

A NAPENERGIA VÁRHATÓ HATÁSA A VILLAMOSENERGIA-RENDSZERRE

Szeredi István

a műszaki tudomány kandidátusa, ny. stratégiai tervezési főmunkatárs,
Magyar Villamos Művek Zrt.
szeredi.i@t-online.hu

A napenergia hasznosítása gyors növekedésre képes, nagy területen megoszoló energiaforrása vált. A hasznosítás mértéke bizonyosan túllépi azt a határt, hogy a villamosenergia-rendszer működésére gyakorolt hatása elhanyagolható legyen. A megújuló energiaforrások rendszerbe illesztését szolgáló fejlesztések – a rendszer rugalmasságának és tartalékainak növelése – mellett jelentős arányú napenergia-hasznosítás esetén a naperőművek nem maradhatnak passzív működésűek.

A növekvő napenergia-termelés változásokat tesz szükségessé a rendszerben

A bővülő kapacitású napenergia-termelés strukturális átalakítást igényel a villamos rendszerben. A korábbi egyirányú (a magasabbtól az alacsonyabb feszültség irányába történő) energiaáramlást biztosító rendszer helyett a kétirányú áramlást biztosító struktúra szükséges. Az átalakítást indokolja, hogy a decentralizált napenergia-termelés egységei főként az elosztóhálózathoz csatlakoznak. A kétirányú és változó teljesítményű áramlások mellett a rendszerben más változások és követelmények várhatók. Közülük kiemelhető:

- A napenergia belépése jelentősen átalakítja a rendszer napi, és főként csúcsidőszaki terheléseit.

- A nagy területen megoszoló napenergia-termelés összesítése kiegyenlítő hatást gyakorol a rendszer üzemére.
- Német tapasztalatok szerint a napenergia képes lehet a villamos rendszer teljes terhelésének több mint felét szolgáltatni a rendszer stabilitásának megőrzése mellett.
- A stabil hálózati üzem biztosításához kizárólag a tervezett üzem feltételeinek megfelelő átalakítók alkalmazhatók.

A magyar villamosenergia-rendszerben nincsenek előírások a beépített naperőmű-teljesítményre. A beépítés ütemét az engedélyezés, a hálózati csatlakozás és a kötelező átvétel szabályaival szabják meg. A helyzetet bonyolítja, hogy a megújuló energiaforrásból származó villamosenergia-termelés támogatási rendszerének átalakítása folyamatban van.

A napenergia-termelés sajátosságai

Németországi tapasztalatok szerint a napenergia-termelés változékony, de összesítve kiszámítható és szabályozható. A megbízható időjárás-előrejelzés eredményeként a napenergia-termelés viszonylag pontosan tervezhető. Mivel a napenergia-termelés decentralizált, az időjárás-változás, a felhősödés nem okoz súlyos ingadozást a német áramtermelésben. A nagy földrajzi területen megoszló

napenergia-termelés összesítése kiegyenlíti a gyors változásokat, és az összesített termelés változásai lassúbbak.

A megújuló energiaforrások hasznosítására vonatkozó német törvény módosította a korábbi szabályok jelentős részét. A módosítás alapján a rendszerirányító jogosult a napenergia-kapacitás távműködtetéssel való szabályozására vagy 70%-ának lekapcsolására akkor is, ha a fotovoltaikus (PV) erőmű a kifizetésű hálózatra csatlakozik.

Az alkalmazható átalakítók működési feltételeinek előírása szabályozza a napenergia-termelést. A kifizetésű hálózatokra kötelezővé tették a villamos hálózat támogatására alkalmas átalakítók alkalmazását. Mivel a német előírások gyakran váltak a nemzetközi előírások meghatározó elemévé, ezért hasonló követelmények megjelenése az EU és a magyar előírásokban is feltételezhető.

A túlnyomó részben decentralizált napenergia-termelés és a napenergia-egységek termelésüket az elosztóhálózatra táplálják be. Ez csökkenti az elosztóhálózat és különösen az átviteli hálózat működési költségeit. A decentralizált betáplálás további előnye, hogy a PV-erőművek elvileg versenyképes feltételekkel képesek extra hálózati szolgáltatásokra (pl. feszültség szabályozás). A rendszerirányító alá rendelve alkalmasak távműködtetésre, és így hozzájárulhatnak a hálózat stabilitásának és a szolgáltatás minőségének növeléséhez.

Minél kisebb a befogadó rendszer, minél nagyobb a beépített napenergia-kapacitás aránya, minél kevésbé decentralizált a napenergia-termelés, minél kedvezőtlenebbek a befogadó rendszer szabályozási képességei (pl. a vízerőmű alacsony aránya), annál súlyosabban a többlettartalék-igények és -költségek.

A változékony és nagy területen megoszoló termelés hatásaira korábban nemzetközi

összefogással próbáltak követelményeket meghatározni. Az erőfeszítések ellenére nem született kötelező érvényű előírás.

A napenergia növekvő arányának hatása a rendszer üzemére

A változékony megújuló energia növekedésének a rendszerre gyakorolt hatása függ az energiamixtől és az integrációt biztosító intézkedésektől. A napenergia-termelés alapvetően hat vissza a menetrendes termelők üzemére. A menetrendes erőművek viselik a megújuló energia változékonyságának és előjelzési hibáinak következményeit mellett az igényváltozás következményeit is. A szélsőségesen magas napenergia-arány korlátozhatja egyes állandó terhelésű termelők (például atomerőmű) üzemét.

A napenergia-termelés az elosztóhálózaton kapcsolódik a rendszerre, többségében a fogyasztók környezetében. Ez csökkenti a hálózati veszteségeket. A brit Imperial College London tanulmánya szerint az áramlási veszteségek a napenergia 8–12%-os részaránya mellett minimálisak. A tárolás kiegyenlítő hatása miatt a veszteségminimumok a napenergia nagyobb részaránya esetén jelentkeznek. Brit adatok szerint a közelítő járulékos elosztó hálózati költségek a napenergia 10–12%-os részaránya mellett minimálisak.

Fentiek alapján a magyar rendszerre vonatkozóan a költségminimum 2020-ra a napenergia 700–800 MW beépített teljesítménye mellett lenne elérhető, 2030-ra pedig a napenergia 800–900 MW beépített teljesítménye mellett. Összehasonlításként álljanak itt néhány európai ország napenergia-kapacitásának adatai (1. táblázat).

Magyarország nagysága és villamosenergia-fogyasztása alapján a naperőművek távlati beépített teljesítménye max. kb. 1000 MW-

Ausztria	766 MW	1000 óra/év
Csehország	2061 MW	1029 óra/év
Franciaország	660 MW	972 óra/év
Németország	39 832 MW	884 óra/év
Olaszország	18 460 MW	1262 óra/év
Spanyolország	4516 MW	1809 óra/év

1. táblázat

ra becsülhető (kivéve, ha a politika más prioritásokat szab meg). Nagyobb napenergia-teljesítmény esetén a rendszer többi termelőjére háruló szabályozási igények és költségek erősen növekednek. Magyarországhoz hasonló égövi adottságok mellett 1000–1050 óra/év kapacitáskihasználás lehet irányadó, ami a hálózatra adható energiamennyiséget a beépített teljesítményből 11–11,5%-os kihasználási tényezővel teszi számíthatóvá.

Az év során a napenergia-termelés jelentősen változik

Az EU villamosenergia-rendszerének forrás-szerkezetében télen és nyáron jelentősen különbözik a rendelkezésre álló PV-napenergia mennyisége. A különbség a nagy terület termelésének összegzéséből eredő kiegyenlítő hatás ellenére is számottevő. A szezonális változások nagyságrendjének közelítő vizsgálata a német rendszer alapján végezhető el.

A németországi naperóművek összes beépített teljesítménye kb. 39 700 MW. A PV-eróművek átlagos napi csúcsteljesítménye a beépített teljesítmény 34,39%-a. A villamosenergia-termelés szempontjából az év hideg és meleg félévre osztható. A meleg félévben a naperóművek napi üzeme hosszabb, és a kiadott teljesítménye nagyobb, így a hálózatra kiadott napenergia mennyisége lényegesen nagyobb. A német napenergia-kapacitás napi

egy helyett két terhelési csúcstól hárít a rendszer többi termelőjére, a déli helyett a reggeli és esti csúcsterhelés válik dominánssá. A napenergia sem a reggeli terhelésnövekedés intenzitásának mérséklésében, sem az esti csúcsmagyságának csökkentésében nem tud részt venni. Kritikus a terhelésnövekedés gyorsasága, intenzitása, ami a hagyományos termelő berendezések terhelésváltoztatási lehetőségeit meghaladja. Reggel a PV-termelés még jelentéktelen, ezért a reggeli terhelésnövekedés intenzitását nem módosítja. Hasonló a helyzet este, amikor a PV-termelés megszűnik. A napközi csúcsidejében, és ezen belül a déli csúcspanelben termelt napenergiát a német rendszerek nem tudják teljes mértékben felvenni, ezért hatásait exportjukban a környező országokra hárítják. Az esti csúcsterhelés biztosítására viszont a jelentősen visszaszorult hagyományos termelők nem elegendők, ezért importforrás igénybevétele válik szükségessé.

A naperóművek, különösen a nyári időszakban helyettesítik a hagyományos csúcseróművek termelését, csökkentik azt, illetve teljesen ki is szoríthatják azokat. Jelentősen csökkentik a más eróművekben termelt csúcserő iránti igényt.

A napenergia terheléscsökkentő hatása a magyar villamosenergia-rendszerben

A maximum 1000 MW naperómű-kapacitás az egyes hónapok kiválasztott munkanapjain az 1. ábrán látható terheléscsökkentést eredményezheti.

A magyar villamosenergia-rendszer működése és szabályozása szempontjából a következő lehetőségek várhatók:

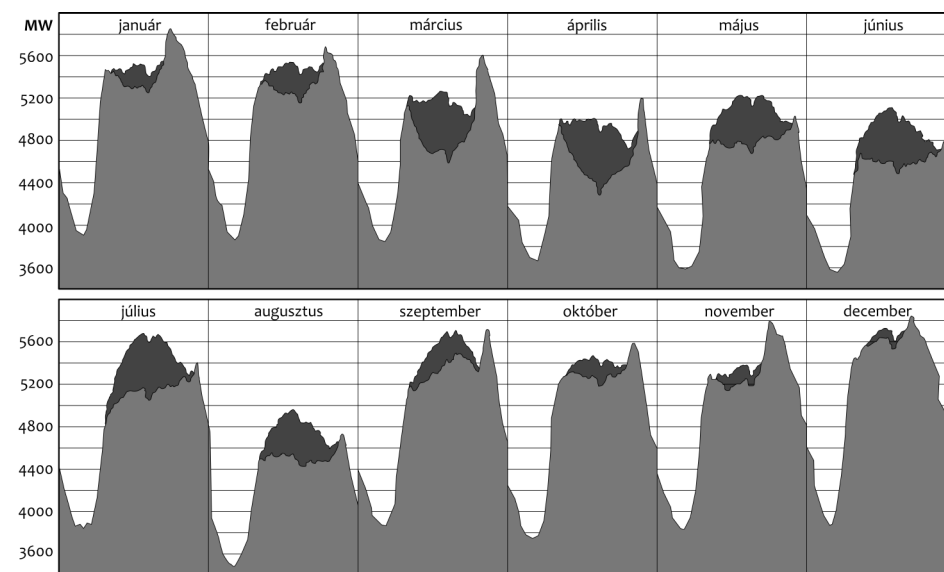
- A napenergia nem vesz részt az esti csúcsterhelésben;
- A napenergia nem vesz részt a reggeli csúcsterhelésben;

- A napenergia nem vesz részt a reggeli terhelésnövekedés mérséklésében;
- A napenergia csak esetenként vesz részt a napi csúcsterhelések mérséklésében;
- A tárolás bevezetése mentesítheti a napenergiát a kötöttségeitől.

A magyar villamosenergia-rendszerben közelítő számítások alapján a napenergia teljes beépített kapacitásának várható átlagos kihasználása munkanapokon a meleg félévben 8–9 óra/nap, a hideg félévben 4,5–6 óra/nap.

A hazai naperómű-teljesítmény korlátai

A magyar villamosenergia-rendszer napi terheléseinek várható alakulása alapján a naperómű-teljesítmény korlátai szempontjából megállapítható: a téli hónapokban a naperóművek üzeme egyik vizsgált naperómű-kapacitás mellett sem okoz számottevő eltérést a hagyományos villamosenergia-források igénybevételeiben, illetve a szükséges termelőkapacitás üzemi feltételeinek biztosításában.



1. ábra • A naperóművek várható terheléscsökkentő hatása a magyar villamosenergia-rendszerben

Nyáron a Csehországban megvalósulthoz hasonló (kb. 2000 MW) naperómű-kapacitás üzeme ütközne a meglévő és tervezett közel állandó terhelésű termelők és a kényszerüzemű termelők üzemével. Korlátozná a tervezett fejlesztések költséghatékony működését. Ekkora naperómű-kapacitás nem lenne illeszthető a magyar villamosenergia-rendszerhez. Más változókéony, megoszoló termelők figyelembevétele nélkül max. kb. 1000 MW névleges naperómű-kapacitás vizsgálható.

Nyáron a naperóművek működése által okozott igény változása miatt a rendszer többi eróművére háruló terhelési menetrend biztosítására a meglévő eróművek nem feltétlenül alkalmasak. Ha a rendszer csúcsidejében a villamosenergia-biztosítása hazai forrásokat igényel, többlet beruházási igény jelentkezésével kell számolni. Ha a csúcsidejében a villamosenergia-ellátás továbbra is kereskedelmi alapon, import források igénybevétele

történik, a terhelési menetrend nagy naperőmű-teljesítmény miatti átalakulása várhatóan magasabb importárakat eredményez.

A villamosenergia-rendszer üzeme szempontjából megengedhető maximális naperőmű-kapacitás meghatározása részletesebb vizsgálatokat tenne szükségessé. Ennek hiányában, nagyságrendi becsléssel kb. 1000 MW maximális beépített naperőmű-teljesítmény körül vonható meg a felső határ.

A tárolás alkalmazása lehetővé tenné a napenergia illesztését a menetrendes üzemhez.

Az EU villamosenergia-piacának integrációja várhatóan tovább növeli az importnyomást. A hazai villamosenergia-szolgáltatás forrásai a hazai termelők és a növekvő mértékű import között oszlanak meg. Az importban érdekelt kereskedelmi szervezetek nem feltétlenül tekintik érdekeikkel egyezőnek a napenergia hasznosításának növelését.

Egyértelműen megállapítható: a napenergia belépése kiszorítja az energiainportot, tehát az energiafüggettség mértékét csökkenti.

A napenergia hatása a villamos energia nagykereskedelmi árára

A nemzetközi tapasztalatok és kiemelten a németországi vizsgálatok alapján egyértelműen megállapítható, hogy a naperőművek csökkentik a hagyományos csúcserőművek üzemét, és jelentősen csökkentik a csúcserőművek üzemét. A naperőművek csúcsidei energiát szolgáltatnak.

A napenergia hatása a villamosenergia-piac nagykereskedelmi áaira két lényeges formában jelenik meg. Egyrészt a hálózatra adott nagy mennyiségű napenergia következtében a napközbeni csúcsidei energiaárak az állandó terhelésű árak környékére csökkennek. A korábbi csúcsidei árak eltűnnek. A csúcs-terhelés és az állandó terhelés árai fokozatosan

kiegyenlítődnek. A napon belüli árkiegyenlítés fokozatosan kizárja az energiakereskedelmen alapuló tárolás életképességét. Rendelkezésre állási díj bevezetése nélkül csekély valószínűsége van a tőkebevonásnak energiátárolási projektek megvalósításához – függetlenül a tárolás technológiájától. Másrészt a napi árcsúcsok a napenergia naponkénti belépésénél és megszűnésekor jelentkeznek, alapvetően a hagyományos termelők teljesítményének mobilizálásából.

Németországi tapasztalatok szerint a 2008-ban kiobbant válságot követően a villamos energia nagykereskedelmi ára csökkent, és visszatért az EU CO₂-kereskedelmének bevezetése előtti szintre. Ma a villamos energia ára túl alacsony új termelőkapacitások beléptetéséhez. A továbblépéshez beavatkozás szükséges. A prognózis a maihoz hasonló alacsony árszint tartós fennmaradását feltételezi.

A nagy napenergia-kapacitás belépése következtében a napközbeni terhelési csúcs helyett két intenzíven növekvő csúcs jelentkezik reggel és este. Mindkettőnél a terhelés követe-se a korábbinál rugalmasabb (és költségesebb) források igénybevételét teszi szükségessé.

A naperőművek belépése az elmúlt években fokozatosan letörte a csúcsidei energia árszintjét. Fokozatosan kiegyenlítődik az állandó terhelés és a csúcsidei termelés árszintje.

A nagy mennyiségű megújuló energia egyidejű megjelenése miatt az átmenetileg szükségtelen hagyományos termelők dönthetnek a kapacitásleállítás és a rövid időn belüli újraindítás költségei vagy a negatív árak vállalása között.

Nemzetközi szervezetek ajánlásai a megújulókat csatlakozására

Nemzetközi szervezetek (IEA, IRENA) szerint a jelentős volumenű és változékony tel-

jesítményű, nem menetrendkövető megújuló energia (szél- és napenergia – amelyek villamosenergia-termelése függ a meteorológiai állapotoktól és időtől) integrálása a villamos hálózatba a rugalmasság növelését biztosító átalakításokat tesz szükségessé.

A megújuló energia alkalmas a megoszló energiatermelésre azokban a rendszerekben, ahol számos kis erőmű csatlakozhat az elosztóhálózatra és a villamos energia előállítására a fogyasztói oldalon. A jelentős mennyiségű változékony megújuló energia integrációja átalakításokat tesz szükségessé a villamosenergia-rendszerben a rugalmasság növelésére:

- Lehetővé kell tenni a villamos energia kétirányú áramlását, a nagy erőművektől a fogyasztók felé és a kis termelőktől a hálózatba, biztosítva a stabilitást.
- Az intelligens hálózat létrehozása és a fogyasztóoldali szabályozás szükségessé teszi a rugalmasság növelését a csökkenő csúcs-terhelés és a termelés fokozott változékonyságának kezelésére.
- Erősíteni kell a hálózati összeköttetéseket regionális és nemzetközi szinten a kiegyenlítőképeség, a rugalmasság, a stabilitás és az ellátásbiztonság növelése érdekében.
- Energiatárolók beléptetése szükséges a változékony megújulóenergia-többlet tárolására.

Az integrált uniós energiapiac létrehozása érdekében az Európai Bizottság összeállította és elfogadta a kulcsfontosságú és közös érdekű energetikai projektek listáját. A várakozások szerint a közös érdekű energetikai projektek (PCI) segíteni fogják az európai energia- és éghajlati célok megvalósulását, továbbá kulcsfontosságú építőelemei az EU Energia Uniónak. A közös érdekű projektek lehetővé teszik az európai energiapiacok integrálását, az energiaforrások és a szállítási útvonalak

diverzifikációját, továbbá segítik az energia-ellátási elszigeteltség megszüntetését egyes tagállamokban. A megújuló energia hálózatra adása csökkenti a szén-dioxid-kibocsátást.

A közös érdekű projektek jogosultak gyorsított engedélyezési eljárásra és pénzügyi támogatásra 2014-2020 között a Connecting Europe Facility által kezelt forrásokból. A támogatás célja a projektek felgyorsítása és magánbefektetők részére vonzóvá tétele. A projektek több mint fele villamoshálózati fejlesztést tartalmaz. Az EU közösségi érdekű és közösségi finanszírozásra jogosult villamoshálózati projektjei elsődlegesen a nagyfeszültségű hálózati összeköttetések, másodlagosan az energiátárolás fejlesztésére irányulnak. Az EU és szervezetei (például EURELECTRIC) a szivattyús energiátárolók létesítését preferálják. Közös érdekű szivattyús energiátároló EU-projekt jelenleg Ausztriában (4 helyen), Bulgáriában, Csehországban, Észtországban, Görögországban, Írországban (3), Lengyelországban, Litvániában, és Olaszországban (4) van folyamatban.

Az EU DG ENER dokumentuma szerint az energiátárolók kulcsszerepet fognak játszani az EU alacsony szén-dioxid-kibocsátású villamosenergia-rendszerében. Az energiátárolók a nagyobb rugalmasság és kiegyenlítés mellett háttérrel biztosítanak a változó megújuló energiához. Javítják a rendszer irányítását, csökkentik a költségeit, és növelik a hatásfokot. Ezzel megkönnyítik a megújuló energia piaci bevezetését, felgyorsítva a villamosenergia-rendszer szén-dioxid-mentesítését, növelik az energiabiztonságot és a villamosenergia-átvitel/elosztás hatásfokát, stabilizálják a villamos energia piaci árát, az energiaellátás magasabb biztonsága mellett.

A jelenlegi tárolást az EU villamosenergia-rendszerében szinte kizárólag a szivattyús

energiatárolás (vízenergia) biztosítja. Az energiatárolás más formái vagy minimálisak, vagy kezdeti fejlődési szakaszban vannak.

Az energiatárolás három szintje: az átviteli hálózati központi tárolás, az elosztóhálózati tárolás és a végfelhasználói tárolás. Ezek a szintek egyben feszültségintek is. Az energiatárolás három fő funkciója a termelés és fogyasztás egyensúlyának biztosítása, a rendszer szabályozás és a hatásfok növelése. A két alsó feszültségintű tárolás főként akkumulátor lehet. A legfelső szint a szükséges nagyság alapján lényegében szivattyús energiatároló lehet.

Tekintettel arra, hogy az új termelőket egyik szinten sem kötelezik a szükséges tárolás megvalósítására, a szükséges tárolókapacitás biztosítása a legfelső szintre toódik. Azon a szinten a felgyűlő tárolási, szabályozási és hatásfoknövelési igények biztosítása központi, rendszerirányítói feladattá válik.

Az üzemi tartalékok segítik a napenergia magas részaránya melletti integrációt

A napenergia-hasznosítás növelésénél a következő hatásokkal kell számolni:

- A többlet napenergia jelentős átmeneti teljesítményáramlásokat okoz a csatlakozó rendszerben, csökkentve a rendszerstabilitást és növekvő hatást gyakorolva a kereskedelmi feltételekre.
- A szűk keresztmetszetek új, kiegészítő hálózati és határkeresztelő kapacitások létesítését teszik szükségessé.
- Növekszik a villamosenergia-rendszer biztonságos üzeméhez szükséges kiegyenlítő energia és tartalék kapacitás iránti igény.
- A magas napi termelés időszakában megnőnek a hálózati veszteségek és a meddő kompenzációs igény.

A napenergia integrálásához szükséges rendszer fejlesztése mellett a német gyakorlat

a napenergia-termelő egységek passzív szerepét szüntette meg. A hálózat stabilitásának biztosítására kötelező előírásokat vezettek be a napenergia-termelő egységek átalakítóinak működési feltételeire, és megvalósították az egységek központi vezérlését és lekapcsolását.

Egyensúlyi zavarok a villamosenergia-rendszerben több okból léphetnek fel, többek között a nagy termelőegység hirtelen kiesése, változások a villamosenergia-igényben és a napenergia-termelésben (például a felhőtakaró miatt). Ha a villamosenergia-termelés eltér a kereslettől, akkor az üzemi tartalékok állítják helyre az energiaegyensúlyt. Az üzemi tartalékok részvétele különböző lehet a teljesítmény növelése vagy csökkentése felé, a válasz gyorsasága és jellege szerint (helyi vagy központi, automatikus vagy kézi stb).

Az üzemi tartalékok függnek a villamosenergia-rendszer jellemzőitől és a biztonsági kritériumoktól. Bár a rendszerek üzemeltetői és a kutatók többnyire egyetértenek abban, hogy a megnövekedett napenergia valószínűleg növeli a szükséges üzemi tartalékokat, azok mennyiségét és fajtáját nehéz felmérni.

A szükséges tartalékok nagysága és költsége a napenergia változékonysága mellett sok tényezőtől függ, ezek közé tartozik a napenergia aránya a rendszerterhelésben, a rendszer nagyság rugalmassága, a befogadó erőműrendszer forrásösszetétele. Ezek üzembiztonsági és szabályozási szempontból alapvetően befolyásolják a tartalékok mennyiségét és költségeit. E téren kutatások folytak, de a napenergia mennyiségének növekedése miatt szükséges tartalékokra nincsenek általános vagy kötelező előírások.

A villamosenergia-rendszer képes kell, hogy legyen integritásának megőrzésére különféle esetekben akár nagyon rövid időszakokban: például zárlat a vezetékkel valamelyik

kén, termelőegység kiesése. A villamosenergia-rendszer stabilitása az a képesség, amellyel a rendszer üzemét egyensúlyba hozza a különböző eseményeket követően.

A PV-naperőművek működési jellemzői lényegesen különböznek a hőerőművektől, ahol nagy nyomású gőz forgatja a turbinát és a vele egy tengelyen lévő szinkrongenerátort. A frekvenciaszabályozás a hagyományos turbinák sebességszabályzóival történik. A PV-erőművekben nincs forgó mozgás. Annak hiányában a PV-naperőmű-egységek nem vesznek részt a rendszerinerciában.

A nagy naperőműtelepek elvileg képesek a leadott teljesítmény $\pm 70\%$ -os változtatására 2–10 perc alatt (tehát nem túl gyorsan), és naponta sokszor (az átalakító termodinamikai adottságaitól függően). Ezért a naperőműtelepek együttműködhetnek a terhelés változtatási sebességének szabályozásában és a termelés korlátozásában. Fontos, hogy az alkalmazott átalakító lehetővé tegye a feszültség és a meddő teljesítmény szabályozását.

A tárolási típusok közül a lassú forgású, rendkívül nagy inerciájú szivattyús energiatároló preferálható a PV-inerciamentességének kompenzálására.

A napenergia hatásainak összegzése

A napenergia változó, de nagyobb területen összesítve kiszámítható és szabályozható. A nagy területen megoszló termelés kiegyenlíti a gyors változásokat. A beépített napenergia-kapacitás növekvő aránya kedvezőtlenebb a rendszerszabályozási képesség szempontjából, és növeli a többlettartalék igényét, költségét.

A német villamosenergia-rendszerben a nagy napenergia-kapacitás következtében a napi egy helyett két terhelési csúcs hárul a többi termelőre, és a napenergia az esti és

reggeli csúcs csökkentésében nem tud hatósan részt venni. A csúcsidőben termelt napenergiát a német rendszerek nem mindig tudják az országon belül felhasználni, ezért az exportjukban a környező országokra hárítják annak hatásait. A naperőművek csúcsidei energiát adnak a hálózatra, és a belépésük az elmúlt években letörte a csúcsidei energia árszintjét.

Várhatóan a napenergia a magyar villamosenergia-rendszerben sem tud részt venni az esti és a reggeli csúcsban, sem pedig a reggeli terhelésnövekedés intenzitásának mérséklésében. Csak tárolás bevezetése mentesíthetné a napenergiát a kötöttségeitől. A hazai villamosenergia-rendszer üzemé szempontjából megengedhető maximális naperőmű-kapacitás részletesebb vizsgálatokat tesz szükségessé.

A változókegyen megújuló energia integrációja a rugalmasság növelése érdekében átalakításokat tesz szükségessé a villamosenergia-rendszerben. Biztosítani kell a villamosenergia kétirányú áramlását, a rugalmasság növelése érdekében erősíteni kell a hálózati összekötéseket, és energiatárolók beléptetése szükséges.

A napelemeknek nincs inerciájuk, ezért a PV-kapacitás növekedése jelentős mérséklődést eredményez a stabilitásban. A termelő PV-egységek nem maradhatnak passzív működésűek.

A napenergia miatt megnő a szükséges üzemi tartalék igénye, de a napenergia mennyiségének növekedése miatt szükséges tartalékokra nincsenek általános vagy kötelező előírások.

Kulcsszavak: *napenergia, megújuló energia, rendszerbe illesztés, megoszló termelés, rendszer-rugalmasság, energiatárolás, üzemi tartalékok, rendszerstabilitás*