

Absztrakt

Az energiagazdálkodásban zajló forradalmi változások kapcsán az elmúlt években előtérbe kerülő energiatárolás kikerülhetetlen kutatási feladatként jelentkezik szerte Európában - és hazánkban is. Jelen munka a tárolás decentralizált lehetőségeit igyekezett feltárni egy Borsod megyei mintaterület vizsgálatával. A három technológia a "szivattyús tárolás", a "folyékony levegős energiatárolás", valamint a "áramból gázt" megoldás (Power-to-Gas - sajnos ennek igazán jó magyar fordítása még nem gyökeresedett meg, de a nemzetközi szakirodalomban P2G rövidített néven terjedt el, így a továbbiakban ezt használjuk). A kutatás jelen állásában világosan látszik, hogy a térség potenciálja nem elhanyagolható, kisebb-nagyobb létesítmények megvalósítására szinte mindenhol van lehetőség, hiszen a 42 településre vetítve összesen 44 potenciális helyszínt sikerült beazonosítani. Ennek kapcsán világosan kirajzolódik az energiagazdálkodásban zajló radikális irányváltás tájra és településképre gyakorolt hatása: az országban jelenleg tízes nagyságrendben működő nagy teljesítményű energiatermelő létesítmény helyett a jövőben százezres nagyságrendben kell számolni kisebb-nagyobb, de főként egészen kicsi, főként háztartási és közösségi léptékű berendezésekkel.

Bevezetés

Az európai villamosenergia-termelési fejlesztésekben a megújuló energiaforrások már ma is meghatározó súllyal, 80-90% körüli részaránnyal jelennek meg - köszönhetően elsősorban a szél- és napeleemes rendszerek döbbenetes ütemű térnyerésének. Csak idő kérdése, hogy az időjárásfüggő kapacitások példátlanul gyors bővülése mikor hozza a magyar energiaszektorra is olyan cselekvési kényszerbe, amelynek tudományos megalapozása - kormányzati szándék és érdemi támogatás híján - lényegében még el sem kezdődött. A megújuló energiaforrások rendszerbe integrálásának kulcsfontosságú területein - így az okos hálózat, okos mérés, az energiatárolás, vagy az import-export kapcsolatot erősítő határkeresztező kapacitások vonatkozásában - több évtizedes lemaradásban vagyunk. Ezek kutatása és fejlesztése nélkül elképzelhetetlen komoly nap- és szélenergiás fejlesztésekben gondolkodni hazánkban. Szakmai műhelyünk is ezt a lemaradást igyekszik egy csekély mértékben pótolni a maga szerény eszközeivel - részben jelen tanulmánnyal, részben korábbi energiatárolással és energiarendszerrel kapcsolatos vizsgálódásaink révén (Havas és Hrenkó 2015; Munkácsy et al. 2015; Soha 2017).

Mintaterület

Az energiatárolási lehetőségek tudományos vizsgálata kutatási projektünkben több mintaterületen is folyik, ezek közül jelen dolgozat a Bükk LEADER térségre fókuszál. A 925,62 km²-es területen elhelyezkedő 42 település a Bükk keleti, Borsod megyei felében található (1. ábra), közös jellemzőjük, hogy a megújuló energiaforrások alkalmazására kisebb-nagyobb léptékben mindegyik településen található példa - hiszen 2010-től ez kiemelt célfeladata volt a LEADER fejlesztéseknek. Csaknem minden településen található valamilyen napeleemes alkalmazás, sőt elektromos autók töltésére szolgáló állomásokból is akad 25 - igaz, ezek tervezése, kivitelezése döntő többségében sajnos nem felel meg a követelményeknek (mert közülük sok elzárt helyen, épületeken belül van).



1. ábra. A kutatási terület

A vizsgált energiátárolási megoldások vázlatos bemutatása

Szivattyús energiátárolás (SZET)

A technológia koncepciója igen egyszerű. Az olcsó völgyidőszaki árammal vizet szivattyúznak fel egy magasabb tengerszinten kialakított tározóba, majd csúcsidőszakban ezt a felszivattyúzott vizet turbinákon engedik keresztül, amivel elektromos áramot táplálnak vissza a hálózatra - és ezt magasabb áron értékesítik. Ezért - az energetikai veszteség ellenére - a létesítmény működtetése pénzügyi szempontból gazdaságos, azonban kialakítása csak olyan földrajzi helyszíneken lehetséges, ahol a működtetéshez szükséges vízmennyiség és - kis területen belül - nagy relief energia jellemző. A technológia nagyléptékű hazai lehetőségeinek vizsgálata az 1960-as évekig nyúlik vissza (Szeredi 2011), ám a mérnök szakemberek mindaddig nagy teljesítményű, centralizált rendszerek kialakításában gondolkodtak. Ebből a szempontból kínál érdekes megközelítést jelen kutatás, amely kifejezetten a decentralizált megoldásokra fókuszál.

Napjainkig a SZET a legkiforrottabb és legfontosabb energiátárolási technológia. Az globális összeteljesítmény 2016-ban 164,6 GW volt - míg az összes többi megoldásé együttvéve nem érte el a 4 GW-ot (DOE 2017). A gyakorlati alkalmazás szempontjából kulcsfontosságú jellemzője, hogy egy átlagos létesítménynek csak néhány másodpercre van szüksége ahhoz, hogy elérje a maximális teljesítményét, ezért rendkívül jól lehet időjárásfüggő megújuló energiaforrások energiarendszerbe való illesztésére és különböző rendszerszintű feladatok ellátására használni (MacKay 2009).

“Áramból gázt” technológia (P2G)

A P2G rendszerek működésének lényege, hogy a feleslegben termelt megújuló alapú villamos energia segítségével hidrogént és/vagy metánt állítanak elő, azt geológiai képződményekben tárolják, majd szükség esetén ezt használják fel villamos energia termelésére. Maga az elv már az 1970-es évek olajválságainak és rendkívül magas energiaárainak idején is ismert volt a tudományos világban. Azonban akkoriban még főként nem az időjárásfüggő megújuló energiaforrások által termelt villamos energiát, hanem az atomerőművek völgyidőszaki termelését hasznosították volna gáz, főként metán előállításra és tárolásra. De például Carden és Paterson (1979) tanulmányából kiderül, hogy a naperőművek által termelt áramot már ekkor is figyelembe vették a lehetőségek között. Mára ezek a gondolatok megalapozottnak bizonyultak és az energetika nemzetközi szereplőit az energiátárolás, és egyre inkább a P2G kapcsán is

lépéskényszerbe hozták.

Eleinte sóközetek üregei merültek fel lehetséges tárolóközegként, de később a porózus kőzettestekben történő felszín alatti tárolásának kivitelezhetőségét is számos tanulmány, így Allen et al. (1983) munkája erősítette meg. Ezt az elméleti állítást igazolja a bevett hazai gyakorlat, amelyben a földgáz tárolása ilyen geológiai képződményekben valósul meg.

Folyékony levegős energiatárolás

A folyékony levegő (vagy fő komponense, a nitrogén) energiatárolóként való alkalmazása igen új, 1995 óta létező technológiai megoldás. Lényege az a fizikai törvényszerűség, hogy a levegő -190 °C (a nitrogén esetében -196 °C) körüli hőmérsékleten cseppfolyós halmazállapotú lesz, így tárolása könnyebben megoldható, hiszen 700 liter légköri levegőből alig 1 liter cseppfolyós levegő nyerhető. A hűtési folyamat - például cseppfolyósított földgáz újragázosításával keletkező - hulladék "hidegenergia" felhasználásával igen gazdaságossá tehető. Az energiarendszerben jelentkező igény esetén - hő közlésével - a levegő az eredeti térfogatát visszanyeri, és a kitágulással felszabaduló energia villamos áram előállítására használható. 50-100 °C körüli hőmérsékletű hulladékhő felhasználásával a folyamat jelentősen felgyorsítható, fokozható (Kishimoto et al. 1998; Strahan [ed.] 2013, Kantharaj et al. 2015).

Kutatási módszerek

Összetettsége miatt a 21. századi energiatervezés gyors, hatékony és pontos eszközök használatát követeli meg. Ez vonatkozik a megújuló energia potenciáljainak feltérképezésére, és az ezeket a technológiákat alkalmazó villamos hálózatok támogatását elősegítő energiatárolók telepítési lehetőségeinek vizsgálatára is. Sokoldalúságuknak köszönhetően a különféle távérzékelési és térinformatikai eljárások az ilyen kihívások megoldására is segítséget nyújthatnak, különösen az olyan nagy teljesítményű (<10-20 MW) és 100 MWh-nál nagyobb kapacitású energiatárolók esetében, melyek helykijelölése során többféle szempontot és korlátozó tényezőt kell figyelembe venni - lásd 1. táblázat (Arántegui 2012).

1. táblázat. A bemutatott energiatárolási megoldások telepítését befolyásoló tényezők

Telepítési szempontok	A telepítést támogató tényezők	
	SZET	P2G és folyékony levegős technológia
Domborzat	a) a medencék között legalább 100 m szintkülönbség b) víztározó lejtőszög <7,5°;	sík terület
Felszínborítás, területhasználat	meglévő víztestek és bányaudvarok	iparterületek, barnamezős beruházás
Távolság (infrastruktúra)	villamos hálózat, vízkivételi lehetőség	villamos hálózat, földgázhálózat (P2G)
Távolság (ipari létesítmény)	kevésbé korlátozó	hulladékhő források, állattartó- és szennyvíztelepek
Természetvédelem	megfelelő kivitelezés esetén kevésbé korlátozó	zöldmezős beruházás esetén korlátozó tényező lehet
Tájvédelem	megfelelő kivitelezéssel akár pozitív tájképi hatás is elérhető	a technológiákhoz szükséges ipari létesítmények tájba illesztése nem megoldható

A domborzat elsősorban a szivattyús energiatárolás lehetőségeit befolyásolja annak technológiai követelményei révén (élénk domborzat, síkhoz közeli területek a medencék számára). A P2G és a folyékony levegős tárolás esetében külön meghatározó a földtani közeg, amennyiben a gáz a mélyben lévő természetes rezervoároknak tárolódik, és nem a felszínre, vagy annak közelébe telepített nyomástartó tartályokban helyezik el. A technológia potenciálfeltáró vizsgálatait során tehát mélyfúrású jegyzőkönyveket és szeizmológiai eredményeket is fel kell használni.

Eredmények - a kutatási térségben kínálkozó energiatárolási lehetőségek bemutatása

Általánosságban kiemelhető a telepítési szempontok közül az időjárásfüggő energiatermelő egységektől és a villamosenergia-hálózattól való kis távolság. Az előbbi a feleslegben termelt villamos energia befogadása, az utóbbi a szükség esetén a rendszerbe táplálendő villamos áram kis távolságra való eljuttatása szempontjából lényeges. Az egyéb telepítési szempontok tekintetében a három vizsgált energiatárolási megoldás - noha vannak hasonlóságok - sok szempontból különbözik.

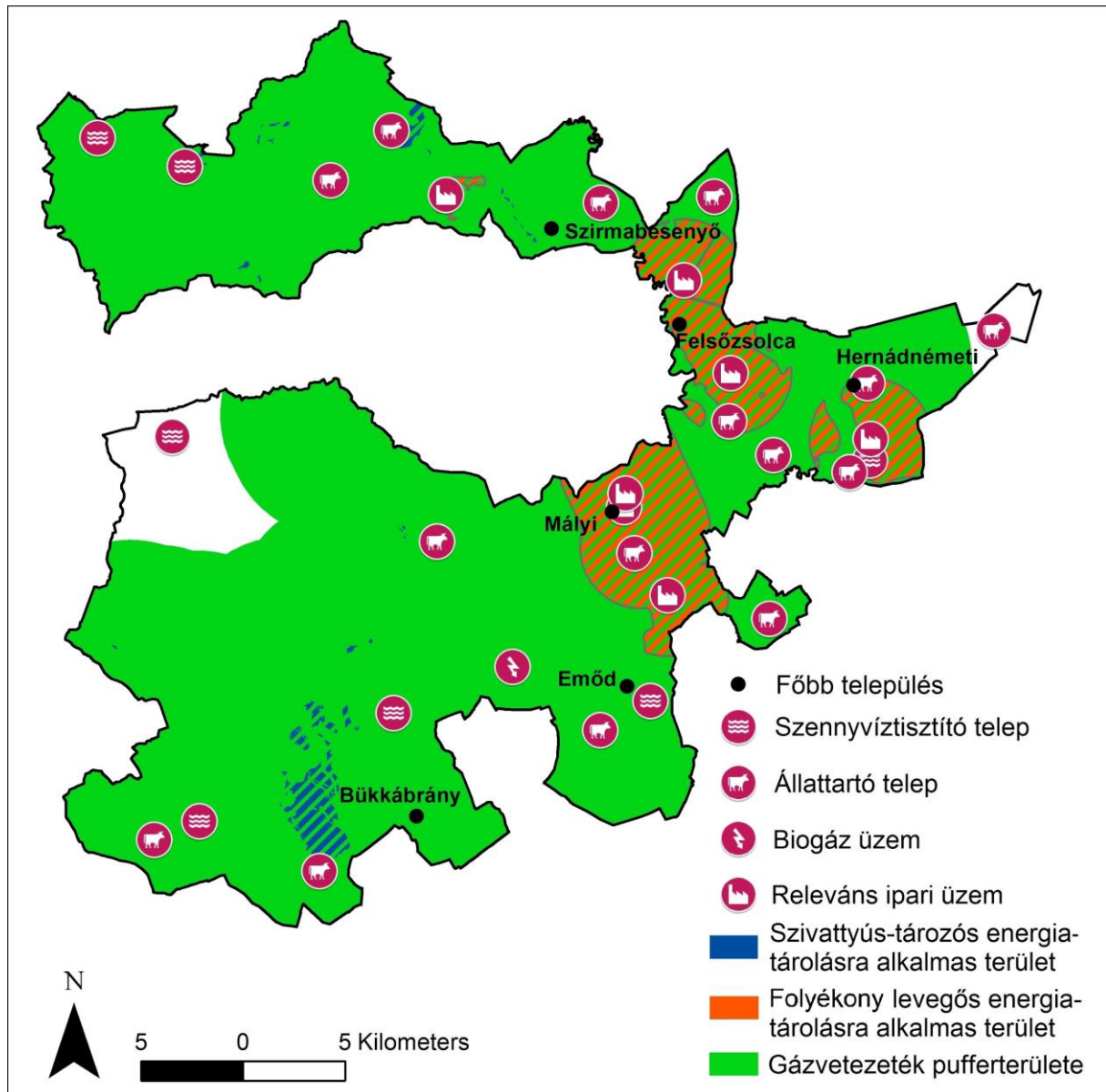
Nem lehet általános érvényű szempontként említeni a védett természeti területeket, melyeket a vizsgálatok során általában kizáró tényezőként vettünk figyelembe - kivéve a SZET technológiát, ahol a decentralizált léptékből fakadóan csak kisebb beavatkozásokra lehet szükség, amelyek akár a táji diverzitás javításával új vizes élőhelyek létrejöttét eredményezhetik. Erre való hivatkozással ez esetben a védett természeti területeken nagyobb körültekintéssel, de elképzelhetőnek tartjuk a szivattyús energiatárolás megvalósítását.

A SZET potenciális helyszíneinek meghatározása során használtuk legkiterjedtebben a térinformatikát. A technológia tárolási potenciáljainak meghatározásához a két víztározó medence elhelyezése és a köztük lévő optimális kapcsolat jelenti a legfőbb problémát, ezért a vizsgálat során erre fektettük a legnagyobb hangsúlyt. A modellezés során leválogatásra kerültek a síkhoz közeli területek (lejtőszög $< 7,5^\circ$), melyekből a kivitelezésre alkalmatlan területek kivágása után kiválasztottuk az egymással megfelelő kapcsolatban álló, egymáshoz közel elhelyezkedő párokat. Kiválasztási tényezőként szerepelt többek között a medencék relatív magasságkülönbsége, távolságuk és a köztük (a nyomócsövön) fellépő esés, a kinyerhető energia mennyisége és a vízzel elárasztott terület nagysága. Végül az így kapott elméleti potenciál eredményeit összevetettük a különböző védettségi kategóriákba tartozó természeti területekkel. A kutatási területen a szigorú leválogatási kritériumok ellenére számos alkalmas területet sikerült beazonosítani, köszönhetően elsősorban a táji adottságoknak és a SZET telepítésére optimális területhasználatnak (felhagyott bányaudvarok vagy egyéb hasonló beépítetlen területek). Lényeges, hogy ezek mindegyikén kisléptékű, a decentralizált energiarendszerbe könnyen illeszthető létesítményt lehetne megvalósítani. A térségben 11 pár potenciális víztározó létesíthető a modell alapján, ezek átlagos területe medencénként 6-10 ha, míg a felső tározóban eltárolt energia mennyisége jellemzően 60-150 MWh.

A P2G technológia kapcsán telepítő tényezőként a potenciális CO₂-források, így a biogázüzemek, szennyvíztelepek közelsége emelhetők ki, de emellett a meglévő gázvezeték-hálózattól való távolságot is érdemes figyelembe venni (esetünkben ez 5 km-es pufferzóna kijelölésével történt meg), mert a metán, de kisebb, 5% alatti koncentrációban akár a hidrogén is ide termelhető (Schneider és Kötter 2015). Ezzel egyfelől a gázhálózat jelentős mértékű raktározási kapacitását tudjuk kihasználni, illetve egyúttal a fogyasztókhöz való eljuttatás is könnyen megoldható. A kutatási területen a fenti feltételeket figyelembe véve összesen 26 üzem jöhet számításba. Ezek közül a potenciális karbonforrások közül a 15 állattartó telep emelkedik ki jelentőségében, de 7 egyéb ipari üzem és 3 szennyvíztelep is említést érdemel. Mindegyik létesítmény a vezetékesség-hálózat megfelelő közelségében található.

A *folyékony levegős energiatárolás* szempontjából kiemelkedő jelentőségűek az olyan, hulladékhőt jelentősebb mennyiségben kibocsátó üzemek, amelyek segítségével a tárolás határfoka javítható. Sajnos a hozzáférhető adatbázisokban a hulladékhő mennyiségére

vonatkozó információ nem érhető el, így a potenciális hőforrások leválogatásában két szempontot vettünk figyelembe: első lépésben azokra a településekre fókuszáltunk, amelyek jelentős, 20 millió Ft feletti iparüzési adóbevétellel rendelkeznek; második lépésben az ezeken a településeken működő, gyártási profiljuk alapján jelentős hulladék hő-termelőként számításba vehető üzemeket vettük számításba. Ez utóbbi esetben 3 km-es pufferzónával (lásd távhőveszték vesztesége) kalkuláltunk. A fenti szempontok figyelembe vételével 7 potenciális helyszínt sikerült meghatározni. Ezek között egy sörfőző üzem, egy gyógyszergyártó üzem, valamint egyéb vegyipari létesítmények és néhány téglagyár szerepelnek. Ugyancsak potenciális lehetőségként értelmezhetők a Kistokaj és Mályi térségében működő geotermikus kutak, valamint az azoktól Miskolcig vezető távhővezeték és annak 3 km-es zónája.



2. ábra. Az energiatárolás lehetőségei a kutatási területen

Összegzés

A kutatás jelenlegi állásának eredményei arra engednek következtetni, hogy az energia tárolásának decentralizált megoldásainak is érdemes komoly figyelmet szentelni - vizsgálódásunk során összesen 44 potenciális helyszínt sikerült beazonosítani a mintaterületen (2. ábra).

Bár a kutatási térségben a megújulók beépített kapacitása jelenleg kisebb léptékű (és egyelőre igen drága) akkumulátoros tárolási technológiákkal támogatott, a települések közösségeire jellemző fejlesztési és kapacitásbővítési szándék miatt később szükség lehet egy vagy több, nagyobb léptékű energiatároló kialakítására. A bemutatott technológiák közül több szempont figyelembe vételével, de elsősorban az eredményül kapott potenciális helyszínek, és a helyi igényeknek megfelelő adaptálhatóság tükrében kell kiválasztani a leginkább optimális energiatároló megoldást. Ezek alapján az élénkebb reliefú területek jellemzően a szivattyús energiatárolásnak, a sík térszínek pedig a P2G és a folyékony levegős technológiának kedveznek. A jövőbeli projektek tervezése során a bemutatott technikai szempontokon túl azonban nem szabad figyelmen kívül hagyni a társadalmi, gazdasági és természetvédelmi vonatkozásokat sem. Ugyancsak szempont lehet az, hogy különféle nemzetközi kutatási projektek és pályázati lehetőségek, vajon melyik megoldást támogatják majd.

Akárhogy is alakulnak egyes részterületeken az események, az energetikai irányváltás egészen bizonyosan mind a táj, mind a településkép megváltozását eredményezi az elkövetkező évtizedekben Magyarországon is. Mielőtt ezen állítás okán téves következtetésekre jutnánk azt is le kell szögezni, hogy a jelenlegi centralizált energiarendszer működtetése is jelentős tájformáló hatással jár, hiszen 30-40 éves távlatban működtetni egy szenes erőművet, a teljes életciklusra vetítve azt jelenti, hogy ennyi ideig kell bányászati tevékenységet folytatni, aminek rendszerint drámai környezeti és táji hatásai vannak. Ez a hatás ráadásul jelentős földrajzi térségre kiterjedő - ahogyan ezt a kutatási területünkön Bükkábrány térségében 1985 óta világosan meg tapasztalhatjuk.

A megújuló energiaforrásokra alapuló technológiák és az ezekkel együttműködő energiatárolási megoldások - különösen az általunk favorizált decentralizált léptében - a tájkép vonatkozásában általában csak szerényebb beavatkozást jelentenek. Ez alól kivételt képeznek a szélturbinák, amelyekre - a kapacitásfaktor növelése érdekében - folyamatos mérténövekedés jellemző. Ma már 150-200 méter összmagasságú berendezésekkel számolhatunk, amelyek meghatározó elemei lesznek az adott táj képének. Ugyanakkor egyéb más környezeti hatásaik elhanyagolhatóak a többi technológiával összehasonlításban (Kaldellis 2016).

Az egyes energiatárolási technológiák a rájuk jellemző technikai tulajdonságuk alapján különböző mértékben gyakorolnak pozitív vagy negatív hatást a befogadó tájra. Például szivattyús energiatárolás esetén legnagyobb problémát a vízzel elárasztott területek jelentik, ugyanakkor körültekintő tervezéssel és kialakítással a medence új vizes élőhelyként is funkcionálhat, illetve tájépítészeti megoldásokkal csökkenthető a negatív tájképi hatás. P2G és sűrített levegős energiatároló kivitelezésekor érdemes barnamezős beruházásként, az őket támogató ipari létesítmények közvetlen közelében elvégezni a helykijelölést.

A fentiekben bemutatott eredmények a térségben megkezdett energiatervezési kutatásainknak lényeges, a további munkát megalapozó megállapításai. A közeljövőben ennek a kutatási tevékenységnek számos irányban tervezzük a folytatását. A munka következő állomásai az alábbiak lesznek: a) geológiai adottságok feltérképezése a felszín alatti gáztárolás lehetőségének szempontjából; b) a tárolható energia mennyiségének meghatározása; c) szoftveres elemzés segítségével a tárolás lehetőségének vizsgálata az energiarendszer működésének szempontjából (optimális energiamix meghatározása az energiatárolási lehetőségek függvényében).

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány két kutatási projekt keretében valósult meg. Az egyik támogató az OTKA 112477 számú projektje, ahol a kutatás címe: Megújuló energiaforrások alkalmazásának tájvédelmi vizsgálata hazai mintaterületeken - kihívások és lehetőségek. A munka másik támogatója az ELTE Interdiszciplináris Kutatásokat Támogató Alapja.

Irodalomjegyzék

Allen, R. D. - Doherty, T. J. - Erikson, R. L., - Wiles, L. E. (1983). Factors affecting storage of compressed air in porous-rock reservoirs (No. PNL-4707). Pacific Northwest Lab., Richland, WA (USA)

Arántegui, R. L. - Fitzgerald, N. - Leahy, P. 2012: Pumped-hydro energy storage: potential for transformation from single dams. - European Commission, Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport 54 p.

Carden, P. O. - Paterson, L. (1979). Physical, chemical and energy aspects of underground hydrogen storage. International Journal of Hydrogen Energy, Volume 4, Issue 6, 1979 pp. 559-569

DOE (2017). Global Energy Storage Database - Department of Energy, USA.
http://energystorageexchange.org/projects/data_visualization

Havas, M. - Hrenkó, I. (2015). The Potential of Northwest Hungary for wind turbine and Compressed Air Energy Storage installation. Földrajzi Közlemények, 139, pp. 273-287.

Kaldellis, J. K. - Apostolou, D. - Kapsali, M. - Kondili, E. (2016). Environmental and social footprint of offshore wind energy. Comparison with onshore counterpart. Renewable Energy. Volume 92, July 2016, Pages 543-556.

Kantharaj, B. - Garwey, S. - Pimm, A. (2015): Thermodynamic analysis of a hybrid energy storage system based on compressed air and liquid air. Sustainable Energy Technologies and Assessments 11. pp. 159-164.

Kishimoto, K. - Hasegawa, K. - Asano, T. (1998). Development of Generator of Liquid Air Storage Energy System. Mitsubishi Heavy Industries Technical Review 35, 3, pp. 117-120.
<https://www.mhi-global.com/company/technology/review/pdf/e353/e353117.pdf>

Mackay, D. C. (2009). Sustainable Energy - without the hot air, UIT Cambridge, 2008, ISBN 978-0-9544529-3-3

Munkácsy B. - Havas M. - Hrenkó I. - Szücs P. N. (2015). A Smart city koncepció - a Salzburg térségében folyó projektek tanulságainak tükrében. In: 10. Jubileumi Óbudai Energetikai Konferencia - Smart Cities. Óbudai Egyetem, Budapest, pp. 77-96. ISBN 978-615-5460-57-9

Schneider, L. - Kötter, E. (2015). The geographic potential of Power-to-Gas in a German model region - Trier-Amprion. Journal of Energy Storage 1 pp. 1-6.

Soha T. (2017). Decentralised pumped-hydro energy storage (PHES) potential in a Hungarian research area. In: GISacek Conference, Ostrava. IN PRINT

Strahan, D. ed. (2013). Liquid Air in the energy and transport systems. Opportunities for industry and innovation in the UK. Full Report. The Centre for Low Carbon Futures. 134 p.
<http://liquidair.org.uk/files/full-report.pdf>

Succar, S. - Williams, R. H. (2008). Compressed air energy storage: theory, resources, and applications for wind power. Princeton Environmental Institute Report, 8. pp. 81

Szeredi, I. (2011). A szivattyús energiatározás Magyarországon. - MVM Közlemények, XLVIII. Évf. 1. sz. pp. 40-49.

