

Földrajzi Közlemények 2015. 139. 4. pp. 273–287.

ÉSZAKNYUGAT-MAGYARORSZÁG ALKALMASSÁGA SZÉLERŐMŰVEK ÉS SŰRÍTETT LEVEGŐS ENERGIATÁROLÓ TELEPÍTÉSÉRE

HAVAS MÁRTON–HRENKÓ IZSÁK

THE POTENTIAL OF NORTHWEST HUNGARY FOR WIND TURBINE
AND COMPRESSED AIR ENERGY STORAGE INSTALLATION

Abstract

In this study we calculated the technical and socio-economic wind potential for five counties in Northwest Hungary. Potential areas, suitable for wind turbine installation, were selected using GIS softwares. Different parameters, in particular legal and technical obstacles, as well as environmental viewpoints, have been considered during the analysis. As a result of this calculation we obtained 2600MW socio-economic wind potential. However, the integration of this capacity to the National Grid cannot be fulfilled because of the intermittency of wind power production. To support the integration of wind turbines we looked for energy storage technologies. During our research, compressed air energy storage (CAES) became a feasible option for storing electricity produced by wind turbines. We collected the parameters necessary to implement a CAES plant. Given that CAES systems are mainly implemented in underground geological formations, we used geophysical and geological methods to select sites suitable for building such a plant. We analysed data of water drillings, as well as geological maps and the tomography of the region. Regarding water drillings, we used a step-by-step method to determine the suitability of each location. As a result of this we found that seven of them could be adequate for CAES plant installation. Afterwards we illustrated our results on maps by ArcGIS to help understand the areal connections between wind turbines and the CAES facilities. To summarize our research we found that compressed air energy storage could help wind turbine integration into the national grid in Northwest Hungary.

Keywords: compressed air energy storage, wind energy potential, porous rock reservoir, Northwest Hungary, GIS mapping

Bevezetés

Napjainkra egyre nyilvánvalóbbá válik, hogy a globális energiarendszer a jelenlegi formájában nem működtethető tovább hosszú távon. Ennek okai között említendő, hogy mind a forrás, mind pedig a kibocsátási oldalon súlyos problémák merültek fel. Ez többek között annak köszönhető, hogy a szakemberek az elmúlt 200 évben elhanyagolták az energetika erőforrás-gazdálkodási és környezetvédelmi szempontjait. Ráadásul az elmúlt évtizedekben az ipari országok kritikus energiafüggőségbe sodródtak, ami egyre inkább stratégiai és geopolitikai kihívásként jelentkezik.

A fenti problémák megoldása érdekében radikális irányváltásra van szükség mind az energiahatékonyság mind a forrásszerkezet tekintetében. A jövő energiarendszerét 100%-ban megújuló energiaforrásokon alapuló és nem feltétlen centralizált, annál inkább lokális léptékben kell elképzelnünk. Az irányváltás egyik meghatározó eleme a szélenergia alkalmazása, amely napjainkban a világ egyre több országában vállal jelentős szerepet az energiaigények kielégítésében.

A nemzetközi irányváltás és az ehhez társuló pozitív tendenciák ellenére a jelenlegi magyar energiarendszer csak minimális szinten segíti elő a szélturbinák elterjedését. Ugyanakkor a szélturbinák működése kapcsán felmerülő telepítési és működtetési aka-

dályokkal is számolnunk kell: többek között az energiaforrás időjárásfüggő termelésével, valamint ebből fakadóan a villamosenergia-rendszerbe integrálás nehézségeivel. A megújuló energiaforrások telepítésekor a technikai potenciál és az időjárástól függő megújuló energiaforrások minél szélesebb körű kihasználása érdekében – a hazánkban már jól ismert szivattyús tározás mellett – számos megoldást kell figyelembe vennünk. Ezek közé sorolható több energiatárolási technológia (power-to-gas, hidrogén, akkumulátor, sűrített levegős energiatárolás), a villamosenergia-hálózat rugalmasságának jelentős növelése, valamint a villamosenergia-fogyasztás időbeli befolyásolása.

A fentiek hazai alkalmazhatóságát, illetve bővebben a fenntartható energiarendszer magyarországi kiépítésének lehetőségét tizenöt éve kutatja az ELTE TTK Környezet- és Tájföldrajzi Tanszékének munkacsoportja MUNKÁCSY BÉLA vezetésével (MUNKÁCSY B. 2004, MUNKÁCSY B.–KNEIP Zs. 2011, MUNKÁCSY B. 2014). Tanulmányunk ennek a kutatási munkának egyik új állomásaként értelmezhető, amennyiben az eddigi vizsgálatokat az energiatárolás lehetőségeinek konkrét vizsgálatával egészíti ki.

A magyarországi adottságok ismeretében (például kis relief energia) jól alkalmazható sűrített levegős energiatárolás (SLET) egy a gyakorlatban már működő ipari méretű technológia. Ez lehetővé teszi, hogy abban az időszakban, amikor az áramtermelés meghaladja a fogyasztás mértékét, a felesleges áram és alkalmas földtani képződmény segítségével sűrített levegő formájában energiát tároljunk. A létesítmény hosszú kisütési időtartammal rendelkezik és akár részben feltöltött állapotban is képes megbízhatóan működni (SUCCAR, S. et al. 2008). A SLET létesítmények felszín alatti kialakítását illetően az utóbbi időben nem történt előrelépés (EPRI 1982b; EPRI 2012), azonban az elmúlt években a gépészetben történt fejlesztéseket tekintve az adiabatikus SLET (ASLET) vált vonzó, környezetkímélő megoldássá (IBRAHIM, H. 2008; BARBOUR, E. et al. 2015). Ez a továbbfejlesztett rendszer egy nagy kapacitású hőtartályt is tartalmaz, ezért lehetségessé válik a sűrítés során keletkező hő tárolása, majd későbbi felhasználása (BARBOUR, E. et al. 2015). Ez a technológia a hagyományos SLET létesítményekkel ellentétben kihagyja a folyamatból a kiengedett levegő földgázzal történő felmelegítését, így mérsékelve a környezeti terhelést.

Tanulmányunk a sűrített levegős energiatárolás magyarországi megvalósíthatóságát vizsgálja környezeti és földtani szempontból, valamint arra keresi a választ, hogy ez az energiatárolási technológia mennyiben tudna hozzájárulni a szélenergia minél nagyobb arányú szerepvállalásához a hazai villamosenergia-rendszerben. Míg a szélturbinák villamosenergia-hálózatba történő integrálása nem minden esetben vonja magával az energiatárolás szükségességét (energia import-export), addig egy ipari méretű energiatároló létesítménynek szerteágazó pozitív hatásai lennének Magyarországon. Ezek közül a legfontosabb, hogy ilyen módon a vizsgált szélturbinák – és más időjárásfüggő megújuló technológiák – által termelt villamos energia értéke jelentősen felértékelődne, mellyel egy időben a fogyasztói árak kedvező irányba tudnának elmozdulni.

Kutatásunk során Északnyugat-Magyarországon végeztünk vizsgálatokat, amely Komárom-Esztergom, Győr-Moson-Sopron, Vas, Veszprém és Zala megyét foglalja magába. A mintaterület kiválasztásakor a kedvező szélklimatikus adottságokat és a geológiai alkalmasságot vettünk figyelembe. A megyehatáros kiválasztást pedig a szélturbinák elhelyezhetőségének szempontjából elengedhetetlen megyénkénti területrendezési terv indokolja. A földtani vizsgálatot ehhez a lehatároláshoz igyekeztünk igazítani.

Kutatási kérdésünk: a szélenergia milyen mértékű elterjedését tenné lehetővé a sűrített levegős energiatárolás a vizsgált térségben – különösen annak tükrében, hogy a szélenergia az időjárás függvényében változó teljesítményű energiatermelési megoldásként jelenleg még gondot okoz a hazai rendszerirányítás számára.

Északnyugat-Magyarország szélenergia-potenciálja

Elemzésünket a korábban említett 5 megyére végeztük el. Előrebocsátjuk, hogy vizsgálódásunk sok tekintetben leegyszerűsítő, így például a teljes energiarendszer működésének csak igen kis területére terjed ki, ugyanakkor úgy véljük, hogy kiindulási alapként szolgálhat többek között további energiatervezési, tájhasználati, földtani kutatások számára.

Természetesen mind a szélturbinák telepítésének, mind pedig az energiarendszerbe történő csatlakoztatásuknak különböző kritériumai vannak. Ahhoz, hogy magát a rendszert egységében lássuk, először külön-külön vizsgáltuk meg a két technológiában (szélenergia és sűrített levegős energiátárolás) rejlő lehetőségeket, majd azt követően számításokat, becsléseket végeztünk az északnyugat-magyarországi térségre vonatkozóan ezek együttműködésének lehetőségeit kutatva.

Vizsgálatunkat a *technikai szélenergia-potenciál* meghatározásával kezdtük. A munka módszertani részében az ELTE TTK-n több mint 10 éve folyó kutatás tapasztalatait igyekeztünk felhasználni (MUNKÁCSY B. 2004; MUNKÁCSY B. et al. 2007). Körülhatároltuk a térség azon területeit, amelyek alkalmasak szélturbinák telepítésére, majd ebből számoltuk ki a beépíthető szélenergia-kapacitást. Ehhez először a szélturbina-telepítést befolyásoló tényezőket, elsősorban a jogszabályi és műszaki korlátokat kellett feltárnunk. Ezt követően a szélturbinák működési sajátosságából fakadó szélárnyékoló hatás és a korszerű turbinák műszaki paramétereinek figyelembe vételével határoztuk meg a térség technikai szélenergia-potenciálját.

A magyarországi viszonyok körültekintő vizsgálata után a szélturbinák mintaterületükön történő hipotetikus elhelyezéséhez számos szempontot kellett figyelembe vennünk. Ezen tényezőket a „*Tájékoztató a szélerőművek elhelyezésének táj- és természetvédelmi szempontjairól*” c. kiadvány (KVVM 2005) alapján mutatjuk be:

Kizáró okok között említhetjük:

- *Jogi szabályozás alá eső területek:* Nemzeti Park, Tájvédelmi Körzet, Természetvédelmi Terület, Natura 2000, Bioszféra Rezervátumok, Nemzeti Ökológiai Hálózat, Ramsari területek, Érzékeny Természeti Területek, Világörökség, Tájképvédelmi területek, Erdővel borított területek
- *Vonalas elemek:* Közlekedés hálózat, Energia hálózat, Vízfelületek
- *Beépített területek:* Települések belterülete, Ipari területek, Repülőterek

Fontos megjegyezni, hogy a területek védőzónával (puffer zóna) is rendelkeznek, melyeket az elemzések során figyelembe kellett vennünk. Ezen kívül *korlátozó tényező*ként merülhetnek fel például a csúszás- és belvívveszélyes területek.

A korlátozások mellett legalább ilyen fontos a kedvező adottságú területek feltérképezése. Ebből a szempontból a szélturbinák kapacitásfaktora a legfontosabb mutató, amely nem más, mint az adott terület széllklimája alatt éves viszonylatban átlagosan megtermelhető áram részaránya az optimális szélsébségnél elérhető maximális áramtermeléshez viszonyítva.

A kapacitásfaktor meghatározó tényezői az alábbiak (DWIA 2003 alapján):

- szélsébség;
- a szélturbina műszaki paraméterei, elsősorban oszlopmagassága, lapáthossza.

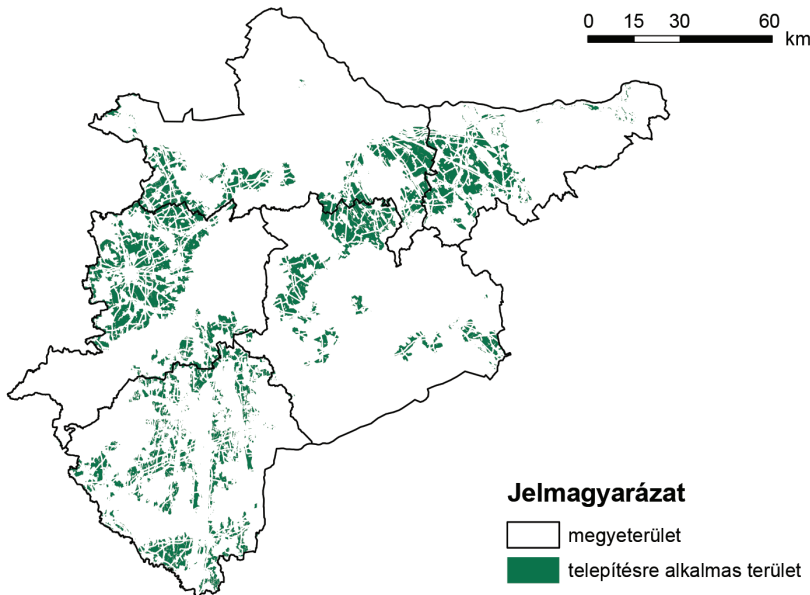
Az országos viszonylatban igen kedvező széllklimával indokolható, hogy jelenleg hazánk északnyugati térségében működik szélerőműveink meghatározó többsége. STRÓBL A. (2013) számítása szerint a magyarországi szélturbinák 2228 h/év csúcskihasználási óraszámánál

(25,4%-os kapacitás faktor) csak három ország, Írország, az Egyesült Királyság és Dánia szélerőművei mutatnak jobb eredményeket. A kiváló hazai adatok magyarázata két okra vezethető vissza: *a)* Magyarország esetében az ideális adottságú területekre kerültek a szél-erőművek, míg máshol területfejlesztési megfontolásból kedvezőtlenebb helyekre is telepítettek; *b)* hazánkban a 2000-es évek korszerű technológiáját alkalmaztuk, míg ahol jóval korábban elindult a szélenergiában rejlő lehetőségek kiaknázása, ott a kisebb, kedvezőtlenebb teljesítménytényezőjú berendezésekből is szép számmal akad (MUNKÁCSY B. – KNEIP Zs. 2011).

Kutatásunk során a MEKH-MAVIR (2014) adatai alapján vettük figyelembe a magyarországi szélturbinák kapacitásfaktorát: dolgozatunkban a több éves átlagértékkel, 24%-kal számoltunk.

A szélparkok kialakításakor a szélturbinák egymás között lévő távolságát jelentősen befolyásolja a „szélárnyék-hatás”, mely a turbinák kapacitás faktorának csökkenését idézi elő, ezt *park-effektusnak* nevezzük. Ennek minimalizálása érdekében egységnyi területre csak korlátozott számú berendezés helyezhető el, ami a DWIA (2003) módszertana alapján a jelenlegi átlagos technológia – 2,7 MW-os teljesítmény (ENDER, C. 2015) – figyelembe vételével egy 1 km²-es területen 4 db, összesen ~10 MW teljesítményű turbina telepítését teszi lehetővé.

A mintaterület technikai szélenergia-potenciáljának kiszámításához elsőként térinformatikai elemzéseket végeztünk (ArcGIS segítségével). Elsőként a korábbiakban említett kizáró tényezők fedvényeit összesítettük és ezen összterület inverzét használva kaptuk meg a térségben található alkalmas területeket (1. ábra). A térkép elemzése során megállapítottuk, hogy a vizsgált térség (5 megye – 18 055 km²) mindössze ~11%-a bizonyult alkalmasnak szélturbinák telepítésére, ami 2045 km²-nyi területet jelent. A korábban számított 10,4 MW/km² egységnyi területre jutó teljesítmény adatot felhasználva az 5 megyére 22 086 MW-nyi szélturbina-teljesítmény adódik, amit a térség technikai szélenergia-potenciáljának tekintünk.



1. ábra Szélturbina telepítésére alkalmas területek a térségben (HRENKÓ I.)
 Figure 1 Appropriate territories for wind turbine plantation in the sample area (HRENKÓ, I.)

Amit az eddig elvégzett elemzések alapján meg tudunk állapítani: a szélturbinák elhelyezéséhez Vas megye északnyugati részén, valamint Győr-Moson-Sopron, Veszprém és Komárom-Esztergom megyék határterületén találunk nagyobb, összefüggő területeket.

Munkánk következő fázisában az elméleti jellegű technikai potenciál mellett a gyakorlati szempontból reálisan kiépíthető társadalmi-gazdasági potenciál becslésére is kísérletet tettünk. Ehhez MUNKÁCSY B.–KNEIP Zs. (2011) által alkalmazott módszertant használva nemzetközi összehasonlításként a tengertől távolabb eső négy kelet-németországi tartomány (Brandenburg, Szász-Anhalt, Thüringia, Szászország) jelenlegi szélturbina teljesítményével, 12042 MW-tal számoltunk (ENDER, C. 2015). Ennek segítségével fajlagos mutatót képezve meghatároztuk az egységnyi területre jutó szél erőmű-teljesítményt (0,14 MW/km²). Ezt kutatási területünk 18055 km²-én alkalmazva közel 2600 MW-nyi *társadalmi-gazdasági szélenergia-potenciál* adódik, amelynek elérését 2050-ig könnyen megvalósíthatónak véljük.

A sűrített levegős energiatárolás lehetőségei a mintaterületen

Az általunk vizsgált öt megye együttes területének legnagyobb részét lefedő Kisalföld földtani szempontból ígéretesnek tűnt, hiszen üledékében olyan homokköves vízáadó rétegek találhatóak, amelyek a sűrített levegős energiatároló (SLET) kialakításához számításba vehetők (KUSHNIR, R. 2008; 2010). Ezt támasztják alá a Magyar Bányászati és Földtani Hivatal, valamint a Magyar Földtani és Geofizikai Intézet által rendelkezésünkre bocsájtott fúrási jegyzőkönyvek és Kisalföld földtanáról készült tanulmányok, térképek is. A Kisalföld területe 7700 km², átlagos tengerszint feletti magassága 120 méter, főleg neogén üledékek feltöltött medence. A harmadidőszaki miocénben kialakult felső- és az alsópannon rétegek, melyek főleg agyagos és homokköves rétegekből állnak, a Rába-vonal nagy szerkezeti egységeket elválasztó diszlokációs övétől keletre és nyugatra is megtalálhatóak (KÖRÖSSY L. 1958). KÖRÖSSY L. (1965) szerint, a Kisalföld medencealjzata a neogén előtt már annyira stabilizálódott, hogy a térszűkítő nyomóerőknek ellen tudott állni. Ennek köszönhetően a medenceüledékben nyomóerők által létrejött igazi gyűrt szerkezetek csak nagyon ritkán fordulnak elő. Következésképpen a neogén üledékek szerkezetének alakulását részben a medencealjzati mozgások, részben pedig az üledékek fokozatos tömörülése határozta meg. Ezért a medenceüledék szerkezetét a földtani képződményeket tekintve döntő többségében a gyűrődések által létrejött tektonok és felboltozódások uralják. Ideális tároló kőzetet keresve a vizsgálódásunk során az öt megyén belül ez bizonyult a legalkalmasabb területnek: úgy gondoljuk, hogy felszíni geofizikai mérésekkel, illetve kutatófúrásokkal az északnyugat-magyarországi térség, ezen belül a Kisalföld területén lenne lehetséges egy megfelelő csapda SLET létesítménnyé történő kialakítása.

A potenciális tárolók kiválasztásakor figyelembe kell venni a terület szerkezeti és rétegtani tulajdonságait, így például a vetődéseket és gyűrődéseket, a rétegek vastagodási és vékonyodási trendjeit, illetve a fácies változásait. Ha a környező fúrások adatainak vizsgálata után a porozitás és permeabilitás értékek a tároló-, illetve a záróréteg esetében is megfelelőnek bizonyulnak, következhet a szeizmikus mérés.

A hullámok terjedési sebességének változásait kihasználó, nagy felbontású szeizmikus mérés segítségével a kiválasztott terület földtani adottságairól részletes háromdimenziós képet kaphatunk. Amennyiben a szeizmikus mérések kedvező feltételekre engednek következtetni, megerősítésképpen tesztfúrásokat kell mélyíteni, melyekkel véglegesen eldönthetővé válik a helyszín alkalmassága. A fúrások száma és pontos koordinátája nagyon lényeges, hiszen beruházási költségük darabonként a több százmillió forintot is elérheti (SCHULTE, R. et al. 2012). Ezután a felszín alatti vizek tulajdonságainak tesztelésére van szükség. Az

Amerikai Egyesült Államokban a porózus kőzettestbe kialakított tárolók tesztelése során, a nagymélységű felszín alatti víz gyenge viszkozitása miatt nem tapasztaltak a – tárolóként kiképzett – levegőbuboréokra gyakorolt érdemleges torzító hatást. A porózus kőzettestekre fókuszáló amerikai vizsgálatok szerint az oxigén és a víz együttes jelenléte a fűrés béléscsővezésére komoly korróziós veszélyt jelent. A megfelelő anyagok használatával (korszerű cementálás és fémötvezetek) ezt ki lehet küszöbölni. Az ilyen módszertannal feltérképezett tároló esetében szükséges lehet a korábbi értékeket nyomás alá helyezett állapotban felülvizsgálni, amennyiben ezek a situációs tesztek is pozitív eredményekkel szolgálnak, elkezdődhet a létesítmény kivitelezése. Az itt felvázolt, alkalmasság meghatározására használható módszereket a kiválasztott mintaterület esetében tényleges adatokkal is megalapoztuk. Ezt kiválasztott vízkutató fűrés adat sorainak elemzésével tettük meg.

A tároló dimenziója

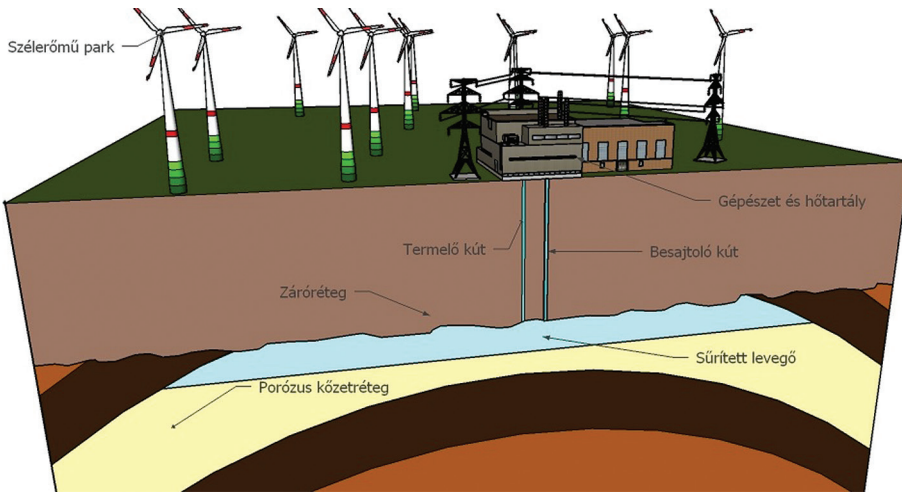
A porózus kőzettestben kialakított sűrített levegős energiátároló tervezésekor mérési szempontból több különböző tényezőt is figyelembe kell venni. A létesítménynek van egy felszín alatti térfogatigénye, melyet a sűrített levegő tölt ki. Ezzel – a kutak száma és elhelyezkedése miatt – szorosan összefügg a létesítmény felszíni területigénye, amely a 16 hektárt is elérheti (BERVIG, D. 1978). Ennek a területnek azonban csak néhány százalékát teszi ki a hőtartály és a szükséges épületek (EPRI 1981a, 1981b, 1982a; SARGENT & LUNDY 1981a, 1981b), a legnagyobb részét a kutak által igénybe vett terület foglalja el. Ez utóbbi komoly műszaki beavatkozásoknak nincs kitéve, ezért itt a kivitelezés után könnyen megvalósítható a beruházás előtti, eredeti területhasználat. A későbbi hasznosítás vonatkozásában korlátozás alá esnének a csővezetékek és kutak, melyek kialakítása veszélyforrás lehet (SARGENT & LUNDY, 1981b). Viszont a mezőgazdasági tevékenységre használt területeken a kivitelezést követően – akár a létesítmény üzeme közben – is folytatódhat a gazdálkodás. A térfogat szempontjából nagyon fontos az energiasűrűség, ami ebben az esetben a felszín alatti földtani csapdában 50-70 bar nyomáson eltárolt levegő mennyiségét, illetve az ebből később kinyerhető villamos energiát jelenti. Az 1978 óta működő huntorfi létesítmény esetében ez 3,74 kWh/m³, miközben a földtani tároló térfogata 310 ezer m³. Az iowai projekt kivitelezése során azt tapasztalták, hogy az energiasűrűség 5 kWh/m³, míg az Alstom által kínált korszerű megoldások között 6-9 kWh/m³ értékeket találni (SUCCAR, S.–WILLIAMS, R. H. 2008). Elemzésünkben nem a huntorfi adatot használtuk fel, mert az kőszoba kialakított tárolóra vonatkozik. Sokkal inkább a magyarországi esetben alkalmazható két utóbbi példára (Iowa, Alstom) használt porózus kőzettestekre fókuszáltunk, így 5 és 9 kWh/m³ közötti energiasűrűséggel számoltunk.

A térfogat meghatározásakor a tároló kisütési teljesítménye is lényeges szempont, hiszen ennek ismeretében az energiasűrűségből és a kapacitásból ki lehet számolni, hogy mekkora felszín alatti tárolóra van szükség. A szakirodalmat tanulmányozva (ZUNFT, S. et al. 2004) a következőket találtuk a teljesítményt illetően:

- kb. 30 MW teljesítmény telepítése ajánlott néhány turbinához;
- kb. 150 MW teljesítmény telepítése ajánlott egy szélfarm esetén;
- kb. 300 MW teljesítmény telepítése ajánlott több nagyobb szélfarm esetén.

A fent vázolt egységes rendszerben működő szélturbinák és a sűrített levegős energiátároló modellje a 2. ábrán látható.

Az általunk vizsgált északnyugat-magyarországi térség esetében, a kiszámított 2600 MW társadalmi-gazdasági szélturbina teljesítmény figyelembe vételével a 300 MW léptékű táro-



2. ábra A szélturbinák és a SLET együttműködése (HAVAS M.)
 Figure 2 Illustration of a CAES wind turbine integration (HAVAS, M.)

ló teljesítmény telepítése lenne ideális, melyből a – földtani és szélklimatikus– adottságok függvényében akár többet is célszerű lenne elhelyezni.

Az energiasűrűség azonban egységnyi térfogatra jutó – a tárolóból kisütéssel – kinyert villamos energiában van kifejezve. További lényeges szempont, hogy egy átlagos SLET hány órán keresztül képes leadni a névleges teljesítményét. A világon jelenleg működő két létesítmény közül a 321 MW-os huntorfői (Alsó-Szászország, Németország) 3 órán át, míg a 110 MW-os amerikai (McIntosh, Alabama, Amerikai Egyesült Államok) 26 órán keresztül tud névleges teljesítményén a rendszer számára áramot szolgáltatni. Számításunk során a két értéket átlagoltuk és a mintaterület esetében ezzel a – 15 órás – értékkel számoltunk. Ez 300 MW beépített teljesítmény esetén 4500 MWh villamos energia tárolását jelenti. Az energiasűrűség korábban bemutatott értékeit figyelembe véve ehhez egy 500-900 ezer m³ térfogatú felszín alatti tárolóra volna szükség. A következőkben a fúrások vizsgálatakor ezeket az értékeket tekintettük irányadónak.

A kimerült földgázlelőhelyek hasznosíthatósága SLET kialakítására

A SLET témakörével foglalkozó számos tanulmányból ismert (ECKROAD, S. – GYUK I. 2003; BUFFA et al. 2013; GANG, X. et al. 2014 stb.), hogy a kimerült *szénhidrogén-lelőhelyek hasznosíthatók sűrített levegős energiatárolásra*. Ez a vélekedés annak köszönhető, hogy a természetes szénhidrogén-felhalmozódások földtani csapdáinak paraméterei általában könnyen összeegyeztethetők az *1. táblázat*ban látható SLET tárolójának paramétereivel. Ez alól kivétel a mélységtartomány, amelyet azonban a többi tényező (porozitás, permeabilitás, fedőkőzet) együttes megléte és a körültekintő vizsgálat felülírhat.

Így felmerülhet például a Zala megyében található földgázlelőhelyek valamelyikének sűrített levegős tárolásra történő kialakítása. Ezt több szempontból is előnyösnek tartjuk. Jelentős mértékű szélturbina-teljesítmény és hozzá kapcsolódó SLET telepítése a régióban kiválthatná a gáztüzelésű erőműveket, illetve gázzal villanyfűtésre való áttállással csökkenthetné a térség otthonainak gázfelhasználását, energetikai kiszolgáltatottságát. Az áttállás további előnye volna a károsanyag-kibocsátás, ezen belül az üvegházhatást okozó gázok

emissziójának mérséklése. A működő földgáztárolókban rejlő lehetőségek vizsgálatával részletesen nem foglalkoztunk, hiszen célunk elsősorban a tárolási szempontból jó adottságokkal rendelkező, de jelenleg kihasználatlan helyszínek lehatárolása volt.

1. táblázat – Table 1

A tároló és a zárórteleg ideális paraméterei (EPRI 1981a alapján HAVAS M.)
 Caprock and reservoir parameters (HAVAS, M. based on EPRI, 1982)

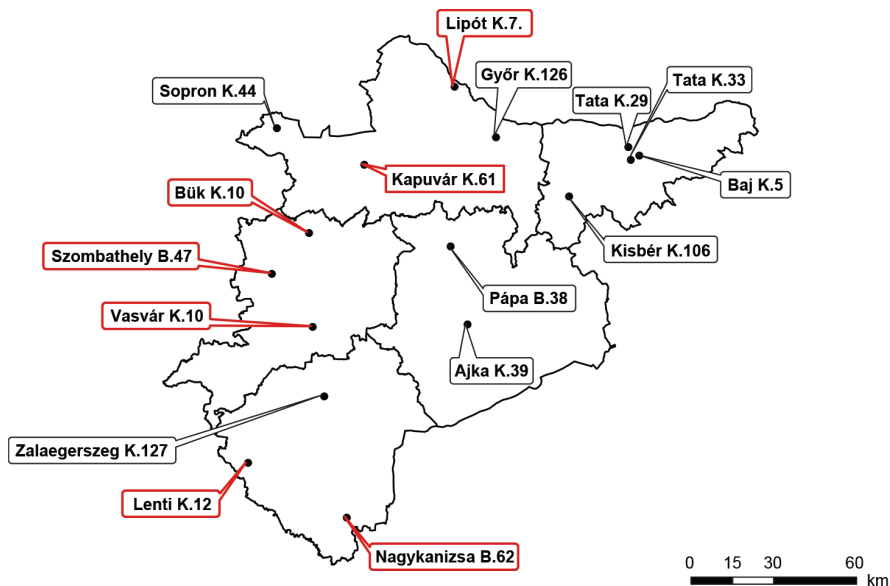
Fedőközet vastagsága (méter)	> 6
Fedőközet nyomásának határértéke (atm)	> 55
Tároló kőzet porozitása (%)	> 16
Tároló kőzet permeabilitása (md)	> 300
Tároló nyomása (atm)	23–61
Tároló kőzet típusa	homokkő
Tároló tetejének mélysége (méter)	170–760
Jelenlévő szénhidrogének aránya (%)	< 5

A telepítésre alkalmas helyszínek bemutatása

Kutatásunk során nem tartottuk szükségesnek a terület összes fúrési jegyzőkönyvének elemzését, mert célunk nem pontos helyszínek kiválasztása, hanem csupán a földtani alkalmasság általánosságban történő igazolása volt. Ezért megyénként kiválasztottunk néhány nagyobb mélységtartományú vízkutató fúrást és ezek természetes potenciál és ellenállás görbéjéből, illetve rétegsorából próbáltuk meghatározni, hogy a térségben található üledékes közettestek valóban megfelelnek-e az 1. táblázat által támasztott követelményeknek. Vizsgálódásunk során 16 vízkutató fúrás kataszterét vettük szemügyre: Ajka K-39, Baj K-5, Bük K-10, Győr K-126, Kapuvár K-61, Kisbér K-106, Lenti K-12, Lipót K-7, Nagykanizsa B-62, Pápa B-38, Sopron K-44, Szombathely B-47, Tata K-29, Tata K-33, Vasvár K-10, Zalaegerszeg K-127.

Az 1. táblázatban leírtak szerint ezeknél a fúrásoknál a 170-től 760 méterig tartó mélységtartományt vizsgáltuk (a fenti értékek ismétlődő megjelölése helyett a további leírásban a *releváns mélységtartomány* kifejezést fogjuk használni). Az abszolút (tengerszint alatti) mélység helyett, minden esetben a relatív mélységet vettük figyelembe, hiszen a tároló kialakításához a nyomásviszonyok miatt szükséges mélység az abszolút mélységnek nem függvénye. Így a később említésre kerülő mélységadatok minden esetben a kút helyének tengerszint feletti magasságához viszonyított értékek. A vízkutató fúrásokat a földrajzi koordinátáik alapján az ArcGIS nevű szoftverben bejelöltük és jelzésükkel együtt tüntettük fel (3. ábra).

Vizsgálatunkban a sűrített levegős tárolás szempontjából legkevésbé kedvező területnek Komárom-Esztergom megye bizonyult. Az itt található 4 fúrásból 3 kataszterének vizsgálata során nem találtunk alkalmas földtani szerkezetet. A két *tatai*, illetve a *baji* fúrás rétegsora is vastag, kis porozitású mészkőrétegekről árulkodik szinte a teljes releváns mélységtartományban. A *kisbéri K-106* jelzésű fúrás rétegsora már sokkal inkább folyóvízi üledékre utaló nyomokat hordoz, körülbelül 600 méteres mélységig agyagos és konglomerátumos rétegek váltakozása figyelhető meg. Innentől 50 méteren keresztül durva szemcsés homokkő található, ami a szemcseméretnek köszönhetően magas permeabilitással, illetve porozitással rendelkezik, azonban zárórteleg nem áll rendelkezésre. Végeredményben a Komárom-Esztergom megye vonatkozásában vizsgált 4 fúrás elemzé-



3. ábra A kiválasztott víz kutató fúrások elhelyezkedése (HRENKÓ I.)
 Figure 3 Location of the selected water drillings (HRENKÓ, I.)

séből arra a következtetésre jutottunk, hogy az ezek által lefedett földrajzi térségben sűrített levegős energiatároló kialakításához nem alkalmas a földtani környezet.

Ami Veszprém megyét illeti, a helyzet itt sem sokkal kecsegtetőbb. A *pápai B-38* jelzésű fúrás rétegsorában vastag (150-200 méter) agyagmárgás rétegek találhatók, a tárolóhoz szükséges porózus homokkő azonban nem. Az *ajkai K-39* jelzésű vizkutató fúrás rétegsora szintén kedvezőtlen feltételekről árulkodik, alacsony permabilitású agyagmárga és mészkő váltakozásával. Következésképpen, további alapos vizsgálat nélkül ezt a megyét sem tekintjük alkalmasnak.

Vas megyében a *Vasvár K-10* jelzésű (CH kutató fúrásként Va-1 néven is ismert) fúrás esetében agyagos és homokköves rétegek váltakozása figyelhető meg a teljes releváns mélységtartományban. Ezen a helyszínen két alacsony permeabilitású agyagos zárórteg közé vizsgálódásunk szerint kialakítható lenne a tároló. Nagy porozitású homokköves rétegek találhatók ugyanis az 530 és 560, illetve a 608 és 622 méteres mélységtartományban. Az agyagos fedőközet vastagsága mindkettő esetében jóval meghaladja az 1. táblázatban látható minimális 6 métert. Jelenlévő szén-hidrogénről a fúrási jegyzőkönyvekben nincs feljegyzés. A fedőközet in situ nyomástűrése tesztkút kialakítása nélkül nem lehetséges, így ezt nem tudtuk meghatározni. Vizsgálatunk szerint, itt az 530 és 560 méteres mélységtartomány kialakításakor (25-30 méteres egyenletes tároló magassággal és a *korábbiak* szerint 500-900 ezer m³ tároló térfogattal számolva) egy ~70-110 méter sugarú, kör alapterületű levegőbuborékot kellene kiképezni a vízzadó rétegben. A 608 és 622 méteres mélységtartományban ugyanehhez (10-14 méteres tároló magassággal és 500-900 ezer m³ tároló térfogattal számolva) egy ~105-170 méter sugarú körre lenne szükség. A létesítmény felszíni területigénye a levegőbuborék sugarával négyzetesen növekszik, így ez a *Vasvár K-10* jelzésű kút esetében 15-91 ezer m² területet jelent. A felszíni területigény csökkentése érdekében a korábban említett, 530 és 560 méteres mélységtartomány kialakítását javasoljuk.

A szintén Vas megyében található *Bük K-10* jelzésű fúrás esetében azt tapasztaltuk a releváns mélységtartomány vizsgálatakor, hogy a 600 méteres viszonylagos mélység alatti tartomány összefüggő agyagos és agyagmárgás rétegeket tartalmaz, a számunkra kedvező homokköves rétegeket azonban nem. Így itt a 600 méteres mélységnél sekélyebben található lehetőségeket vettük szemügyre. A 170 és 600 méteres mélység közötti tartomány teljes egészében az agyagos és közepes, illetve apró szemcsésű homokköves rétegek váltakozása figyelhető meg. A 320 és 330 méteres mélységtartományban rendkívül finom szemcsésű, magas porozitású homokos vízáadó réteg található melyet felülről és alulról is alacsony permeabilitású agyagos rétegek határolnak. A zárórétegek vastagsága meghaladja a minimális 6 métert. A rétegben jelenlévő szénhidrogén tartalomról nem találtunk feljegyzést. A 320 és 330 méteres mélységtartományban kialakított tárolónak egy 125-190 méter sugarú kör alapterületű levegőbuborékra lenne szüksége a *korábbiakban* meghatározott 300 MW-os teljesítmény beépítéséhez.

A *Szombathely B-47* jelzésű fúrás rétegsorát az agyagos és homokköves rétegek 10-20 méterenkénti váltakozása uralja a teljes releváns mélységtartományban. Itt kedvező adottságokat találtunk a 413 és 432 méteres zónában, amit nagyon magas porozitású durva szemcsésű homokos üledékréteg épít fel. Záróréteggént alacsony permeabilitású agyagréteg van jelen, melynek nyomástűrését levegő befecskendezésével lehetne tesztelni. Jelentékeny szénhidrogén-tartalomról ebben a rétegben nem találtunk feljegyzést. A tároló kialakításakor átlagosan 16-19 méteres tároló magassággal (réteg vastagsággal) számolva a teljes teljesítmény beépítéséhez egy 90-130 méter sugarú kör alapterületű levegőbuborékra lenne szükség.

Győr-Moson-Sopron megyében 4 fúrás jegyzőkönyvét és rétegsorát vettünk górcső alá, amelyek közül a *soproni K-44* jelzésű vízkutató fúrás rétegsora kedvezőtlen összetételűnek bizonyult. Itt agyagos, kavicsos, illetve konglomerátumos rétegek váltják egymást, melybe 475 méteres mélységnél egy vékony mészkőréteg is beékelődik. Nem található a releváns mélységtartományban olyan magas porozitású homokos réteg, amely a hozzá kapcsolódó záróréteggel együtt alkalmas volna tároló létrehozására, igaz ez a fúrás csak 600 méteres mélységig mélyül. A szintén 600 méteres mélységig mélyült *Győr K-126* jelzésű fúrás rétegsora vastag folyóvízi-, főként homokos és agyagos rétegeket tartalmaz. Egyértelmű alacsony permeabilitású zárórétegek közé ékelődött magas porozitású homokköves réteget ebben az esetben sem tudtunk megállapítani. A *Kapuvár K-61* jelzésű fúrás esetében több olyan réteget is felfedeztünk, amelybe véleményünk szerint kialakítható a tároló, azonban a legideálisabbnak az 518 és 547 méteres mélységtartományban található közepes szemcseméretű homokos réteget tekintettük, amelyet felülről és alulról is kis permeabilitású agyagos réteg zár le. A záróréteggént hasznosítható üledékrétegek vastagsága a váltakozások gyakorisága miatt ezen a helyszínen éppen meghaladja a minimális 6 métert, így ezt sem tekintjük tárolásra egyértelműen hasznosíthatónak. A *Lipót K-7* fúrás esetében a helyzet nagyon hasonló, azonban itt – egy 20 illetve 30 méter vastag záróréteg jelenlétében – a 720 és 735 méteres mélységtartományban található közepes szemcseméretű homokos rétegbe kialakítható lenne a tároló, melyhez egy 105-155 méter sugarú kör alapterületű levegőbuborék kiképzésére lenne szükség. Így ebben a megyében is elérhető lenne a 300 MW-os teljesítmény beépítése.

Zala megyében a *Zalaegerszeg K-127* jelzéssel ellátott fúrás esetében kedvezőtlen rétegtani viszonyokat találtunk. A 275 méternél mélyebb tartományban folyamatos porózus homokkőrétegekben mélyült a fúrás, melyben nem található vízzáró réteg. Ez 740 méteres mélységnél agyagmárgára változik és a teljes releváns mélységtartomány alsó határáig szakadatlanul az is marad. A 275 méternél sekélyebb régióban a rétegsor és a jegyzőkönyv sem árulkodott kedvező feltételekről, az agyagos és homokos üledékrétegek gyakori váltakozása miatt. A *Nagykanizsa B-62* névvel ellátott fúrás esetében két megfelelő vastagságú

vízadó réteget tapasztaltunk az 552-572 és az 581-605 méteres relatív mélységtartományban. A két réteget közepes szemcseméretű homokos kőzet építi fel. Közöttük 6-8 méter vastagságú alacsony permeabilitású agyagos vízzáró réteg tapasztalható. A kettő közül a sekélyebben található réteget találtuk kialakíthatónak, mert ezt felülről több tíz méter vastagságú alacsony permeabilitású agyagos üledékréteg határolja. Így a tárolóréteg 18-20 méteres átlagos vastagsága arra enged következtetni, hogy egy 90-125 méter sugarú kör alapterületű levegőbuborék kiképzésére lenne szükség a rétegben található víz fokozatos kiszorításával. Így kialakítható lenne a meghatározott 300 MW névleges teljesítményű létesítmény. A *Lenti K-12* jelzésű fúrás vizsgálatakor a 650 méternél mélyebb mélységtartományban, a rétegsorban lignit közbetelepüléseket találtunk így a releváns mélységzóna sekélyebb rétegeit vettük számításba. Itt 285 és 303 méteres relatív mélységben találtunk egy zónát, amelyet finom szemcséjű homokos kőzet épít fel. A zónát alulról ~10, míg felülről 50 méter vastag agyagos kőzet határolja záróréteggént. Szénhidrogén tartalomról ebben a mélységben nem találtunk feljegyzést. Itt 15-18 méteres átlagos tároló vastagsággal számolva és kör alakú buborékot feltételezve 95-140 méter sugarú alapterületre lenne szükség a fúrás környezetében.

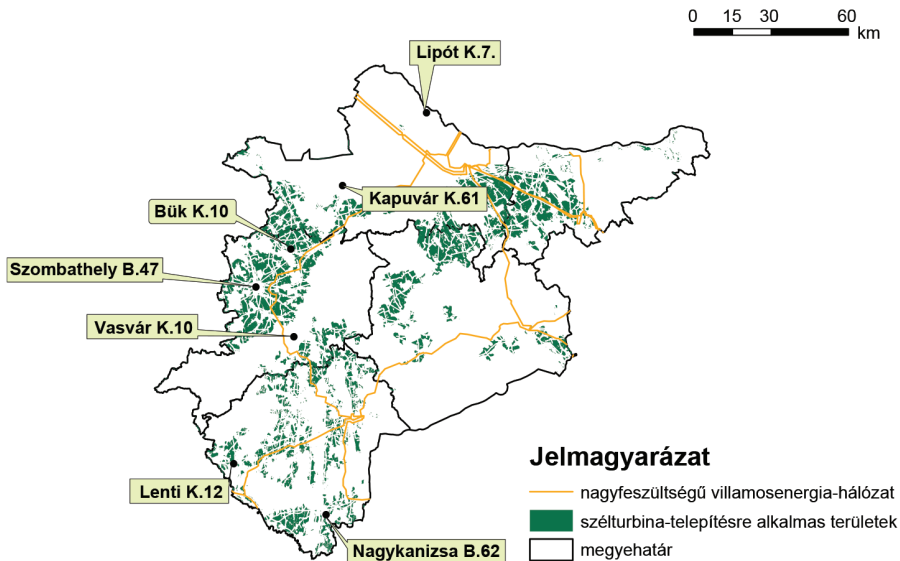
Ezeket a helyeken további módszerekkel lehetne tökéletesen igazolni a potenciális tároló helyszínek tényleges alkalmasságát. Ilyen lehetne például a szeizmika vagy a mélyfúrás geofizika. A legfontosabb bizonytalansági tényező a csapdaszerkezet (például antiklinális) megléte, hiszen ezt nagy megbízhatósággal csak szeizmikus mérések tudják igazolni. Így ebben a fejezetben ezeknek a meglététől eltekintettünk. Ennek következtében az alkalmasnak ítélt helyszínek számában további csökkenés várható. A földtanilag alkalmas területre tervezett tároló kialakítását egyéb, *korábban* ismertetett környezeti szempontok akadályozhatják. A következőkben bemutatjuk, hogy az ezeken a helyszíneken kialakítható tárolók milyen mértékben korrelálnak helyszín és teljesítmény tekintetében a szélenergia kiszámolt adottságaival a térségben.

A szélturbinák és a SLET együttműködő rendszerének telepítésére alkalmas területek vizsgálata

A két technológia alkalmasságának bemutatása után ebben a fejezetben a mintaterületek kiválasztott megyékben egységes rendszerként ismertetjük. Azt mutatjuk be, hogy a szélerőművek és a sűrített levegős energiatárolás hogyan működtethető együtt a területi alkalmasság és a teljesítmény szempontjából.

A vizsgálatunk során a következő fúrások esetében találtunk a tároló kialakításához kedvező körülményeket: Bük K-10, Kapuvár K-61, Lenti K-12, Lipót K-7, Nagykanizsa B-62, Szombathely B-47, Vasvár K-10.

Ezeket a fúrásokat a 4. ábrán ponttal és névvel láttuk el, míg az alkalmatlan helyszínek fúrásait az átláthatóság érdekében csak egy fekete ponttal jelöltük. A hét alkalmasnak talált helyszínen SLET-ek kialakítása esetén összesen 2100 MW tároló teljesítmény beépítése lenne elérhető, ami 15 órás kisütési időtartammal számolva létesítményenként 4500 MWh kapacitást jelent. A helyszín megjelölés itt nem feltétlenül a fúrás pontos koordinátáját, hanem a környezetét jelenti, hiszen a létesítmény területigénye meglehetősen nagy. A SLET létesítmények esetében a telepítést a felszínen korlátozó tényezőkkel nem foglalkoztunk, ugyanis a magyar joganyagban technológia-specifikus jogszabályokat nem találtunk. A gyakorlati kivitelezés során a földtani viszonyok feltárása után a felszíni telepíthetőségről is bizonyosságot kell szerezni. A sorrend felcserélhetőségét jelenleg a technológia-specifikus telepítést kizáró és korlátozó tényezők hiányossága jelenti.



4. ábra A szélturbinák telepítésére alkalmas területek, a tároló kialakítására alkalmas helyszínek és a villamosenergia-hálózat (HRENKÓ I)

Figure 4 Suitable locations for installation of wind turbines and compressed air energy storages, the Hungarian electrical grid (HRENKÓ, I)

A tárolók elhelyezkedését illetően látszik, hogy a kialakítás a medenceperemi üledék-rétegekbe, illetve Zala megye esetében a dombsági felhalmozódásba alkalmas. Veszprém és Komárom megyében nem találtunk az ASLET telepítésének kedvező földtani körülményeket. A 4. ábrán látható, hogy az előbbiekkal szemben Vas megyében 3 elhelyezésére is lehetőség lenne, az általunk megvizsgált fúrások értékelése alapján. Vas megye esetében rendkívül kedvező adottság, hogy az térségben itt összpontosul a legnagyobb technikai szélenergia-potenciál. További kettő-kettő létesítmény lenne kialakítható Győr-Moson-Sopron, illetve Zala megyében. A Győr-Moson-Sopron megyében található két helyszín a már meglévő és a még telepítésre kerülő szélturbinákkal jól összeegyeztethető. A Zala megyében kialakítandó SLET létesítmények létjogosultsága, a többinél kedvezőtlenebb szélklíma miatt, megkérdőjelezhető. Ezt ellensúlyozzák az itt található kedvező földtani adottságok, illetve a helyszínek viszonylagos közelsége az országos nagyfeszültségű villamosenergia-hálózatához. Ezen előnyök révén a *Lenti K-12*, illetve a *Nagykanizsa B-62* jelzésű fúrások közelében kialakítható SLET-ek az ország más részein – például a Veszprém vagy Komárom-Esztergom megyében – telepítendő időjárásfüggő megújuló technológiák kiegyensúlyozását is segíthetik. A nagyfeszültségű villamosenergia-hálózatához a Győr-Moson-Sopron megyében kiválasztott két helyszín is közel helyezkedik el. Ez a közelség minden tároló esetében az infrastrukturális költségek mérséklődését okozhatja, hiszen nem szükséges hosszú kilométereken keresztül nagyfeszültségű vezetékek kialakítása.

A két technológia egységes rendszerbe foglalásának kapcsán pedig elmondható, hogy az ország szélenergia-kapacitásának növeléséhez nagyban hozzá tudna járulni a sűrített levegős energiatárolás, hiszen akár egy SLET létesítménnyel elérhető 4500 MWh tárolókapacitás mellett a jelenlegihez képest nagyságrendekkel több szélenergiát tudnánk hasznosítani. Az általunk vizsgált terület adatait a szélenergia tekintetében a 2., míg a SLET kapcsán a 3. táblázat tartalmazza.

2. táblázat – Table 2

Északnyugat-Magyarország technikai és társadalmi-gazdasági
szélerergia-potenciálja (HRENKÓ I.)
Wind energy potentials of Northwest Hungary (HRENKÓ, I.)

Megye	Alkalmos terület nagysága km ²	Technikai szélerergia-potenciál MW	Társadalmi-gazdasági potenciál MW
Győr-Moson-Sopron	397	4 282	600
Komárom-Esztergom	282	3 048	323
Vas	536	5 790	475
Veszprém	353	3 808	636
Zala	478	5 161	539
Összesen:	2 045	22 089	2 573

3. táblázat – Table 3

A tároló kialakítására alkalmasnak talált helyszínek adatai (HAVAS M.)
Data of the locations suitable for a CAES plant (HAVAS, M.)

Megye	Alkalmos helyszín db	Teljesítmény MW	Tárolási kapacitás MWh
Győr-Moson-Sopron	2	600	9 000
Komárom-Esztergom	0	0	0
Vas	3	900	13 500
Veszprém	0	0	0
Zala	2	600	9 000
Összesen:	7	2 100	31 500

Összefoglalás

Eredményeink összegzéseként megállapíthatjuk, hogy a szélerőművek és a sűrített levegős tárolás egymást jól kiegészítő technológiák lehetnének az északnyugat-magyarországi térségben. Az általunk megadott fűrészi adatok alapján az elemzésünk által behatárolt hét helyszínen együttesen 2100 MW (15 órás kisütési időtartammal 31,5 GWh tárolókapacitás) állhatna rendelkezésre. Ehhez egy egységes rendszerben kapcsolódva 2600 MW társadalmi-gazdasági szélerergia-potenciállal számolhatunk. Egy ekkora szélerőmű-kapacitás helyettesítésére 12 órán keresztül lenne képes az általunk számított sűrített levegős energiatárolási rendszer. Abban bízunk, hogy munkánk eredményei hozzájárulhatnak az energiarendszer működéséről alkotott képünk formálásához és egy nagyobb ívű, komolyabb, több szakmai műhely együttműködésén alapuló kutatás megindításához. Gondolunk itt műszaki szempontból a szélturbinák és a sűrített levegős energiatárolók hazai nagyfeszültségű villamosenergia-rendszerbe történő csatlakoztatására, Ezen kívül érdemesnek tekintjük a komplex, szélerőműveket és az energiatárolókat is magában foglaló beruházás költségvetésének és gazdaságélénkítő hatásainak vizsgálatát.

Köszönetnyilvánítás

Szakmai anyagok és javaslatok formájában a kutatáshoz nyújtott segítségért köszönetet mondunk az ELTE Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék munkatársainak, különösképpen témavezetőinknek MUNKÁCSY BÉLÁNAK, illetve SÁFIÁN FANNI és HARMAT ÁDÁM doktoranduszoknak. Köszönettel tartozunk továbbá a Magyar Állami Földtani Intézet, az Országos Természetvédelmi és Környezetvédelmi Főfelügyelőség, illetve a Magyar Bányászati és Földtani Hivatal dolgozóinak a kutatást előremozdító együttműködésükért.

HAVAS MÁRTON

ELTE TTK Geofizikai és Űrtudományi Tanszék, Budapest
havasmarton@caesar.elte.hu

HRENKÓ IZSÁK

ELTE TTK Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék, Budapest
hrenkoizsi@caesar.elte.hu

IRODALOM

- BARBOUR, E.–MIGNARD, D.–DING, Y.–LI, Y. 2015: Mignard, D.; Ding, Y.; Li, Y. – Adiabatic Compressed Air Energy Storage with packed bed thermal energy storage. – *Applied Energy* 155. 2015. pp. 804–815.
- BERVIG, D. 1978: Geologic Assessment of Compressed Air Storage Sites in Kansas. – Black and Veatch, Kansas City, Missouri. 159 p.
- BUFFA, F.–KEMBLE, S.–MANFRIDA, G.–MILAZZO, A. 2013: Exergy and exergoeconomic model of a ground-based CAES plant for peak-load energy production. – *Energies*, 6 (2), pp. 1050–1067.
- DWIA 2003: Guided Tour. – Danish Wind Industry Association <http://goo.gl/sJZZrf> (utolsó elérés: 2014. december 22.)
- ECKROAD, S.–GYUK I. 2003: EPRI-DOE handbook of energy storage for transmission and distribution applications. – Electric Power Research Institute. 512 p.
- ENDER, C. 2015: Wind Energy Use in Germany. – *DEWI Magazine* 46. pp 26–37.
- EPRI 1981a: Siting Selection Study for the Soyland Power Cooperative, Inc. Compressed Air Energy Storage System. – St. Louis, Missouri. 297 p.
- EPRI 1981b: Technology Assessment Report for the Soyland Power Cooperative, Inc. Compressed Air Energy Storage System. – St. Louis, Missouri. 108 p.
- EPRI 1982a: Integrated Environmental and Safety Assessment of Selected Mechanical Energy Storage Systems. – EPRI EA-2231, Palo Alto, California. 123 p.
- EPRI 1982b: Compressed-Air Energy Storage Preliminary Design and Site Development program in an Aquifer. – Electric Power Research Institute EM-2351, Palo Alto, California. 100 p.
- EPRI 2012: Electric Power Research Institute. Sacramento Municipal Utility District (SMUD) Compressed Air Energy Storage Plant – Feasibility and conceptual engineering analysis. Palo Alto, California. 2012. 62 p.
- GANG, X.–WENYI, L.–LINZHI, L.–FEIFEI, L.–YONGPING, Y.–WEIDE, Z.–YING, W. 2014: A Novel Hybrid-Fuel Storage System of Compressed Air Energy for China. – *Energies* 7. 8. pp. 4988–5010.
- IBRAHIM, H.–ILINCA, A.–PERRON, J. 2008: Energy storage systems – Characteristics and comparisons.– *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2008. 12. pp. 1221–1250.
- KÓRÓSSY L. 1965: Stratigraphischer und tektonischer Bau der westungarischen Becken. – *Földtani Közlemények* 95. 1. pp. 22–36.
- KÓRÓSSY L. 1958: Adatok a Kisalföld melyföldtanához. – *Földtani Közlemények* 88. 3. pp. 291–298.
- KUSHNIR, R. 2008: Steady periodic gas flow around a well of a CAES plant. – *Transport Porous Media* 73. 1. pp. 1–20.
- KUSHNIR, R. 2010: Compressed air flow within aquifer reservoirs of CAES plants – *Transport Porous Media* 81. 2. pp. 219–240.
- KVVM 2005: Tájékoztató a szélérőművek elhelyezésének táj- és természetvédelmi szempontjairól. – *Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, Természetvédelmi Hivatal, Budapest*. 26 p.

- MEKH-MAVIR 2014: A magyar villamosenergia-rendszer (VER) 2013. évi statisztikai adatai. – Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zártkörűen Működő Részvénytársaság, Budapest. 39 p.
- MUNKÁCSY B. 2004: A szélenergia környezeti vonatkozásai magyarországi példákon. – Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest. 144 p.
- MUNKÁCSY B.–KNEIP ZS. 2011: A szélenergia. – In. MUNKÁCSY B. (szerk.): Erre van előre! Vision 2040 Hungary 1.0, Budapest. pp. 106–111.
- MUNKÁCSY B. 2014: Hazai megújuló potenciálok és hasznosításuk jövőképünkben. – In. MUNKÁCSY B. (szerk.): Erre van előre! Vision 2040 Hungary 2.0, Budapest. pp. 143–152.
- MUNKÁCSY B. 2007: A szélenergia-hasznosítás lehetőségei és távlatai Komárom-Esztergom megyében. – Energiagazdálkodás 48. 1. pp. 18–21.
- SARGENT & LUNDY 1981a: Compressed Air Energy Storage: Preliminary Design and Site Development Program in an Aquifer. – Site Selection Study, United States Department of Energy 3. 1. pp. 68–74.
- SARGENT & LUNDY 1981b: Compressed Air Energy Storage: Preliminary Design and Site Development Program in an Aquifer. – Environmental, Safety, and Licensing Considerations, United States Department of Energy 7. pp. 159–210.
- SCHULTE, R.–CRITELLI, N.–HOLST K.–HUFF G. 2012: Lessons from Iowa: development of a 270 megawatt compressed air energy storage project in midwest independent system operator, a study for the DOE Energy Storage Systems Program. – Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico. 97 p.
- STRÓBL A. 2013: Támogatások a villamosenergia-ellátásban. – (kézirat) 90 p.
- SUCCAR, S.–WILLIAMS, R. H. 2008: Compressed air energy storage: theory, resources, and applications for wind power. – Princeton Environmental Institute Report, Princeton, United States. 81 p.
- ZUNFT, S.–BULLOUGH, C.–GATZEN, C.–JAKIEL, C.–KOLLER, M.–NOWI, A. 2004: Advanced Adiabatic Compressed Air Energy Storage for the Integration of Wind Energy. – The European Wind Energy Conference, London, UK, 8 p.