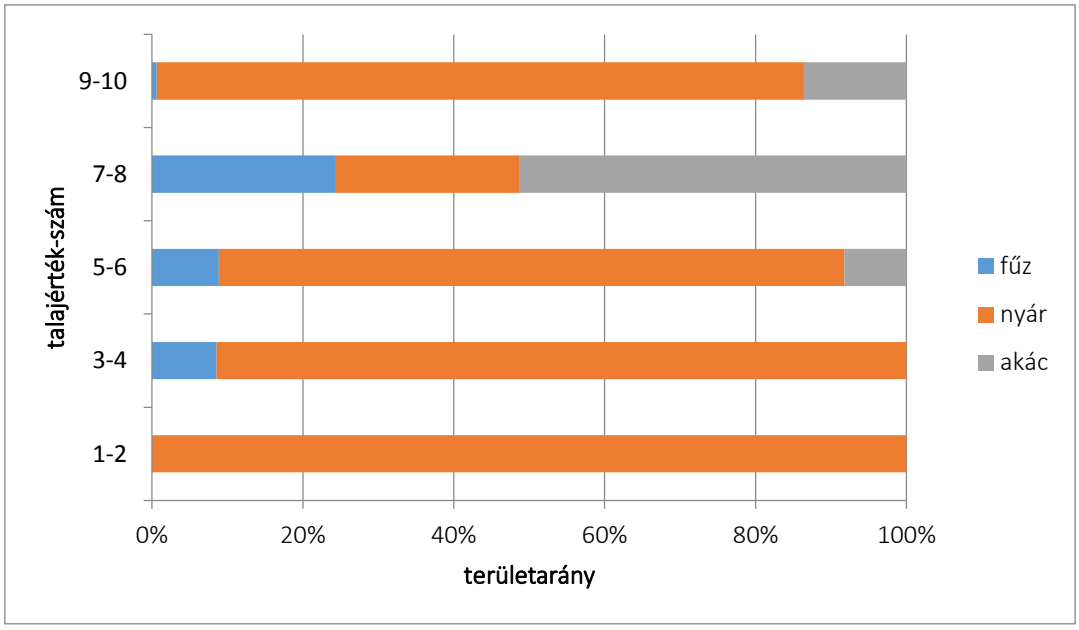


3. ábra: Az egyes fajok területi kiterjedése talajértékszám szerint az 1. szcenárióban.

b) 2. SZCENÁRIÓ

Az *5. ábra* mutatja be a fás szárú energetikai ültetvények területi kiterjedését az 2. szcenárió esetén. Amint láthatjuk, az ültetvények területe még koncentráltabb lett. Ezen szcenárió esetében két kistájnál – a Rábai teraszos sík és a Nógrádi-medence – az ültetvények **aránya a kistájon belül a 30%-ot is meghaladhatja, de további 10 kistáj esetében az ültetvények lehetséges területi aránya 20% felett van**.

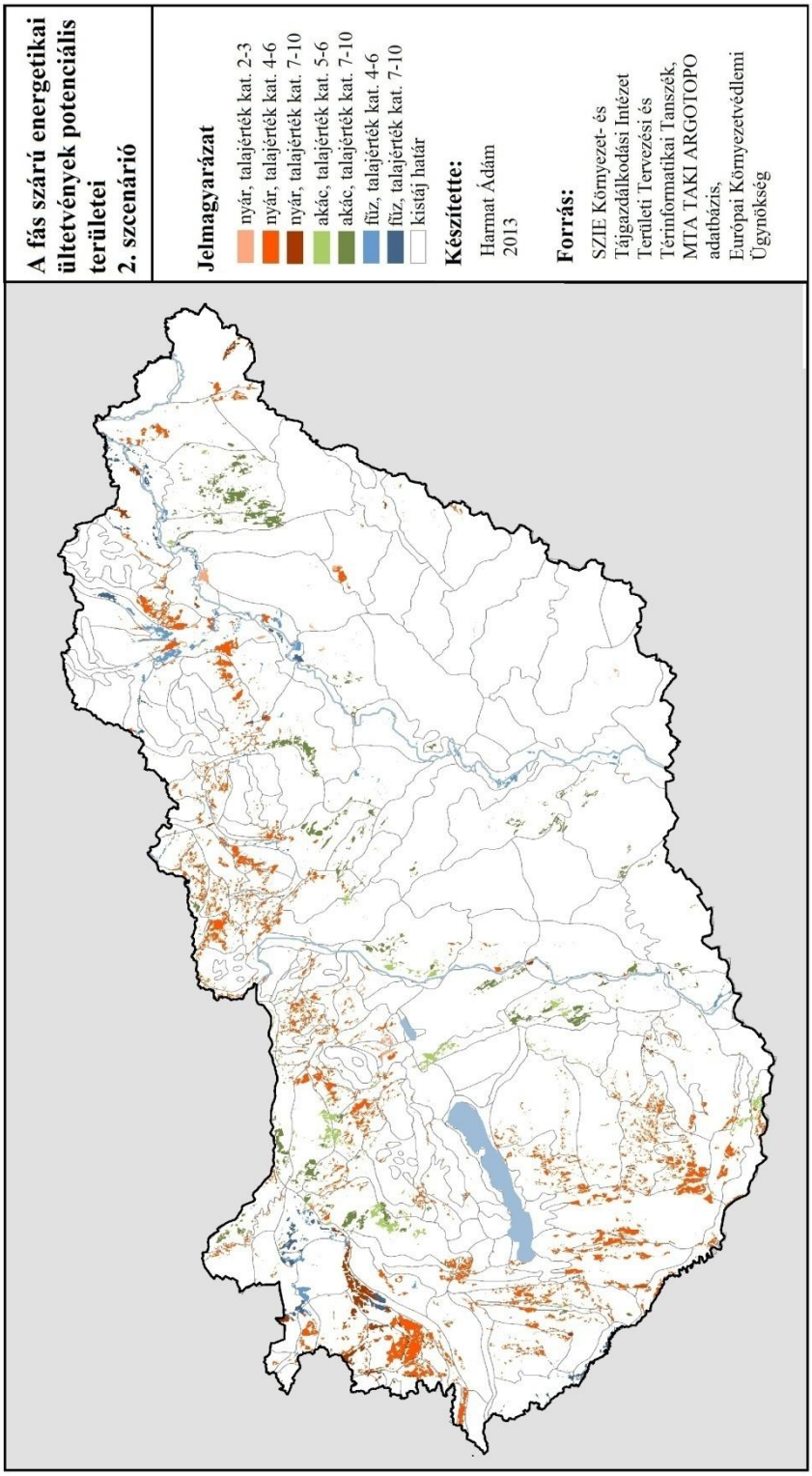
A talajérték-szám megoszlása szerint az 1. szcenárióhoz képest az alacsonyabb minőségű talajokon már jelentős az akác szerepe, de ugyanakkor a fűz aránya is növekszik ezeken a termőtalajokon. Ugyanakkor a legszélesebb termőhelyi spektrummal továbbra is a nyár rendelkezik (*4. ábra*).



4. ábra: Az egyes fajok termőhelyének talajérték-szám szerinti eloszlása az 2. szcenárió szerint.

A két szcenárió összehasonlítva fontos következtetést vonhatunk le. A szakirodalom döntő része szerint a 492 ezer hektár területi potenciál reálisnak mondható. Azonban, ha megfigyeljük annak területi kiterjedését, akkor a nagy területi koncentráció miatt egyes kistájakon a területi aránya olyan mértékben megnőhet, ami már negatív hatással lehet a lokális környezetre. A nagy, összefüggő területű ültetvények negatív hatással lehetnek a

talajvíz-szintjére és a biodiverzitásra. Ezért természeti szempontból **előnyösebbnek tartom az 1. szcenáriót**.



5. ábra: Az egyes fajok területi kiterjedése talajértékszám szerint a 2. szcenárióban.

3.3. A POTENCIÁLIS FÁS SZÁRÚ ENERGIAÜLTETVÉNYEK VILLAMOS ENERGETIKAI POTENCIÁLJA

Mivel a kijelölt területeken létrehozandó ültetvények elsődleges rendeltetése az energetikai felhasználás, fontos kérdésként merül fel annak energetikai potenciálja.

Jelen fejezet keretében a legvalószínűbb, 1. szcenárióban kijelölt területek energetikai potenciálját vizsgálom meg. Mivel a fás szárú ültetvények leghatékonyabban a kapcsoltan hőt- és villamos energiát előállító erőművekben használják fel, ezért vizsgálatom azon a feltételezésen alapul, hogy az energia előállítása kizárólag ilyen típusú erőművekben valósul meg, kistérségi szinten.

a) A KAPCSOLT ENERGIATERMELÉSRE LEGALKALMASABB TELEPÜLÉSTÍPUS MEGHATÁROZÁSA

A kapcsolt energiatermelés hatékonyságának kapcsán kulcskérdés, hogy mekkora a hasznos hőmennyiség, ugyanis ha a hő nem tud hasznosulni folyamatosan, akkor az energiatermelés hatékonysága jelentősen csökkenhet. Ennek okán abból a feltételezésből indultam ki, hogy a kapcsoltan termelő erőművek a kistérségi központokban valósulnak meg, mivel a kistérségi központokban lokális szinten nagyobb az energiafelhasználás, így a nyári időszakban nagyobb valószínűséggel hasznosul a hő, illetve az abszorpciós hő. A 6. táblázat alapján egy átlagos kistérségi székhely 21-szer több földgázt használ fel egy évben, a távhőellátásra felhasznált energia pedig 497-szer nagyobb, mint a többi egyéb település esetében (az összehasonlításból Budapestet kihagytam a torzítások elkerülése végett).

	Szolgáltatott összes villamos energia mennyisége (1000 kWh)	Az összes szolgáltatott vezetékes gáz mennyisége (átszámítás nélkül) (1000 m^3)	Távhőellátásra felhasznált hőmennyiség a lakosság részére (GJ)	Melegvíz-hálózatba bekapcsolt lakások száma (db)
Egyéb település átlaga	3 317	1 114	147	4
Kistérségi székhely átlaga	98 732	23 417	73 326	2 095

6. táblázat: Kistérségi székhely, illetve egyéb települések átlagos energia-felhasználási mutatói, 2010. (Forrás: statinfo.ksh.hu alapján saját szerkesztés.)

A fenti tényező mellett a kistérségi központok mellett szól, hogy a közlekedési hálózat révén a faapríték könnyebben beszállítható.

b) A PÉNZÜGYI FEDEZETI TÁVOLSÁGON KÍVÜL ESŐ TERÜLETEK KIZÁRÁSA A VIZSGÁLATBÓL

A következő lépésben azon területeket zártam ki a vizsgálatból, amelyek kívül esnek a még gazdaságos szállítási távolságból. DOBOS A. és társai (2006) végeztek érzékenységvizsgálatot akác és nemes nyár faaprítékok szállítására vonatkozóan. Az elvégzett számítások szerint a fedezeti pont akác esetén 16,7+16,7 km. A nyárültetvényen képződő nagyobb aprítéktömeg távolabbi fogadóhelyekre is gazdaságosabban elszállítható a kisebb fajlagos költségek miatt, így a nyár esetében a fedezeti távolság 26,3+26,3 km. A fűzre nem végeztek kísérletet. Azonban ha figyelembe vesszük, hogy a szállítási távolságot legnagyobb mértékben a terméshozam befolyásolja, akkor elmondható, hogy annak fedezeti távolsága megegyezik a nyáréval.

Mivel nem állt rendelkezésemre olyan adatbázis, amely lehetővé tette volna a szállítási távolság vizsgálatát az úthálózaton, ezért korrigált légvonalbeli távolsággal vizsgáltam a kizárandó területeket. PINTÉR G. (2012) doktori értekezésében vizsgálta a közúti hálózat és a légvonalbeli távolság összefüggését Magyarországon. Kutatási eredményei alapján 1 km

légvonalbeli távolság 1,4 km közúti távolságnak felel meg. Így az ArcGIS programban minden kistérség esetében létrehoztam akácfajok vizsgálata esetében egy 11,92 km sugarú, illetve a nyár és a fűz esetében egy 18,85 km sugarú bufferzónát. Ezek segítségével meg tudtam határozni azon területeket, amelyek egyik kistérségi székhelye esetében sincsenek a fedezeti távolságon belül. Így 18 ezer hektár kikerült a vizsgálat területből, a potenciális terület pedig 237 ezer hektárra csökkent.

c) AZ EGYES KISTÉRSÉGI KÖZPONTOKHOZ TARTOZÓ RENDELKEZÉSRE ÁLLÓ ENERGIA-MENNYISÉG MEGHATÁROZÁSA

Következő lépésként a potenciális területeket úgy osztottam fel, hogy minden egyes pont a hozzá legközelebb eső kistérségi központhoz kerüljön. Ezt az ArgGIS szoftverben előhívható Thiessen-polygonok segítségével végeztem el, amely az egyes kistérségi központhoz tartozó terület határát úgy határozza meg, hogy az azon belül lévő egyes pontok az adott kistérséghez esnek a legközelebb. Ezt a lépést külön végeztem el mindhárom fajra talajérték-számok szerint külön. Így végül megkaptam, hogy az egyes kistérségi központokhoz milyen fajú, és milyen talajérték-számú területek tartoznak.

Ezek alapján meg tudtam határozni a várható hozamot, és így az energiapotenciált. A várható hozamokat úgy számoltam, hogy az egyes fajoknál már bemutatott várható maximális és minimális hozamskálát felosztottam a talajérték-számok szerint a következőképpen:

Talajérték-szám kategória	Fűz várható hozama (t/ha)	Akác várható hozama (t/ha)	Nyár várható hozama (t/ha)
1-2	24	20	22
3-4	22,5	17,5	20,75
5-6	21	13	19,5
7-8	19,5	9,5	18,25
9-10	18	6	17

7. táblázat: Az egyes fás szárú energiaültetvény fajok várható hozamai a talajértékszám-kategóriák alapján. (Forrás: saját szerkesztés, BARKÓCZY Zs. – IVELICS R. 2008 hozamszámításai alapján.)

A hozamok alapján az energiatartalmat CSIPKÉS M. (2011) adatai alapján számoltam ki, amely szerint 15%-os nedvességtartalom mellett a fűz és az akác energiatartalma 14,8 MJ/kg, nyár esetében 15,1 MJ/kg.

d) A LEHETSÉGES BIOMASSZA ERŐMŰVEK TELJESÍTMÉNYÉNEK MEGHATÁROZÁSA AZ EGYES KISTÉRSÉGI KÖZPONTOK ESETÉN

Az egyes kistérségi központokhoz tartozó energiamennyiségek alapján meghatároztam, hogy mekkora teljesítményű erőmű hozható létre, illetve az mennyi hő-, illetve villamos energiát tudna termelni. Számításaim során az Organic Rankine Cycle típusú erőművet vettem alapul, amely a rendelkezésre álló energiamennyiség 27%-ból villamos energiát, 57%-ból pedig hőenergiát állít elő. Az évi üzemelési időt 8 000 órának vettem. Annak meghatározására, hogy az előállított hőből mennyi hasznosul ténylegesen, NÉMETH K. (2011) doktori értekezésében fellelhető, a pornóapáti fűtőmű erre vonatkozó adatai használtam fel, amely szerint ez az arány 59,7%.

Mivel a legnagyobb hatékonyságot csak akkor érjük el, hogyha a hő teljes mértékben hasznosul, ezért azoknál a településeknél, ahol az előállított hő meghaladja a januárban

felhasznált földgáz mennyiségét (amikor is a legnagyobb a hőigény), megvizsgáltam, hogy mekkora az az ültetvény-nagyság, ami már nem szükséges a település energiaellátásához, és az az ültetvény beletartozik-e más, szomszédos kistérségi székhely még gazdaságos szállítási távolságot kijelölő területébe.

A megfelelő statisztikai adatok hiányában a januári földgáz-felhasználást NÉMETH K. (2011) doktori értekezésében fellelhető, a pornóapáti fűtőmű tüzelőanyag felhasználásának havi váltakozása alapján határoztam meg. A fűtőmű esetében január hónapban az évi összes tüzelőanyag ~20%-át használják fel. Ez alapján kiszámítható, hogy azon kistérségi központoknál, ahol a fatüzelésből előállított hő 2,64-szer nagyobb, mint a földgázfelhasználás, ott az egész település januári hőigénye teljes mértékben fedezhető. A számítási eredményt torzítja, hogy a településen nem kizárólag földgázzal valósul meg a hőellátás.

14 kistérségi központ esetében az előállítható hő és a fölgáz aránya nagyobb, mint 2,64. Ebből 2 település, Lengyeltóti és Vasvári esetén az ily módon feleslegessé vált ültetvények vagy nem estek a szomszédos települések még gazdaságos szállítási zónájába, vagy a szomszédos településeknél is a maximalizált az előállított hő és a földgázfelhasználás aránya.

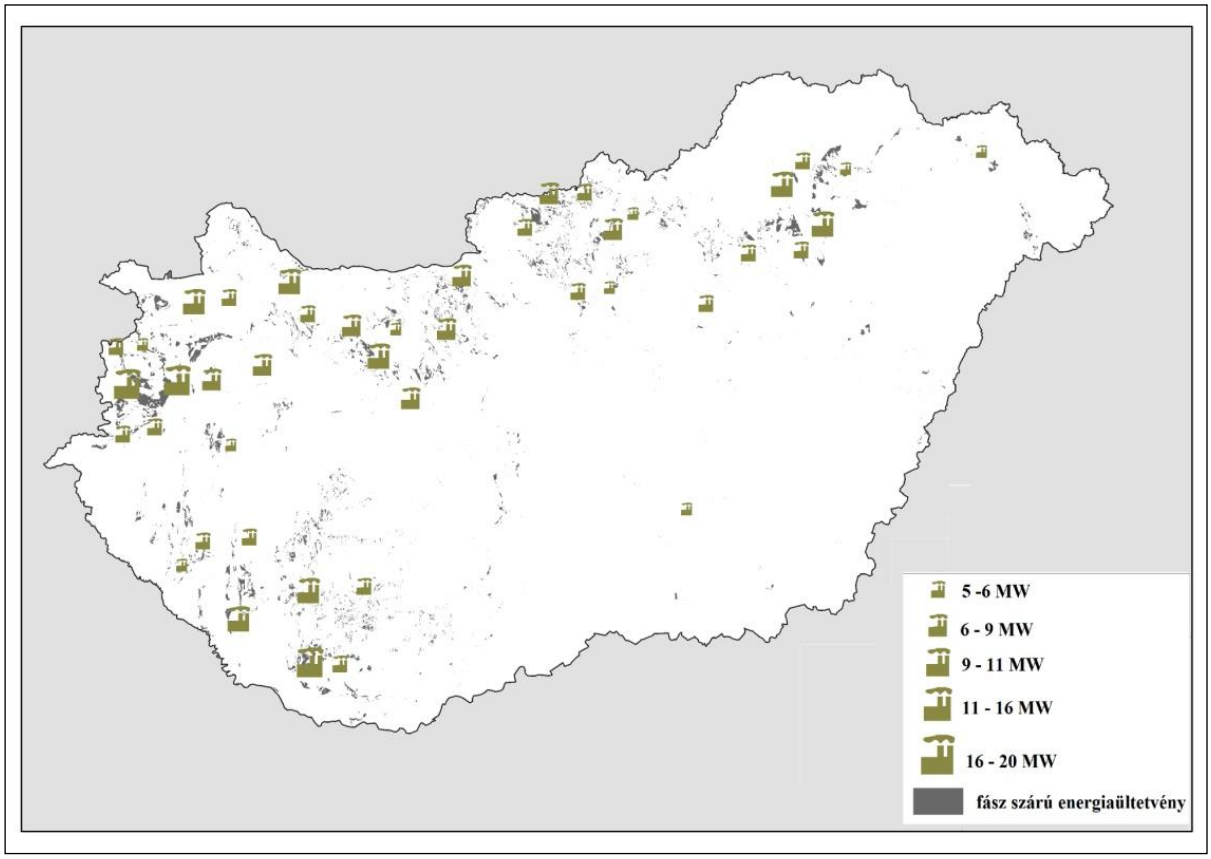
További korrekcióként azon településeknél, ahol a teljesítmény nagyobb, mint 20 MW, szintén megvizsgáltam, hogy van-e olyan, a településhez rendelt ültetvények közül, amelyik beleesik más, szomszédos település még gazdasági szállítási zónájába, és így az ültetvények elvonásával teljesítménye 20 MW-ra csökkenhet. Ezt a korrekciót egyedül Szombathelyre kellett elvégeznem.

A *8. táblázat* tartalmazza az 5 MW-nál nagyobb beépített teljesítményű erőmű építésére alkalmas kistérségi központokat.

Településnév	Össszes rendelkezésére álló energia (TJ)	Előállított villamos energia (TJ)	Hasznos teljesítmény (MW)	Előállított hő (TJ)	Fogyasztóhoz eljutatott hő (TJ)	Földgáz-kiváltás
Sárvár	2 132	576	**20,0**	1 215	725	**1,39**
Szombathely	2 130	575	**20,0**	1 214	725	**0,25**
Szigetvár	1 812	489	**17,0**	1 033	617	**2,49**
Tiszaújváros	1 664	449	**15,6**	948	566	**1,13**
Mór	1 535	415	**14,4**	875	522	**1,16**
Nagyatád	1 480	400	**13,9**	844	504	**1,55**
Győr	1 368	369	**12,8**	780	465	**0,09**
Kapuvár	1 327	358	**12,4**	756	452	**2,02**
Miskolc	1 294	349	**12,1**	737	440	**0,13**
Kaposvár	1 280	346	**12,0**	730	436	**0,22**
Balassagyarmat	1 151	311	**10,8**	656	392	**1,05**
Pápa	1 120	302	**10,5**	638	381	**0,58**
Kisbér	1 112	300	**10,4**	634	378	**2,64**
Pásztó	1 106	299	**10,4**	630	376	**1,88**
Bicske	1 080	292	**10,1**	616	368	**1,53**
Dorog	1 035	279	**9,7**	590	352	**0,39**
Celldömölk	1 006	272	**9,4**	574	342	**1,15**
Székesfehérvár	972	262	**9,1**	554	331	**0,08**
Dombóvár	933	252	**8,7**	532	318	**0,82**
Szécsény	921	249	**8,6**	525	314	**1,59**
Kőszeg	896	242	**8,4**	511	305	**1,24**
Rétság	888	240	**8,3**	506	302	**2,64**
Körmend	846	229	**7,9**	482	288	**0,67**
Csorna	837	226	**7,8**	477	285	**0,51**
Pannonhalma	822	222	**7,7**	469	280	**2,64**
Vasvár	820	221	**7,7**	467	279	**2,64**
Szikszó	803	217	**7,5**	458	273	**1,41**
Szentlőrinc	774	209	**7,3**	441	263	**2,36**
Marcali	771	208	**7,2**	440	262	**0,83**
Mezőkövesd	748	202	**7,0**	426	255	**0,65**
Aszód	724	195	**6,8**	413	246	**1,80**
Heves	723	195	**6,8**	412	246	**1,27**
Zalakaros	712	192	**6,7**	406	242	**1,85**
Mezőcsát	701	189	**6,6**	399	238	**2,64**
Csongrád	604	163	**5,7**	344	205	**0,51**
Oroszlány	598	161	**5,6**	341	203	**1,19**
Csepreg	597	161	**5,6**	341	203	**2,64**
Hatvan	588	159	**5,5**	335	200	**0,35**
Szerencs	583	157	**5,5**	332	198	**0,93**
Sümeg	580	157	**5,4**	330	197	**1,78**
Kisvárda	578	156	**5,4**	329	197	**0,36**
Bátonyterenye	553	149	**5,2**	315	188	**0,85**
Nagykanizsa	545	147	**5,1**	311	185	**0,10**

8. táblázat: A létesíthető erőmű településenként, ahol a nettó teljesítmény legalább 5 MW.

Az erőművek eloszlását szemlélteti a *6. ábra*. Látható, hogy a potenciális erőművek elsősorban a Dél-Dunántúlon, az Észak-Dunántúlon, illetve az Északi-középhegység mentén helyezkednek el.



6. ábra: A potenciális, 5 MW-nál nagyobb erőművek elhelyezkedése.

A rendelkezésre álló összes energia a faültetvényekről 63 PJ. Az előállított összes villamos energia 4 767 GWh, amely az országos fogyasztás ~10%-a. Az előállított összes hő 36 PJ, amiből 21 PJ hasznosítható. A 175 kistérségi központból 108 esetében legalább 1 MW nettó teljesítményű erőműt el tudna látni az adott ültetvény. 43 település esetében legalább 5 MW, 15 település esetében pedig legalább 10 MW nettó teljesítményű erőmű biztosítható.

ÖSSZEGZÉS

A fosszilis energiahordozókra épülő energiarendszer azok fokozatos kimerülése, illetve a globális környezeti problémák miatt változtatásra kényszerül. Erre kitűnő lehetőség a megújuló energiaforrások hasznosítása. Magyarországon ugyanakkor a szántóföldi területek jelentős részénél szükség van a művelési ág váltásra.

Kutatásomban kimutattam, hogy a jelenleg használt 4,3 millió hektár szántóföldből 255 ezer hektáron középtávon, további 237 hektáron pedig hosszútávon optimális lehetőség lenne a fás szárú energiaültetvény telepítése. A legnagyobb tőszámmal telepíthető faj a nyár, amelyet az akác, majd a fűz követ.

A középtávon megvalósítható 255 ezer hektár energetikai ültetvény egy olyan decentralizált energiarendszerben, ahol az energiatermelés a kistérségi központokban kapcsoltan valósul meg, 63 PJ energiamennyiséget tudna biztosítani évente. Ebből a kistérségi erőművek 4 767 GWh villamos energiát, és 36 PJ hőenergiát tudnának előállítani. A 175 kistérségi központból 108 esetben legalább 1 MW, 43 település esetében legalább 5 MW, és 15 település esetében legalább 10 MW nettó teljesítményű erőművi kapacitás lenne biztosítható.

A vizsgálatom alátámasztja azt a tényt, hogy Magyarországon a természeti feltételek adottak, hogy a mai energiarendszert egy decentralizált, megújuló energiaforrásokon alapuló energiarendszer váltsa fel (MUNKÁCSY B. – SÁFIÁN F. 2011). Ehhez viszont szükségszerű döntéshozóink támogatása is.

FELHASZNÁLT IRODALOM

ALEXOPOLOU E. [koord.] (2010): Future Crops for Food, Feed, Fiber and Fuel. – Project final report, 47 p. http://www.4fcrops.eu/pdf/intranet-wp8/final%204fcrops%20report.pdf (letöltve: 2013.04.05)

ÁNGYÁN J. – FÉSŰS I.– PODMANICZKY L. – TAR F. [szerk.] (1999): Nemzeti Agrár környezetvédelmi Program - a környezetkímélő, a természet védelmét és a táj megőrzését szolgáló mezőgazdasági termelési módszerek támogatására – I. kötet, Alapok. – FVM agrár-környezetgazdálkodási tanulmánykötetek Budapest 85 p.

BARKÓCZY ZS. – IVELICS R. (2008): Energetikai célú ültetvények. – Erdészeti kisfüzetek, Magán-erdőgazdálkodási Tájékoztató Iroda, Sopron, 2008, 86 p.

BOROVICS A. (2008): Energetikai faültetvények gyakorlati megvalósítása, előadás-kivonat, 16 dia: http://www.bacsmagrarkamara.hu/site/e107_files/downloads/rendezveny/apponyi/04_borovics_attila_energetikai_faultetvenyek_gyakorlati_megvalositasa.pdf (letöltve: 2013.02.11)

CASLIN, B. – FINNAN, J. – MCCRACKEN, A. (2010): Short Rotation Coppice Willow Best Practice Guidelines. – Agriculture and Food Development Authority, Agri-Food and Bioscience Institute, 70 p. http://www.agriculture.gov.ie/media/migration/ruralenvironment/environment/bioenergyscheme/WillowBestPracticeManual010812.pdf

CSIPKÉS M. (2011): Egyes energia-növények gazdasági elemzése, valamint hatásuk a földhasználatra. – Ph.D. értekezés, Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma, Gazdálkodástudományi és Vidékfejlesztési Kar, Gazdaságelemzés-módszertani és alkalmazott informatikai intézet, Ihrig Károly gazdálkodás-és Szervezéstudományok doktori iskolája, Debrecen, 211 p.

DOBOS A. - MEGYES A. - SULYOK D. (2006): Fásszárú növények energetikai célú hasznosításának lehetőségei a Nyírbátori kistérségben. - Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum Földműveléstani és Területfejlesztési Tanszék, Debrecen 37 p.

DÖMSÖDI J. (2007): A földértékelés, földminősítés módszertani elemzése (rendszerezése) és továbbfejlesztése - in: Geodézia és Kartográfia, LIX. évf. 3. szám, Magyar Földmérési, Térképészeti és Távérzékelési Társaság, pp. 26-34

EUROPEAN ENIVRONMENTAL AGENCY (2006): How much bioenergy can Europe produce without harming the environment. - EEA Report No. 7/2006, Koppenhága, 67 p.

EUROPEAN ENIVRONMENTAL AGENCY (2007): Estimating the environmentally compatible bioenergy potential from agriculture. – EEA Report, No. 12/2007, Koppenhága, 134 p.

FIALA, M. – BACENETTI, J. – SCARVONATI, A. – BERGONZI, A. (2010): Short rotation coppice in Northern Italy: Comprehensive sustainability. – 18th European biomass Conference and Exhibition, http://air.unimi.it/bitstream/2434/167379/2/(B_11_C)_EU_Biomass_Conference_Lyon_2010.pdf (letöltve 2013.04.04)

FISCHER G. – PREILER S. – VANVELTHUIZEN H. - BERNDES G. – FAAIJ A. – LONDO M. – DE WIT M. (2010): Biofuel production potentials in Europe Sustainable use of cultivated land and pastures. Part I: Land productivity potentials - Biomass and Bioenergy, 34. 2. pp. 159-172.

GOCKLER L. (2010): Fás szárú energiaültetvények a mezőgazdaságban – 2. rész – A sarjaztatásos fás szárú energiaültetvények technológiájának megfontolandó elemei. – Mezőgazdasági technika, 51., 11., pp. 40-43

GONCZLIK A. – KAZAI ZS. – KŐRÖS G. (2005): Új utak a mezőgazdaságban – Az energetikai célú növénytermesztés lehetősége az Alföldön. – Energia Klub Környezetvédelmi Egyesület 62 p. http://www.kothalo.hu/kiadvanyok/biomasszakezikonyv.pdf (letöltve 2013.04.01)

HAJDÚ J. (2006): A mezőgazdasági eredetű biomasszák energetikai hasznosítása Magyarországon in: Bioenergia magazin, I. évfolyam 1. szám, 2006 pp. 7-23

HAJDÚ J. (2009): A szilárd biomassza hőenergetikai hasznosítása. – OBEKK Tudományos Szakmai Kiadványok, OBEKK Zrt, Gödöllő, 22 p.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2007): Good Practice Guidelines – Bioenergy Project Development & Biomass Supply 61 p. http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/biomass.pdf (letöltve: 2013.04.02)

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2011): Quantifying environmental effects of Short Rotation Coppice (SRC) on biodiversity, soil and water. – IEA Bioenergy report, Task 43, 33 p.

IVELICS R. (2006): Minirotációs energetikai faültetvények termesztés-technológiájának és hasznosításának fejlesztése. – Ph.D. értekezés, Nyugat-magyarországi Egyetem Kitaibel

Pál Környezettudományi Doktori Iskola Biokörnyezettudomány Program, Sopron, 117 p.

KOHLHEB N. – PODMANICZKY L. – SKUTAI J. (2009): Magyarország felszínborítottságának lehetőségei az éghajlatvédelemben, Körtáj Tervező Iroda Kft., 75 p.

KUPI K. (2002): A Bodrogköz tájértékelése a növénytermesztés szempontjából. – Ph.D. értekezés, Szent István Egyetem Környezettudományi Doktori Iskola, Gödöllő, 128 p.

JUHOS K. – MAGYAR L. – GURÁLY A. – SZABÓ V. – BÚCSI A. – NÁDOSY F. (2011): Az energetikai faültetvények fajta- és technológiai kérdései. – In: SZABÓ V. – FAZEKAS I. (szerk.): Környezettudatos energiatermelés és felhasználás, Debrecen, pp. 47 – 53

MAROSVÖLGYI B. - HALUPA L. (1996): Biomassza energetikai kísérletek eddigi eredményeinek összevető elemzése. ERTI kutatási jelentés, Budapest

MCKAY, H. [szerk.] (2011): Short Rotation Forestry: review of growth andenvironmental impacts. *Forest Research Monograph*, 2, Forest Research, Surrey, 212pp.

MUNKÁCSY B. (2011): 100%-ban megújuló energiára alapozott energiatervezés. In: Erre van előre!: Egy fenntartható energiarendszer keretei Magyarországon Vision 2040 Hungary 1.0.– Környezeti Nevelési Hálózat Országos Egyesület, Szigetszentmiklós, pp. 14-16.

MUNKÁCSY B. – SÁFIÁN F. (2011): A Vision 2040 Hungary energia-forgatókönyv által felvázolt jövőkép. In: Erre van előre!: Egy fenntartható energiarendszer keretei Magyarországon Vision 2040 Hungary 1.0.– Környezeti Nevelési Hálózat Országos Egyesület, Szigetszentmiklós, pp. 114-116.

NÉMETH K. (2011): Dendromassza-hasznosításon alapuló decentralizált hőenergia-termelés és felhasználás komplex elemzése. – Ph.D. értekezés, Pannon Egyetem Állat- és Agrárkörnyezet-tudományi Doktori Iskola, Keszthely, 151 p.

PÁLFI J. (2008): Fás szárú energianövények versenyképességének az összehasonlítása hagyományos szántóföldi kultúrákkal. – diplomamunka, Debreceni Egyetem Agrár és Műszaki Tudományok Centruma.

PINTÉR G. (2012): Egyes mezőgazdasági melléktermékek erőművi beszállításának elemzése Magyarországon. - Ph.D. értekezés, Pannon Egyetem Gazdálkodás- és Szervezéstudományok Doktori Iskolája, Keszthely, 103 p.

PÓLISKA CS. (2012): Fás szárú energianövények szerepe kistelepülések hőenergia ellátásában. – Anyagmérnöki Tudományok, 37. kötet 1. pp. 331-342

SOMOGYI Z. (2003): Erdő nélkül? – L'Harmattan, Budapest, 156 p.