

Energiatároló Alkalmazások Vizsgálata Elosztóhálózatokon¹

Táczai István

villamosmérnök; taczi93@gmail.com

A villamosenergia-rendszer hatalmas változások előtt áll a közeljövőben. A hálózatra egyre nagyobb számban csatlakozó megújuló energiaforrások ingadozó penetrációja újszerű kihívások elé állítja a hálózat üzemeltetőit. Kétirányú energiaáramlások és feszültségminőségi problémák alakulhatnak ki, melyek veszélyeztethetik az ellátásbiztonságot. Az energiatárolás képes lehet megoldásként szolgálni a felmerülő problémákra. Egy megfelelően kialakított működési stratégiával ezek az alkalmazások képesek az elosztóhálózat lokális támogatására is: a teljesítményáramlás optimalizálása, biztonsági tartalékok készítése és a minőségi paraméterek javítása egyaránt megvalósítható. A hálózatra csatlakoztatott energiatárolók akár tisztán gazdasági haszon teremtésére is felhasználhatók a liberalizált villamosenergia-piacon történő kereskedéssel.

*

Distribution power grids will basically change in the near future: the increasing penetration of renewable energy sources causes high amount of intermittent and decentralized generation. This procedure will lead to problems which are unknown for a conventionally planned and operated grid. Bidirectional power flows, power quality issues and voltage sags can occur. Energy storage systems are able to play a key role in the solutions. With a well-developed controlling strategy, these applications could support the low voltage grids locally: virtual islanding operations and load following, or improved reliability with reserves are all feasible. These installations can even be used for trading on the liberalized electricity market.

Az energetikai rendszerek vizsgálatakor számos esetben találkozhatunk azzal a problémával, hogy az energia elosztása nem csak térben, de időben is szükséges. Ez a feladat, mint egy új dimenzió jelenik meg, és az ellátást alapvetően befolyásolja. Számos ilyen jellegű alkalmazás felsorolható, melyek növelik a hálózat rugalmasságát és kiegyensúlyozottságát, ezzel elősegítve a hatékonyság növekedését. A világpolitika fokozatos elköteleződése a fenntarthatóság és a környezetvédelem (főként a károsanyag-kibocsátás csökkentése) felé olyan irányvonalat szab meg a villamosenergia-rendszer tervezésének és fejlesztésének területén, mely elkerülhetetlenné teszi az energiatárolás felhasználását. A jelenlegi infrastruktúra kiépítésekor az ilyen berendezések még nem játszhattak szerepet, hiszen magas költségeik mellett az energiaátalakítási hatásfokuk is meglehetősen alacsonynak bizonyult. A szabályozás is az időbeni eltolás művelete nélkül alakult ki, a termelés és fogyasztás közti egyensúlyt a termelés változtatásával tették lehetővé. A decentralizációs folyamatok következtében azonban a variábilis és nehezen szabályozható elemek elszaporodnak, ez a folyamat pedig teljesen újszerű megközelítéseket igényel. A körülmények változásának való megfelelés közben az energiatárolás kis léptékű alkalmazása is igen fontos lehet: lokális megoldások segítségével lépésről-lépésre vezethető végig a változás, valamint a legkritikusabb pontok támogatásával pedig a fejlesztési beruházások összehangoltta tehetők. A decentralizált struktúrában működő rendszerek

esetén pedig az egyes hálózatrészek autonóm szabályozásainak interakciójával egy jól működő struktúra alakítható ki. [1][3][4][5][6]

Energiatárolónak nevezzük az olyan berendezést, mely képes az energia termelés utáni abszorbeálására, majd leadására, illetve további felvételére az igények függvényében. A tárolás módja (fizikai közege) alapján tipizálhatjuk a különböző technológiákat. Egy adott eszköz jellemzésére alkothatunk egy összetett karakterisztikát, melyben megadjuk a jellemző paramétereit: névleges teljesítmény, kapacitás, élettartam, hatásfok, jellemző kibocsátási idő (ameddig fenn képes tartani a kimenetét), válaszidő (reakció az igények változására), ciklus élettartam és fizikai méretek. Ezek segítségével összehasonlíthatjuk más típusokkal, vizsgálhatjuk a rendszerbe illesztés lehetőségeit és meghatározhatjuk a potenciális alkalmazási területeket. Az üzembe helyezéskor a konkrét definíciókat mindig tisztázni kell. Szükséges továbbá a megfelelő protokollok implementálása és komponensek közti kommunikáció létesítése. Ezek után az összekapcsolási szükségletek már meghatározhatók (kimeneti minőségi követelmények, tolerancia és szinkronizációs adatok). [5][7]

Az energiatárolás költségeinek helyzete

Központi kérdés az energiatárolók vizsgálatakor a költségelemzés. Igazán hasznos alkalmazás az, amelyik nem csak a hálózat fizikai tulajdonságait javítja, hanem pénzügyi szempontból is pozitív mérlegre képes. A korábbi elterjedés gátjaként egyértelműen a túl magas költségeket említhetjük, azonban a technológiai fejlődés komoly hatást gyakorol az akkumulátoriparra, illetve teljesen új alapelvek berendezések is képesek lehetnek versenyképes működésre a közeljövőben. A bevezetőben említett motivációk pedig akár szabályozhatósági szintű beavatkozásokat is előrevetíthetnek, melyek akár megjelenhetnek támogatások és tarifakedvezmények formájában is. A nemzetközi tanulmányok elemzése alapján kijelenthető, hogy jelenleg csak speciális körülmények közt lehet gazdaságilag is igazán versenyképes megoldás az energiatároló berendezések telepítése. Az ipari szereplők azonban egyre bizakodóbbak, a nagyléptékű gyártás és az innovatív technológiai megoldások egyaránt folyamatosan javítják a helyzetet. Jelenleg főként a kiforrott technológiák szerepelnek potenciális esélyesként, főként a szivattyúzott vizes energiatárolás az, amely nagyléptékű igények esetén valóban versenyképesnek mondható. [5][6][10]

Az alkalmazások és a modellezési eljárás

Az energiatároló alkalmazhatóságának vizsgálatához egy jól kidolgozott és lehetőleg kellően általánosított eljárásra van szükség. Tétélezzük fel, hogy felmerül az energiatároló telepítés gondolata egy adott hálózatrészen. A motiváció igen sokrétű lehet, az energia felhasználásának időbeni eltolása több lehetőséget rejt magában. A különböző szabályozási tartalékok létesítésére a technológiák sokszínűségéből adódóan számtalan megoldás kialakítható. Nagy főtároló képességű szivattyúzott víz tározóktól kezdve a rendkívül gyors válaszidővel és szabályozhatósággal büszkélkedő akkumulátoros vagy lendkerekes megoldásokig csak a hatékonyság szab határt az elképzeléseknek. Tartalékok létesítése mellett „Black start”

¹ A szerzőknek a KLENEN '16 konferencián (Székesfehérvár, 2016. március 9-10.) elhangzott előadása

képesség is adható a termelőegységeknek, amelyek ez által juttatásokban részesülnek versenypiaci vagy bilaterális szerződéseken keresztül. Izolált és magas terheltségű hálózatok esetén növelhető az ellátásbiztonság. Feszültségminőség befolyásolása is elérhető meddőkompenzáció vagy lokális tartalék implementálásával. A nagy volumenű hálózatfejlesztések összehangolása lehetséges ideiglenes tárolási kapacitás létesítésével, ezáltal tervezhetőbbé téve a tökeigényes beruházásokat. A megújuló energiaforrások mellett alkalmazva javítható a betáplált teljesítmény időbeli ingadozásának problémája. Fogyasztói oldalon is számos hasznos felhasználás említhető, a megbízhatóság növelésétől kezdve a kedvezőbb díj-szabás kialakításáig (pl. maximális teljesítményigény csökkentése). Ezen alkalmazások mind-mind eltérő célfüggvényt valósítanak meg működésük során, így ettől függően a kiértékelés is e függvény sikeressége alapján kell, hogy működjön. A hatások vizsgálatára egy összetett szimulációs script került megvalósítása a DigSILENT Power Factory 15.0 program környezetében. Bemutatásuk szükség van a kérdéses hálózatrész topológiájára, az összeköttetések minél pontosabb leírására. A termelő és fogyasztó egységek valamilyen időlépésbeli teljesítményáramlás adatai határozzák meg a szimuláció lehetőségeit. A vezérlések időfelbontása, ezáltal a hatékonysága alapján ezen adatoktól függ. Minőségi paraméterek befolyásolása esetén szükséges a hatásos- és meddőteljesítmények ismerete közvetlenül, vagy a teljesítménytényezőből számítva. Kimeneti paraméterként a beépített teljesítményáramlás számítását végző iterációs ciklus és a megvalósított tároló vezérlés működése alapján létrejött új hálózati teljesítményviszonyok és minden villamos paraméter kinyerhető. Ezek alapján a műszaki és gazdasági számítások részletes és pontos adatsorokon végezhetők. A lehetőség felismerése és megfelelő rendelkezésre álló adat esetén tehát ez az eljárás konkrét számokat szolgáltat a telepítéssel elért változásokról.

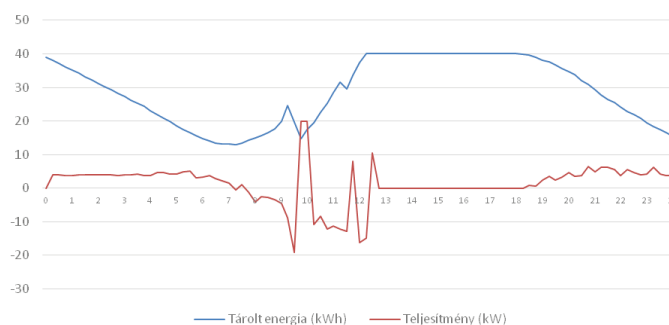
A modellezési eljárás fejlesztésekor a funkciók sokrétűsége volt a fő szempont. A szimuláció időtartama és az időlépték is egyaránt beállítható, így egyben igazítható is az aktuálisan rendelkezésre álló adatokhoz. A script tetszőleges modellen futtatható, ezáltal széles körben is felhasználható. A hálózaton az energiatároló berendezés egyetlen elemként kerül leképezésre minden esetben, a korábban felsorolt minden karakterisztikus elem beállítható és fel is használható. A stratégiák közt néhányhoz méretezési eljárás is futtatható, mely az aktuális adatok alapján megadja a szükséges tárolókapacitást. A továbbiakban bemutatott vezérlési elvek az ELMŰ Főti Élhető Jövő Park hálózatról nyert adatok alapján működnek. A környezet a Parkban készült mérési adatok felhasználásával paraméterezett, tehát valós szituációt mutat be. A vizsgált hálózatrész kezelhető Microgrid struktúráként, egyetlen ponton csatlakozik a közművi hálózathoz, helyi megújuló energiaforrás betáplálással is rendelkezik. A tároló berendezés maximális kapacitása 40 kWh, névleges kisütési teljesítménye pedig 20 kW. A bemutatott ábrákon 100%-os hatásfokkal és 0 válaszidővel működik, de ez a szimuláció során tetszős szerint változtatható. Minden bemutatott eredmény 24 órás időtartamot ölel fel, de ezek a paraméterek változtathatók. [9][11][12]

Virtuális Szigetüzem kialakítása

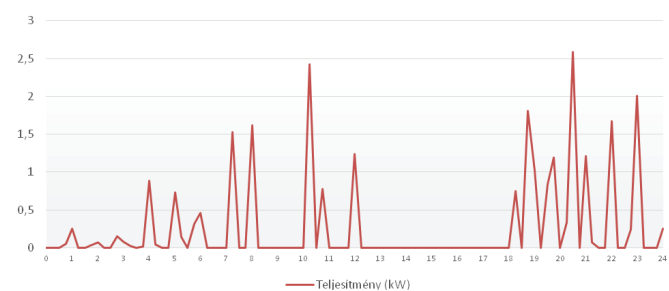
Az első stratégia során a célfüggvény a hálózatról vételezett energiamennyiség minimalizálása. Mivel a decentralizált rendszer esetén a lokális termelés esetünkben is adott, ezen zöld energia helybeni felhasználása is maximalizálódik egy ilyen üzemben. A virtuális

szigetüzem azt jelenti, hogy a hálózat igyekszik izoláltan működni, de a kiegyenlítetlenségek kompenzálására rendelkezésre áll a mögöttes hálózat. Az algoritmus lényege, hogy minden időlépésben kiszámítja a nettó energiaértéket (helyben termelt energia-teljes fogyasztás), ez alapján pedig az energiatároló berendezés fizikai határait figyelembe véve próbál kiegyensúlyozni. A megvalósított vezérlés valósidejű adatokon dolgozik (ezáltal folyamatirányító rendszer igénye van), nem támaszkodik múltbéli értékekre. Ebből fakadóan értelemszerűen úgy a leghatásosabb, ha az időlépés nagyon rövid.

Az 1. ábrán látható működés (tárolt energia és teljesítmény változása) 15 perces kapcsolási frekvencia mellett jött létre. Megfigyelhető, hogy a vételezett teljesítmény (2. ábra) maximuma igen csekély, a fluktuáció sikeresen csökkenthető. A helyi betáplálás döntően napelemes termelésből származik, így a leginkább napsütéses időszakban a tároló feltöltődik (negatív teljesítmény értékek) a kapacitáshatárt 12-13 óra közt el is éri. Ezután a helyi termelés meghaladja a fogyasztást, így a tároló berendezés nem ad le teljesítményt. 18 óra környékén - napelemes termelés megszűnése után - láthatóan újraindul a teljesítmény követéses kisütés.



1. ábra. Energiatároló berendezés paraméterváltozásai virtuális szigetüzemet megvalósító vezérlés segítségével



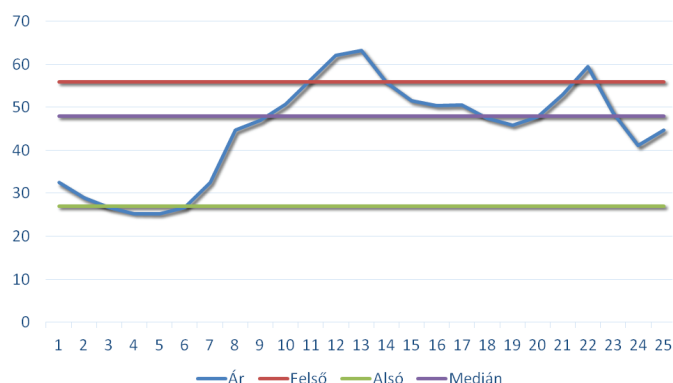
2. ábra. A hálózatról vételezett teljesítmény virtuális szigetüzemű vezérlés esetén

A vételezett teljesítmények sokszor a vezérlés hibájából is adódnak, hiszen az aktuális értékek alapján történő szabályozás a kapcsolási frekvenciából eredő holtidő miatt hibával jár. Ez a kapcsolási frekvencia növelésével csökkenthető.

Energiakereskedelem tároló berendezés segítségével

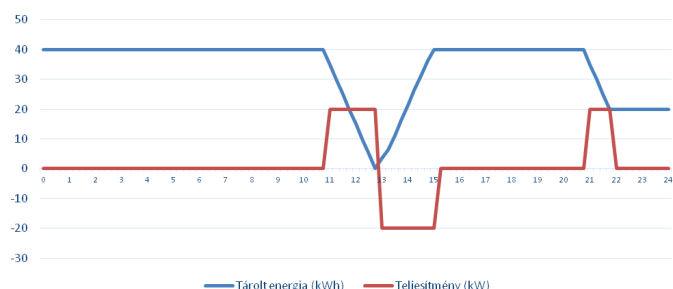
Az energiakereskedelem megvalósításának lényege, hogy a tároló a liberalizált villamosenergia-piacon létrejövő ár alapján hoz döntéseket a feltöltés/kisütés változtatásáról a 3. ábrán látható adatok a HUPX Zrt. adatbázisából származnak, 2013 nyári energiaár átlagok képzéséből keletkeztek, tehát abszolút valóságosak (emellett

korrelálnak a bemeneti mérési adatokkal évszakot tekintve). A számítások elvégzéséhez bemenetként kell megadni az energiaárak aktuális napi értékeit, ezek segédszámításokkal aktualizálhatóak hosszabb idejű szimulációk esetén.



3. ábra. Energiaár adatok (€/kWh)

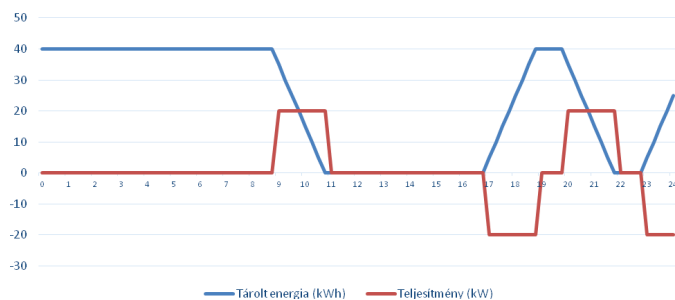
A 4. ábrán látható algoritmus lényege a következő: megadunk egy felső és egy alsó limitet, melyek eladási és vételi határértékként szolgálnak: amennyiben a magasabb limit felett van az ár, maximális teljesítménnyel történik kisütés, hogy minél több energia legyen értékesítve magas áron (vagy minél kevesebb legyen drágán véve, ha a fogyasztás van túlsúlyban az adott időszakban). Amennyiben az alsó határértéknél is alacsonyabb az ár, vételezés kezdődik (vagy minél kevesebb lokálisan termelt energia olcsó eladását vonja maga után az üzem). Amennyiben a két érték közt tartózkodunk, a tároló eszköz igyekszik minimalizálni a forgalmat, amolyan közömbös sávként jelenik meg ez az árintervallum. Esetünkben a határértékek a 3. ábrán látott bemeneti görbe alapján az 56 Ft/kWh és 27 Ft/kWh értékek.



4. ábra. Energiakereskedés alsó és felső küszöbökkel

Másik megoldási lehetőség (5. ábra) az energiakereskedés megvalósítására a helyi kiegyensúlyozást teljes figyelmen kívül hagyása, azaz kizárólag az energiaár feltétel vizsgálata. Amennyiben van előre megadott menetrend valamilyen prediktív eljárás alapján (mint esetünkben az adatsor), akkor a megoldás lehet az, hogy 12 magasabb árérték esetén eladás történik, míg a 12 alsó érték esetén vételezés. Nyilván a kapacitáskorlátok itt komoly szerepet játszanak (nagyon érdekes lehet a méretezési kérdés a prediktív bemenetek alapján és ennek hasznosulása).

Jól kivehető a működésben, hogy hol éri el az energiaár a küszöbértéket a reggeli órák alacsony értéke után (100%-os kezdeti töltöttség mellett nincs vételezés). Később az előző stratégiához hasonló jelleget láthatunk, csak a más alapelv miatt több a váltás.



5. ábra. Energiakereskedés medián alapján

Az eredmények kiértékelése

A virtuális szigetüzemű működés esetén jól látható, hogy mind a teljes vételezett energia, mind a maximális teljesítményigény esetén erősen az önálló működés lehetőségének irányába mozdult el a microgrid. Az időlépés a vizsgált esetben 15 perc, ennek csökkenésével az eredmények tovább javíthatók.

1. táblázat. Műszaki paraméterek megváltozása virtuális szigetüzemű működésben

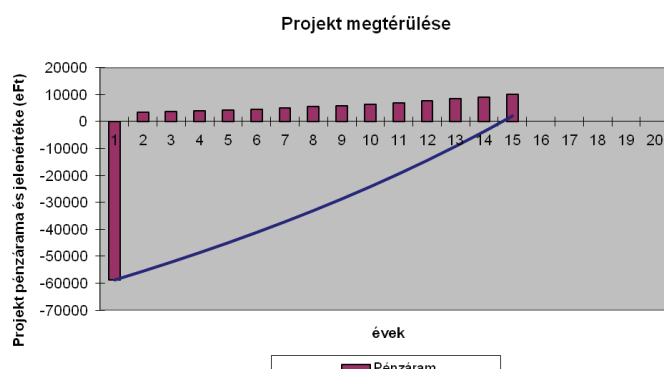
	Teljes vételezett Energia (kWh)	Maximális teljesítmény* (kW)
Vezérlés nélkül	63,61	20
Vezérléssel	16,96	3

A technikai alapadatok (teljesítmény és energia) alapján a költségek a következőképp határozhatók meg (2. táblázat): adott egy egységnyi tőkeköltés \$/kWh formában, ebből a kívánt méret alapján számítható a teljes tőkeköltés. A működési és karbantartási költségek hasonló elven működnek. A vizsgálat 15 éves időtartamot vesz figyelembe, ez a technológiai leírások alapján egy Litium-ion akkumulátor számára optimális. Emellett a költségekben a napelemes rendszer is megjelenik, hogy a hálózatrész által generált energiaforgalom alapján legyen számítható a megtérülés.

2. táblázat. Bemeneti adatok megtérülés számításához [10]

Teljesítmény [kW]	20
Kapacitás [kWh]	100
Tőkeköltés /kWh	550
Üzemeltetési és karbantartási költség /kWh	12
Beruházás teljes költsége (USD)	95 000
Tőkeköltés	55 000
Napelemes rendszer	40 000
Fix üzemeltetési és karbantartási költség [USD/év]	1200
BEVÉTEL	
Energiaforgalom változtatás nyeresége [Ft/nap]	2554

A premisszák meghatározásakor a környezet igen pozitív változása feltételezett, azonban ez a technológiai környezet változásából reális következtetés lehet. 15 éves lejáratú idő alapján egy optimális kapacitásérték esetén a medián alapú energiakereskedelem (2. táblázat és 6. ábra) pénzügyi szempontból is sikeres projektnek mondható, ahogy a 6. ábrán ez meg is figyelhető. A hosszabb időtartamot felölelő szimulációk jobb bemenetet biztosíthatnak a bevételi oldalra, míg a költségek értelmezéséhez a méretezés többszöri



6. ábra. Megtérülés szemléltetése 15 éves lejárat esetén

futtatása szükséges. Ennek ellenére ez az egyszerű modell egy jó képet ad arról, hogy szabadpiaci változások mellett az energiátárolóval támogatott megújuló energiaforrás integrációban rejlenek valós gazdasági lehetőségek.

Összességében a bemutatott eljárások tovább fejlesztésével az energiátároló berendezések telepítésének pontos és gyors kiértékelése válhat elérhetővé. A teljes szimulációs környezet meg lehetőségen sok paramétert vesz figyelembe, valamint több további stratégiát is képes megvalósítani. Fontos kérdés lehet az egyes stratégiák aggregát működésének lehetősége, mely fokozhatja a hasznosságukat. Lényeges továbbá, hogy a szimulációs környezet egyedül a topológia és a teljesítményviszonyok pontos ismeretét feltételezi, a vezérlési eljárások és a kiértékelés módszere egyaránt standardizált.

Irodalomjegyzék

- [1] International Renewable Energy Agency: Electricity Storage and Renewables for Island Power, 2012. május.
- [2] stoRE, Empfehlungen zur Anpassung der politischen und markregulatorischen Rahmenbedingungen für Energiespeicher in Deutschland, 2014.
- [3] Eurelectric: Decentralized Storage: Impact on Future Distribution Grids, 2012. Június
- [4] International Energy Agency: The Future Role and Challenges of Energy Storage Working Paper, 2014.
- [5] International Energy Agency: Technology Roadmap on Energy Storage, 2014.
- [6] Electric Power Research Institute: Electricity Energy Storage Technology Options, 2010.
- [7] International Electrotechnical Commission: White Paper on Energy Storage: 2011. december
- [8] Magyar Elektrotechnikai Egyesület (Dr. Dán András): A hazai hálózatra a közeljövőben várhatóan nagy számban csatlakozó háztartási méretű kiserőművek által okozott problémák vizsgálata
- [9] Yan Zhang, Baolong Liu, Tao Zhang, Bo Guo: An intelligent Control Strategy of Battery Energy Storage System for Microgrid Energy Management under Forecast Uncertainties, International Journal of Electrochemical Science, 2012.
- [10] Lazard: Levelized Cost of Energy Storage Analysis, 2015.
- [11] DigSilent GmbH: DigSilent Programming Language User Manual
- [12] Lipták Szilárd, (témavezető: Dr. Hartmann Bálint, Daniel Unger): Study of DigSilent Power Factory and Implementation of an All-in-one Grid Model