

**PERFORMANCE OPTIMIZATION
AND SYSTEM MONITORING OF
SMALL AND MEDIUM-SIZED
SOLAR POWER PLANTS****KIS- ÉS KÖZEPES MÉRETŰ
NAPELEMES ERŐMŰVEK
TELJESÍTMÉNYOPTIMALIZÁLÁSA
ÉS RENDSZERFELÜGYELETE**BOZSIK Nándor¹**Abstract**

Solar energy will be one of the cornerstones of sustainable development and energy supply in the future. As more and more solar systems are built and connected to the utility grid, there will be an increasing need to monitor these systems. System monitoring tools are used to optimize electricity performance and maintain grid stability based on real-time generation data from solar systems. One of the most useful and spectacular elements of modern solar systems is the remote monitoring of online systems. This allows the operation of the solar system to be monitored. You can check the present and past data via the Internet, either with a smartphone or any Internet-connected device. This study shows, among other things, how system management helps the efficient and safe operation of solar systems.

Keywords

solar panel, renewable, system management, inverter, optimizer, smart meter

Absztrakt

A napenergia a jövőben a fenntartható fejlődés és az energiaellátás egyik alappillére lesz. Ahogy egyre több napelemes rendszer épül és csatlakozik a közüzemi villamosenergia-hálózatba, egyre nagyobb a szükség lesz ezeknek a rendszereknek a felügyeletére. A rendszerfelügyeleti eszközök a napelemes rendszerekből származó valós idejű termelési adatok alapján a villamosenergia teljesítményének optimalizálását és a hálózat stabilitásának megőrzését szolgálják. Sokak számára ismert a korszerű napelemes rendszerek egyik hasznos és látványos eleme az online rendszerfelügyelet, a távoli monitoring. Ennek segítségével nyomon követhető a napelemes rendszer működése. Ellenőrizhető a jelen- és a múltbéli adatok az interneten keresztül, akár egy okostelefon vagy bármely internethez kapcsolódó eszköz segítségével. Ez a tanulmány többek közt azt mutatja be, hogyan segíti a rendszerfelügyelet a napelemes rendszerek hatékony és biztonságos működését.

Kulcsszavak

napelem, megújuló, rendszerfelügyelet, inverter, optimalizáló, okosmérő

¹ bozsi.nandor@uni-obuda.hu | ORCID: 0000-0002-6798-3844 | PhD Student, Óbuda University Doctoral School on Safety and Security Science | doktorandusz, Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola

BEVEZETÉS

A Föld népessége folyamatosan növekszik, ami együtt jár az energiafogyasztás jelentősen emelkedésével. Az energiahatékonyság javulása ugyan mérsékeli a fokozódó energiakeresletet, viszont a megújuló energiaforrások növekvő felhasználása kulcsfontosságúvá vált a fosszilis energia részleges kiváltására. A megújuló energia felhasználása felértékelődik, még akkor is ha sokszor kisebb mennyiségben, elszórtan áll rendelkezésre, a termelése nem szabályozható eloszlású vagy erősen függ az időjárás alakulásától. [1] A megújuló energiaforrások hasznosítása az EU klíma- és energiapolitikájában is egyre nagyobb jelentőséggel bír. A megújuló energiahasználat növelését indokolja az importált fosszilis energiatülszórás csökkentése, illetve az energia szektor káros környezeti hatásainak mérséklése. Így van ez Magyarországon is, ahol a megújuló energiaforrások kutatása több évtizedre tekint vissza. [2] [3]

Az utóbbi évtizedben a napelemes rendszerek elterjedése jelentősen hozzájárult nemcsak a fogyasztók önellátásához, hanem az ország decentralizált villamosenergia-termeléshez is. A háztartási napelemes kiserőművek 2015-ben 504 TJ, 2020-ban már 4291 TJ villamosenergiát állítottak elő, ez 8,5-szeres növekedést jelentett öt év alatt. A 2015-ös 0,4%-os részarányuk 2020-ra 7,13%-ra nőtt az összes megújuló energiákból. [4] Ezalatt folyamatosan fejlődött a napelemes rendszerekhez kapcsolódó technológia is. Ezeknek az elektronikájának (főleg az inverter és a teljesítményoptimalizáló) szállítása a becslések szerint 2020-ban 113 GW villamos teljesítmény volt világszerte. [5] A gyártói rangsor alapján 2020-ban a Huawei volt a legnagyobb napelem inverter szállító világszerte, a piaci részesedése közel 23 százalék volt. A Huawei-t a Sungrow Power Supply és az SMA követte a második, illetve a harmadik helyen a szállítók sorában. A Herfindahl-Hirschman-index az inverter gyártók adatsorából számítva 0,12 értéket ad, ami alapján az inverter piac alacsony koncentrációs besorolású, egyik gyártó sincsen monopolhelyzetben. [6] [7]

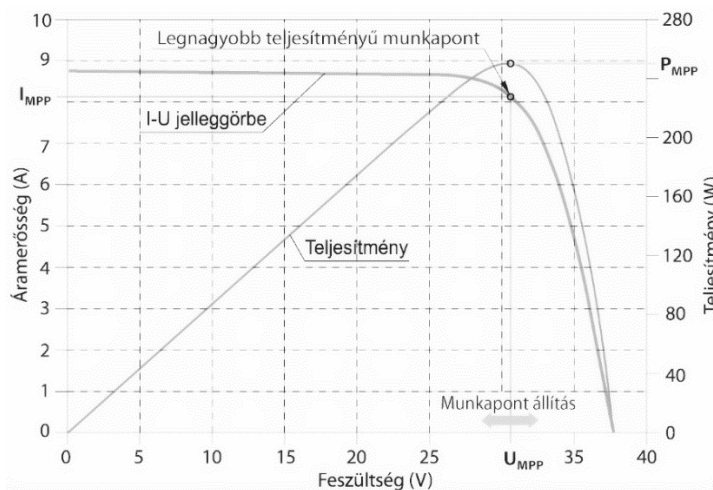
Az inverter és gyakran a vele együttesen alkalmazott teljesítményoptimalizáló kiválasztása a napelemes rendszerek tervezésének egyik legfontosabb eleme. Az inverter legfőbb feladata a napelem táblák által termelt egyenáramot a hálózatnak megfelelő feszültségű és frekvenciájú váltakozóárammá alakítsa át. Későbbiekben szó lesz róla, hogy ezek az inverterek több funkcióval is rendelkeznek, optimalizálják az áramtermelést, biztonsági feladatokat látnak el, adatgyűjtést és távfelügyeletet biztosítanak. Egyes típusai a saját fogyasztók berendezéseit is vezérelni tudják. Ezek képesek együttműködni okosmérőkkel és távoli rendszerfelügyeleti eszközökkel, azokat informálni és az onnan érkező utasításokat végrehajtani. Az inverterek mellett gyakori rendszerelem a teljesítményoptimalizáló. Ennek feladata a napelem panelek közötti teljesítmény különbségek kiegyensúlyozása, illetve az üzemeltetés során fellépő hibák, zavarok kezelése. A termelést zavaró leggyakoribb jelenség az árnyékolás okozta teljesítményvesztés, ill. egy-egy napelem modul meghibásodása. Ezeket a teljesítmény kieséseket az optimalizálók a napelem modulok szintjén kezelik, a többi modulra való hatás nélkül. Az inverter és az optimalizáló együttműködését a közöttük lévő adatkapcsolat segíti, amely így nagyobb hatásfokú rendszert eredményez. [8]

INVERTEREK

A napelemes inverterek – de igaz ez más megújuló energiatermelésben használt inverterre is – a napelem által megtermelt egyenáramot alakítják át váltakozó árammá. Az

inverter alapvető működésének megértéséhez először a napelem működését kell megérteni. A napelem áramköri szempontból, úgy működik, mint egy áramgenerátor, ami a teljesítménykorlát eléréséig tartja a közel állandó áramerősséget, miközben a feszültségérték változik és csak a teljesítmény korlát elérése után „törik le” az áramgörbéje (1. ábra). (Megjegyzendő, hogy ennek úgymond „ellenkezője” a feszültséggenerátor, ott teljesítménykorlát eléréséig tartja a feszültségértéket miközben az áramerősség változik.) Az előbbi tulajdonság háttérben a napelemek félvezető technológiája áll. A napelemek, ha sorba kötjük őket, akkor a feszültségük, ha párhuzamosan, akkor az áramerősségük adódik össze. [9]

Az inverter elektronikájának másik fő feladata a munkapont állítás, követés (MPPT, Max Power Point Tracking). Az MPPT valamilyen algoritmussal keresi meg az U-I görbén azt a munkapontot, ahol a feszültség-áram szorzata maximális (1. ábra). Ezt szokták úgy is szemléltetni, hogy keresik azt a legnagyobb területű téglalapot, ami az I-U görbe alatt szerkeszthető meg úgy, hogy a téglalap két szemközti csúcsa közül az egyik az origóban a másik az I-U görbén van, ez utóbbit nevezik a legnagyobb teljesítményű munkapontnak. A téglalap területe arányos a napelem teljesítményével, az oldalak I_{MPP} (maximális teljesítményhez tartozó áram) és U_{MPP} (maximális teljesítményhez tartozó feszültség) a szorzatuk pedig P_{MPP} (maximális teljesítmény).

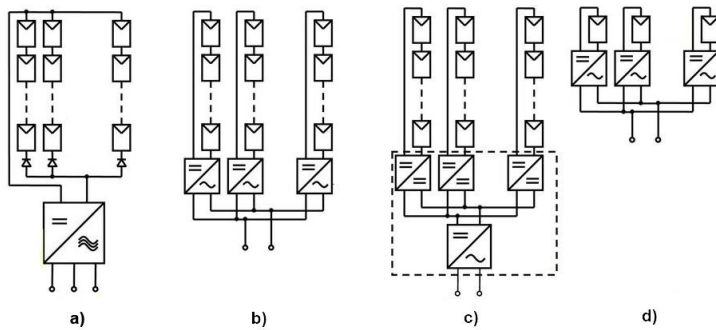


1. ábra I-U, P-U diagram, [10] alapján saját szerkesztés

A napelemek félvezető tulajdonságai miatt a leadott teljesítményük nem csak a (megfelelő hullámhosszúságú) napfény intenzitásának függvénye, hanem erősen függ a cellák hőmérsékletétől is. A cellák hőmérsékletének növekedésével csökken a napelem hatásfoka.

A rendszer kapcsolási topológiái

A napelem modulok és az inverter(ek) kapcsolata sokféle struktúrájú lehet. Ez függ a rendszer méretétől, üzemeltetés céljától, környezettől, földrajzi adottságoktól stb.. A 2. ábrán a leggyakoribb topológiák láthatók.



2. ábra Inverter topológiák, [11] alapján saját szerkesztés

A központi inverterek (2.a ábra) esetén a napelemek sorba (sztring), majd ezek párhuzamosan vannak kötve, annak függvényében, hogy az inverter milyen feszültség ill. áramtartományban üzemelnek optimálisan. A sorba kötött napelemek száma az inverter bemeneti feszültségtartományát, míg a párhuzamosan kapcsolt sztringek száma az inverter bemeneti áramtartományát határozzák meg. Az ilyen struktúrájú kapcsolásoknál azonos típusú és teljesítményű napelemeket használnak, a sztringeken belül a napelemek száma megegyezik.

A sztringinverterek (2.b ábra) esetén minden egyes sztring saját inverterrel rendelkezik, majd ezek kimenetei csatlakoznak egy közös gyűjtő váltakozó áramú sínre (AC sín).

A multisztring-inverterek (2.c ábra) az egyes sztringek, egy-egy DC-DC konverteren keresztül csatlakoznak egy közös egyenáramú gyűjtő sínre (DC sín), ami pedig az inverter bemenetére csatlakozik.

A mikroinverterek (2.d ábra) olyan DC-AC konverterek, amelyek minden egyes napelem maximális teljesítményének meghatározása mellett alakítják át az egyenáramot váltóárammá, tulajdonképpen a napelem panelnek saját „mini invertere” van. [12]

A teljesítményoptimalizálók (Power Optimizers) a mikroinverterek alá tartoznak viszont azoknál költségghatékonyabbak. Az optimalizálók alkalmazásakor a napelemenkénti munkapont-meghatározás és a DC-AC átalakítás külön történik. Az optimalizálók esetében minden egyes napelemen egy elektronikus egység van, amely a mérést és a beavatkozást végzi, ezek állítják be a munkapontot. A vezérlés és a DC-AC átalakítás a központi inverterben történik. Mivel a munkapont keresés napelemenként történik, így az inverter egyszerűbb kialakítású, olcsóbb és megbízhatóbb. Az optimalizáló és az inverter közötti kommunikáció a DC kábeleken történik, így nincs járulékos vezeték kiépítésre szükség. [8] [12]

Előnyök, hátrányok

A központi inverterek abszolút előnye a relatíve alacsony költség, viszont cserébe megköveteli azonos teljesítményű, tájolású és dőlésszögű napelem panelek használatát. Az árnyékolást rosszul tűri, minden esetben kerülendő.

A sztring inverterek alkalmazása akkor költségghatékony, hogy ha az egyes sztringek árnyék mentesek és minden modulja azonos tájolású és dőlésszögű. A hátránya éppen ebből fakad. Egy sztring akár csak egy lánc csak annyira erős, amennyire a leggyengébb

láncszeme. Amennyiben egy panel teljesítménye csökken, az kihat az egész sztringre. Ennek legfőbb okai az árnyékolás, sztringen belüli különböző tájolás és valamely panel meghibásodása. [8]

Az előbb már volt utalása rá, hogy a mikroinverterek lényegében egy önálló, egy-paneles napelemes rendszerek. Az önállóságból adódik, hogy panelek bármilyen konfigurációba vagy tájolásba szervezhetők. A rendszer semmilyen téren nem kötött, bármikor könnyen bővíthető. Lehetővé teszik a panelszintű rendszerfelügyeletet. Előnye még a minimális egyenáramú kábelezés és védelem, a panelektől indulva az egész rendszer váltakozóáramú. Ennek egyik oka, hogy az egyenáramú kábelezés drágább, mint az váltakozóáramú. A másik oka pedig, hogy az egyenáramú védelem bonyolultabb, mivel az egyenáram esetén nincs nullátmenet így az ívöltás nehezebb a váltakozóáramhoz képest. Hátránya, hogy a mikroinverterek a legdrágább megoldások a wattonkénti költség alapján. Nagyobb méretű rendszereknél, a sztring inverterek (optimalizálással vagy anélkül) költséghatékonyabbak, mint a mikroinverteres rendszerek. [12]

A teljesítményoptimalizálók esetén a munkapontkeresés (MPPT) modulonként történik, így az inverter egyszerűbb szerkezetű lehet, csak a DC/AC átalakítás a feladata. Használatával az árnyékolás miatt fellépő különbségek nem csökkentik az egész rendszer teljesítményét, így olyan helyekre is kerülhetnek napelemek, ahol korábban nem volt érdemes. Ezért ezek a berendezések megbízhatóbbak és a költségek is kisebbek. Az optimalizáló egységek az inverteren keresztül külön-külön adatkapcsolatban vannak az adatgyűjtő rendszerrel, így modul szintű rendszerfelügyeletet lehet megvalósítani. Az adatátvitel a DC kábeleken keresztül történik, tehát plusz vezetékek kiépítésére nincs szükség. A hátrányt itt is - mint a mikroinverternél - a magasabb kiépítési költség jelenti a sztring inverterekhez képest. [13]

Előnyök és hátrányok általában: a sztring inverterek a legelterjedtebb és legkedvezőbb árú inverterek. Ezek akkor működnek a leghatékonyabban, ha az azonos tájolású napelemeket árnyékolás mentesen sok napfény éri. A mikroinverterek és a teljesítmény-optimalizálók használata pedig ott javasolt, ahol az előbbieket felsoroltak nem biztosíthatók, tehát részben árnyékos, ill. különböző tájolású napelemekből áll a rendszer. [13]

RENDSZERFELÜGYLET

A napelemes rendszerek hatékony rendszerfelügyeletéhez, szükség van a rendszer és a környezeti változók értékeire és ezek eljuttatására a feldolgozó egységekhez, amik lehetnek az inverterek, a központi egységek vagy a hálózati vezérlők. Ezek az adatok a rendszer feladatától, méretétől függően az alábbi paraméterek:

- feszültség (V),
- áram (A),
- hőmérséklet (K) inverter és napelem,
- teljesítmények mind a hatásos, és meddő teljesítmény (W; var),
- villamos fogyasztás, energia (kWh),
- berendezés aktuális és archivált adatai,
- több napelemes eszköz kezelése és összehasonlítása,
- automatikus üzenet küldése a berendezés hibái esetén,
- automatikusan generált jelentések;

Környezeti paraméterek:

- napsugárzás közvetlen, közvetett és talajról visszavert érték,
- levegő hőmérséklet,
- szélirány és erősség,
- páratartalom,
- tájolás és dőlésszög,
- árnyékolás, domborzat.

Internet of Things

Ezeknek a paramétereknek a mérését sok esetben IoT-szenzorokkal (internet of things, dolgok internete) oldják meg. Az elnevezés többet takar, mint csupán szenzort. Ezek az IoT-k egy eszközben tartalmazzák az érzékelőt, a jelátalakítót és az adatok továbbításához szükséges kommunikációs adaptert. A jelátalakítók legtöbbször analóg-digitális átalakítók, mert a mért fizikai jellemző analóg folyamatos jel, míg a továbbításhoz mintavételezett, diszkrét (digitális) jelre van szükség.

Általánosságban az IoT-k hálózatba kötött elektronikai eszközök sokasága, amelyek egyedi azonosítóval rendelkeznek, így egyértelműen beazonosíthatók. Az egyik a fő feladatuk valamilyen fizikai jellemző mérése, feldolgozása és továbbítása a rendelkezésre álló kommunikációs csatornán. A másik fő szerepük a végrehajtás (kapcsolás, szelep vezérlés, stb.) Az előbbieket szokás szenzoroknak az utóbbiakat beavatkozóknak nevezni. [14] Előfordul még az „intelligens eszköz” elnevezés is. Az IoT elterjedésének köszönhetően 2021-ben, több mint 10 milliárd aktív IoT eszköz volt a világon. Ez a szám becslések szerint 2030-ra eléri a 25,4 milliárdot. Az IoT-eszközök által generált adatmennyiség, pedig várhatóan 2025-re eléri a 73,1 ZB-t (zettabájt). [15]

Kommunikáció

Az IoT-k által gyakran használt adatátviteli rendszer az alacsony energiafogyasztású, nagy kiterjedésű kommunikációs hálózatok, az LPWAN-ok. Ezek a nagy területet lefoglaló kommunikációs hálózatok alapjába véve abban különböznek a „klasszikus” mobilhálózatoktól, hogy bár kicsi az adatátviteli kapacitásuk cserébe viszont alacsony az energiaigényük. Az alacsony energiafelvételnek köszönhetően egy elem élettartama elérheti a 10-15 évet használatától függően, ebből adódik az alacsony karbantartási költség is. Az LPWAN-oknak főleg a környezeti szenzorok adatkapcsolatánál van nagy szerepe. Ezek a hálózatok képesek több száz vagy ezer szenzor adatait megbízhatóan, vezeték nélkül továbbítani a központi inverterbe, hálózatfelügyeleti rendszerbe. Az LPWAN-on belül a két legelterjedtebb adatkommunikáció, a LoRa és a NB-IoT. A kettő között a legnagyobb különbség, hogy a LoRa szabadon szervezhető és nyílt licence, addig a NB-IoT celluláris (mobilkommunikációs cellákhoz kötött), licencelt technológia. [16]

A napelemes rendszerek inverterei beállított időközönként mérik és regisztrálják (mintavételezik) a rendszer energiahozamát. A pillanatnyi, ill. az összesített adatokat az inverter rendszeresen elküldi az üzemeltetőnek, kivitelezőnek. Ezek az adatok a készülék kijelzőjéről vagy az internetről is hozzáférhetők (megfelelő jogosultság mellett) a tulajdonos számára. Ez az egyik módja annak, egy beállítási probléma, vagy esetleges hiba miatt be-

következő hozamvesztés, vagy időszakos be nem tervezett leállás kiderüljön. Az inverterek különböző kommunikációs modullal rendelkeznek, a leggyakoribbak a WLAN (IEEE 802.11 szabvány, közismert néven wifi), a GSM-modul vagy a LAN. A helyszíni szervizeléshez, pedig RS-232, RS-485 vagy USB porttal rendelkeznek. [17]

A rendszerfelügyelet a telepítőnek is ugyanúgy hasznos, mint a tulajdonosnak, hiszen a hibákról azonnal hibaüzenetet kap. A hiba sokszor csak szoftveres beavatkozást igényel így a módosítás, javítás legtöbbször távolról is elvégezhető, így jelentős költség és idő takarítható meg.

Inverter szintű monitoring

A gyártók webszervereket tartanak fenn, ahol a rendszer fontosabb működési adatai folyamatosan nyomon követhetők a pillanatnyi teljesítmény és az aktuális, napi, havi, éves energiahozam. Ugyanitt kalkuláció van a megtakarított CO₂ kibocsátásról is. Az archívum megjeleníthető diagram formátumban is, itt célszerű kWh/kWh fajlagos energiahozam kijelzést ellenőrizni, ahol viszonyítási alapként érdemes ellenőrizni, hogy a magyarországi viszonyok között 1 kWp névleges teljesítményű napelem 1-1,2 MWh éves energiahozamot produkál. (A kWp vagy kilowattpeak a napelem standard körülmények között mért csúcsteljesítménye, valóságban ritkán teljesül, összehasonlítás végett adják meg a gyártók.) Ettől eltérő értéknél érdemes megkeresni a hozamvesztés okát, amely legtöbbször árnyékolásból fakad. Eltérés esetén több nap görbéjét összehasonlítva beazonosítható az árnyék forrása, amit legtöbbször a fejlődő fák okoznak vagy időközben épített, felszerelt árnyékot okozó kémény, antenna, stb.. [10]

Napelemszintű monitoring

Az inverterszintű monitoring jobb esetben is csak az egy sztringre kapcsolt napelemek együttes termelési adatait képes megjeleníteni. Addig a napelemszintű monitoring minden egyes napelem energiahozamát és teljesítményét képes külön-külön kezelni. A valamilyen okból teljesítmény csökkenést mutató napelem modulok azonnal feltárhatók, így nem marad észrevétlen egyetlen egy elszennyeződött, sérült, stb, napelem modul sem. Az ilyen monitoring rendszerek nagy előnye a séma megjelenítés, ahol is fizikailag is jól behatárolhatók a rendellenesen működő rendszer elemek, képesek megmutatni a „gyengén teljesítő” paneleket. A jobb szemléltetés végett színárnyalatok mutatják az egyes napelem panelek adott időszakra számított energiahozamát, a hozamok számszerűen is hozzá vannak rendelve a panelekhez. [10]

OKOSMÉRŐK

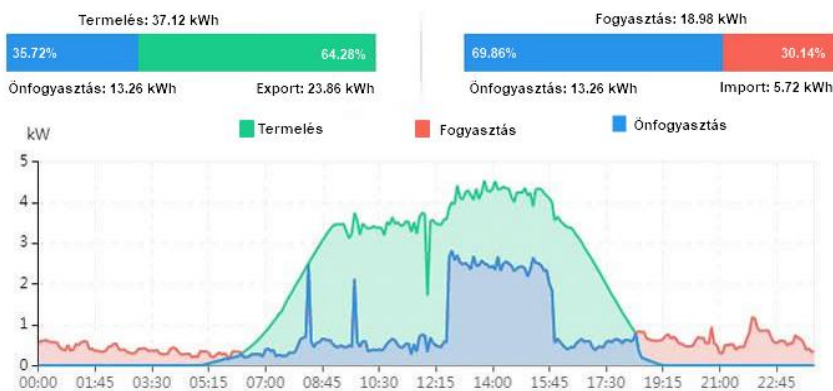
A napelemes rendszerek villamosenergia-termelése sokban függ a panelek dőlésszögétől és tájolásától, az időjárástól, valamint az árnyékhatásoktól. Eközben maga az épület sem fogyaszt egyenesen villamosenergiát. Ezek nyomon követésére, felügyeletére alkalmas berendezés az okosmérő, más néven Smart Meter. A segítségével ellenőrizhető, hogy a termelésünk mikor fedezi a fogyasztásunkat, ill. mikor szükséges ezen felül a hálózathoz vételezni a hiányzó energiát. Ellenőrizhető az is, amikor túltermelésünk van és azt betápláljuk a villamos hálózatba. Már a napelemes rendszer tervezésénél az egyik fő szempont a fogyasztás ismerete, törekedni kell a lehető legjobb termelés-fogyasztás egyensúlyára. Az okosmérő fontos tulajdonsága még, hogy képes az akkumulátor töltés-kisütését

vezérelni az inverteren keresztül. A háromfázisú rendszereknél a különböző terhelések okán a fázisokat külön-külön méri. A méretét tekintve az okosmérő kicsi, nem igényel sok időt, sem a szerelése, sem az installálása.

Rendszerfelügyelet és fogyasztás-tervezés okos fogyasztásmérővel

A Smart Meter segít megismerni fogyasztásunk dinamikáját és ennek ismeretében kialakítani annak leghatékonyabb profilját (3. ábra). A Smart Meter monitorozó egységgel nyomon követhető:

- a napelemes rendszer által megtermelt villamosenergia kWh-ban,
- az ebből azonnal, a házon belül elfogyasztott villamosenergia kWh-ban,
- az áramszolgáltatói hálózatról vételezett villamosenergia kWh-ban,
- az áramszolgáltatói hálózatba termelt villamosenergia kWh-ban
- amennyiben van akkumulátor, akkor a töltés/kisütés villamosenergia kWh-ban.



3. ábra Fogyasztás-termelés görbe, [18]

A grafikon alapján manuálisan beállítva vagy program segítségével automatizálva érdemes a nagy teljesítmény igényű elektromos készülékeinket – klíma, bojler, elektromos autó töltés, stb. – használni, ilyenkor ugyanis a napelemes rendszer által termelt villamosenergia helyben történik felhasználásra, nem vagy csak minimális fölösleg kerül betáplálásra a hálózatra (3. ábra). Akkumulátor megléte esetén ez a fölösleg töltésre is kerülhet, ezzel a tranzit mentes megoldással az amúgy is környezetbarát megújuló energiatermelésünk még inkább „zöldebb” lesz. [19]

A gyakorlatban a rendszer termelésének ismeretében tudjuk a különböző háztartási gépeket ki-be kapcsolni, hogy a lehető legnagyobb hányada legyen kihasználva a megtermelt villamosenergiának. Az ilyen fogyasztói hozzáállást segíti még, hogy anyagilag is érdekelté teszi a fogyasztót, ha az áram export-import árkülönbség nagy. A már említett akkumulátoros energia tárolás mindenképpen szükségessé teszi az okosmérő használatát, ez állítja be ugyanis a visszatöltési korlátokat (power export limitation control). [20]

ÖSSZEFOGLALÁS

A napelemes rendszerek magukkal hozták a rendszerfelügyelet és az intelligens-hálózatok technológiáját. Ezek az eszközök hozzájárultak a megújuló villamosenergia-termelés egy új és magasabb szintjéhez. A háztartások napelemes rendszereinél ezt a szerepet az inverterek és a teljesítményoptimalizálók töltik be. Ezek a technológiák gyakran kapcsolódnak az otthonok okos (smart home) rendszereihez. Az okosotthonok eszközei képesek beavatkozás nélkül egymással kommunikálni, adatot gyűjteni és ezeket továbbítani. Az eszközök közötti kommunikáció lehet mind vezetékes, mind pedig a vezeték nélküli a feladattól, elhelyezkedéstől függően. [21] A rendszerfelügyelet kétirányú kommunikációja lehetővé teszi, hogy a megtermelt villamosenergia a megfelelő fogyasztóhoz vagy tárolóhoz (akkumulátorhoz) kerüljön, illetve bizonyos feltételek teljesülése esetén a közüzemi villamos hálózatba kerüljenek betáplálásra. A felügyeleti rendszer képes a megújuló villamosenergia és a hálózati energia költséghatékony kezelésére, miközben figyelembe veszi a villamosenergia pillanatnyi tarfiáját, a háztartási gépek terhelési profilját és az akkumulátorok töltöttségi szintjét. [22]

Az rendszerfelügyeleti eszközök, inverterek, optimalizálók a folyamatos fejlesztéseknek köszönhetően egyre kompaktabbak, intelligensebbek lesznek, miközben áruk az általuk nyújtott szolgáltatásaihoz képest arányaiban nem növekszik. Az elosztott villamosenergia-rendszer fejlődése is hozzájárul ezeknek az eszközöknek a fejlődéséhez. A napelemes rendszerek szerveződése is egyre elterjedtebb lesz. A hálózat felé egy termelőként lesznek képesek fellépni. Ezek hasonlóak a manapság ismert virtuális erőművekhez (virtual power plan, VPP). [23] Ehhez elengedhetetlen a rendszerfelügyeletiek részéről az egymással kommunikálni képes korszerű inverterek, optimalizálók használata. A korszerű hálózati kommunikáció lehetővé teszi, hogy a hálózat bemeneteit, a napsugárzás mértékének és a közüzemi szolgáltató kilowattóra árainak megfelelően alakítsák, amelyek óráról órára változhatnak. Tulajdonképpen úgy működik, mint bármely piac, ahol az árak a kereslet-kínálat függvényében változnak. Ezek a költséghatékony megoldások a napelemes rendszerek – közvetve más megújulók – további fejlődéséhez járulnak hozzá. [24]

FELHASZNÁLT FORRÁSOK

- [1] Bozsik, N. "A kelet-közép európai országok energiafelhasználásának elemzése", JOURNAL OF CENTRAL EUROPEAN GREEN INNOVATION 6 : 3 pp. 37-62. Paper: 2 , 26 p. 2018.
- [2] Meyer, N., Magda, R., Bozsik, N. "The role of renewable energies in the new EU member states", JOURNAL OF EASTERN EUROPEAN AND CENTRAL ASIAN RESEARCH 8 : 1 pp. 18-25. , 8 p., 2021.
- [3] Takács, I. "A megújuló és nem megújuló energiahordozókra alapozott erőművi technológiák energiamegtérülési rátája és externáliái (CO₂)", TÉR-GAZDASÁG-EMBER, vol. 3, no. 1, pp. 91–106, 2015.
- [4] Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal, <http://mekh.hu/eves-adatok> (letöltés időpontja: 2022.05.11.)

- [5] M. Jaganmohan, "Global solar PV inverter and optimizer shipments 2015-2025 (in megawatts, alternating current)", Statista, <https://www.statista.com/statistics/790664/solar-pv-inverter-and-optimizer-global-shipments/> (letöltés időpontja: 2022.05.21.)
- [6] M. Jaganmohan, "Global PV inverter market share by shipments 2020, based on shipments", Statista, <https://www.statista.com/statistics/1003705/global-pv-inverter-market-share-shipments/> (letöltés időpontja: 2022.05.21.)
- [7] Uhrin, G., "A verseny intenzitásának mérhetősége", <https://www.gvh.hu/data/cms1000455/Uhrin%20G%C3%A1bor.pdf> (letöltés időpontja: 2022.05.11.)
- [8] Naplopo.hu, SolarEdge napelemenkénti munkapont-optimalizálók alkalmazása, <https://www.naplopo.hu/tudastar/szakcikkekink-hasznos-irasaink/334-solaredge-napelemenkénti-munkapont-optimalizalok-alkalmazasa> (letöltés időpontja: 2022.04.21.)
- [9] Budai Cs., Napelemes rendszerek érdekes kérdései, 2016, <https://docplayer.hu/5538249-Napelemes-rendszerek-erdekes-kerdesei.html> (letöltés időpontja: 2022.04.22.)
- [10] Varga P., Napelemes rendszerek, 2016, <https://docplayer.hu/44797118-Napelemes-rendszerek.html> (letöltés időpontja: 2022.05.11.)
- [11] S. Sadineni, J. Realmuto and R. Boehm "An Integrated Performance Monitoring and Solar Tracking System for Utility Scale PV Plants", American Society of Mechanical Engineers, Power Division (Publication) POWER. 2., 2011, doi: <https://doi.org/10.1115/POWER2011-55243>
- [12] Boros V., Teljesítményoptimalizálás és más előnyök, A napelemek gyakorlati működéséről II., Villanyszerelők lapja 2015/9.
- [13] UNBOUNDSolar: String Inverters vs. Micro-Inverters vs. Optimizers: Which Is the Best?, <https://unboundsolar.com/blog/micro-inverters-vs-string-inverters> (letöltés: 2022.04.22.)
- [14] Demeter K., Losonci D., Nagy J., Horváth B., "Tapasztalatok az ipar 4.0-val – egy esetalapú elemzés." *Vezetéstudomány - Budapest Management Review*, 50 (4). pp. 11-23. doi: <https://doi.org/10.14267/VEZTUD.2019.04.02>
- [15] [1]Jovanovic, B. Internet of Things statistics for 2022 - Taking Things Apart, DataProt, <https://dataprot.net/statistics/iot-statistics/> (letöltés időpontja: 2022.04.22.)
- [16] Ratliff, L. LORA Alliance - LPWAN Market Report – 2019 https://lora-alliance.org/wp-content/uploads/2020/11/ihsmarkit_berlin_2019_0.pdf (letöltés időpontja: 2022.03.11.)
- [17] M. Belouda, A. Mami, "Embedded solution for data acquisition and management strategy dedicated to a hybrid renewable energy source for remote electricity supply", *Microprocessors and Microsystems*, Volume 90, ISSN 0141-9331, doi: <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2022.104496>
- [18] Huawei: Fusionsolar reporting – Update December 2020, https://www.solar4ever.com.au/Huawei_Fusionsolar.php (letöltés: 2022.04.21.)
- [19] Solar KIT, <https://solar-kit.hu/okos-fogyasztarmeres-napelemes-rendszerhez/> (letöltés: 2022.04.21.)

- [20] N. A. Khafaf, A. A. Rezaei, A. M. Amani, M. Jalili, B. McGrath, L. Meegahapola, A. Vahidnia, "Impact of battery storage on residential energy consumption: An Australian case study based on smart meter data", *Renewable Energy*, Volume 182, 2022, Pages 390-400, ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.10.005>
- [21] MANDIĆ D., "A mesterséges intelligencia alkalmazása az okos otthonokban", *Biztonságtudományi Szemle* 2022. IV. 1. szám
- [22] I. Fatih, O. Kaplan, "The Determination of Load Profiles and Power Consumptions of Home Appliances Energies" 11, no. 3: 607. doi: <https://doi.org/10.3390/en11030607>
- [23] Herédi M., Virtuális erőművek kivitelezése, működtetése, Energetikai Szakkollégium, 2017, https://www.eszk.org/attachments/1341/besz/VPP_beszamolo_eszk.pdf (letöltés időpontja: 2022.04.21.)
- [24] G. Marsh, Partner in power: Part two: Whilst the micro-inverter revolution looks set to spread, central and string inverters remain the mainstream., *Renewable Energy Focus*, Volume 12, Issue 3, 2011, Pages 38-42, ISSN 1755-0084, doi: [https://doi.org/10.1016/S1755-0084\(11\)70062-X](https://doi.org/10.1016/S1755-0084(11)70062-X)