

Okos hálózatok és intelligens energiarendszerek

Az energetikai hálózatokkal szemben alapvető követelmény, hogy a hálózaton megjelenő energiaféleség folyamatosan mindig a megfelelő időben, megfelelő mennyiségben és minőségben álljon a fogyasztók rendelkezésére. Ha ezek a kritériumok sérülnek, akkor súlyos rendszerhibák jelentkeznek. A villamosenergia-hálózat esetében a termelés és fogyasztás egyensúlyban kell, hogy legyen (1. ábra), ha valamelyik oldal kisebb vagy nagyobb lesz, az egyensúlyi helyzet felbomlik, pl. a hálózati frekvencia eltér az optimálistól, a különféle gépek és rendszerek működése akadályozott, hiányos lesz. Az egyensúlyt vissza kell állítani, ami lehet a fogyasztás érték, illetve a betáplált energia csökkentése vagy növelése.

Az utóbbi időben a megújuló energiák terjedésével, a villamos energia úgynevezett decentralizációjával kapcsolatban egyre többet hallunk az okos villamosenergia-mérőkről és az okos villamos hálózatokról. Cikkünkben szűkebben és tágabban is e témakör népszerű, valamint tudományos nemzetközi fogalomtárával, továbbá a rendszerek várható jövőbeni megjelenésével foglalkozunk. A nemzetközi irodalomban az „intelligens energia” (Smart Energy) és az „intelligens energiarendszerek” (Smart Energy Systems) kifejezéseket használják, amelyek tágabb értelmezések, mint pl. az „intelligens hálózat”, amit általában „okos hálózat” (Smart grid) néven jelölünk. Az utóbbiak elsősorban a villamosenergia-ágazatban ismertek, viszont az Intelligens Energia Rendszerek már integrálnak további energiaágazatokat is (villamos, fűtési, hűtési energia, vízszolgáltatás, az ipar, épületek és szállítás területén). Tudományos életben a Smart Energy System (intelligens energiarendszer) az elfogadott és használt megjelölés, ami a paradigmák tudományos értelmezését adja az egyszektorú energiáktól a koherens energiarendszerek felé, tehát magába integrálja az említett összes energiaszektor és -rendszer infrastruktúráját.

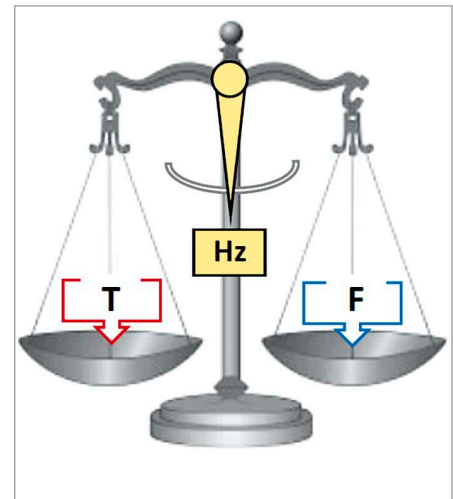
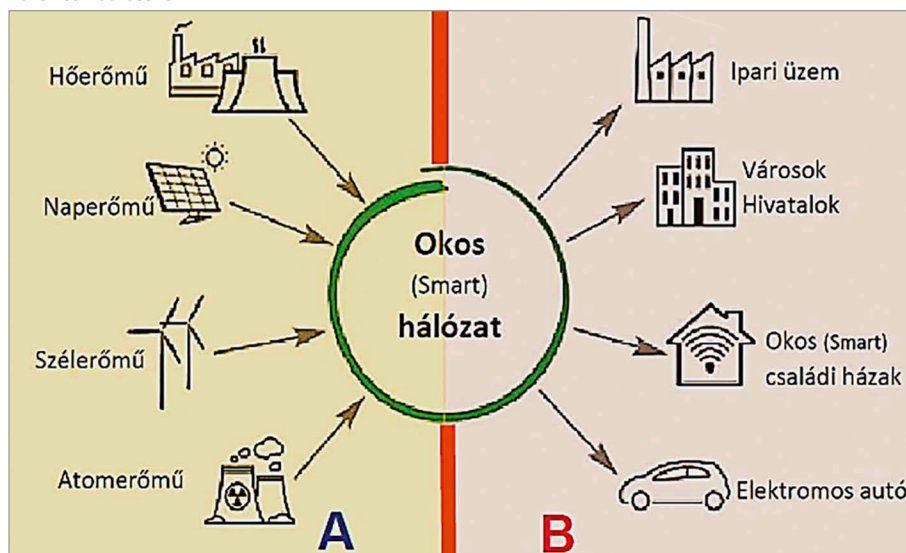
A fejlődés folyamata

Az Intelligens Energia Rendszerek kifejezést először 2012-ben említik [1]. Ezzel szemben a hálózati együttműködések és ezek irányítás-technikai megoldásai már nem volt ismeretlenek. Mint szinonima a „Smart Grid” e nagyobb villamos hálózatok esetében (2. ábra) nem teljesen újszerű, de a kisebb egyedi, illetve közösségi energiarendszerek csak később fejlődtek, így a fogalom is csak később került a tudományos és a napi köztudatba.

Ha az előző példán keresztül továbbra is a villamos hálózatot vizsgáljuk, három elkülöníthető részre tagolhatjuk (3. ábra):

- 1) Az energiaelőállító nagy berendezések és tárolási kapacitások (pl. hidraulikus).
- 2) Az okos vezérlő, amelybe a hálózati be- és kikapcsoló rendszerek tartoznak. A betáplálás a nagy rendszer részéről főként a nagyfeszültségű hálózaton keresztül valósul meg.
- 3) Az energiafelhasználó és -termelő részről a kis- és középfeszültség is igénybe van véve mindkét oldalról, miközben mára helyi lokális vagy kisebb családi „Smart Grid” kivitelek is megtalálhatók, amelyek okosmérő egységeket (Smart Metering) is tartalmaznak. Itt már több kisebb erőmű összekapcsolása (tömbösítése) is megtörténhet, amelyek a

2. ábra Az „okos” alaprendszer, ahol A a termelés, B a fogyasztás, és ezeket a kiegyenlítő vezérlés köti össze



1. ábra Példaképpen, a villamosenergia-rendszer állapota a frekvenciával jól jellemezhető, amelyek a lehető legkisebb eltérésekkel az irányadó értéken kell lennie (T – terhelés, F – fogyasztás, Európában 50 Hz)

2. szakasszal kommunikálnak. Tehát a 2. szakasz már okos hálózatnak és mérőrendszernek is tekinthetjük, de tartalmában megközelítheti az ún. intelligens rendszer is, hiszen ez a szakasz csatlakozik az energiaszállítókon keresztül az energiakereskedőkhöz, és ennek következtében hatnak a piaci viszonyok, amelyek befolyásolhatják a tárolással a fel- és leszállítással kapcsolatos tevékenységeket is (akár automatizált kivitelben is).

Az okos hálózat és mérőrendszer kiegészítő funkciókkal válhat **intelligens rendszerre** (4. ábra). Tehát az előzőhöz viszonyított tartalmi eltérés abban van, hogy nem csak mérésre, ellenőrzésre és vezérlésre értelmezik, hanem a piaci és környezeti elemekkel is kalkulál [2, 3, 4].

Már a korai időkben is voltak, akik intelligens algoritmusokkal az automatizálást is megkísérelték (5. ábra) [5]. Sőt egyesek már a „globális intelligens energiarendszer” kívánalmát is megfogalmazták, ami az energiaágazatok közötti kiegyenlítést, optimalizálást is magában foglalja [6]. Ezt kívánták(ják) használni az okos otthonokra, hálózatokra, városokra, vagy pl. a megújuló energiák integrációjára is [7].

Ebből következően nem irreális a villamos energiánál, ha az elosztó, a mikro, a helyi, majd a nemzeti és a regionális kifejezések is megjelennek [8, 9]. Az a lehetőség egyre inkább adott a számítógépes kommunikáció korszakában, hogy az energiák menedzsmentje használhatja a meglévő potenciálokat az elektromos hálózatok (esetleg más infrastruktúrák) szabályozására, önszabályozására, beleértve az automatikus újra konfigurálását is zavarok esetén. Egyértel-

mű, hogy az intelligens hálózat csak a modern számítógépes és kommunikációs technológia segítségével jöhet létre, kezelheti optimálisan, előzheti meg a kudarckokat. A globális intelligens rendszerek használatba vételét az internet széleskörű terjedése, kedvelése is elősegíti [10].

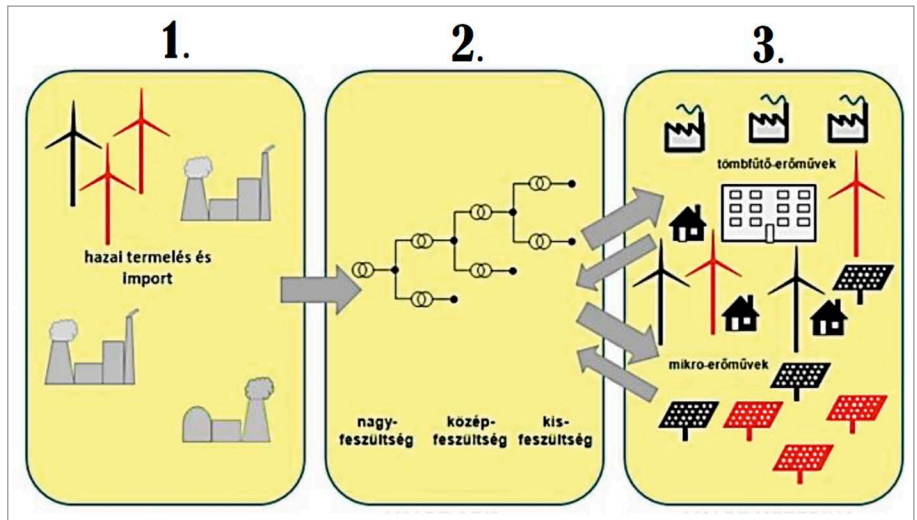
A fogalmi eltérések miatt pl. a Nemzetközi Energiaügyi Ügynökség és az Európai Unió is megállapítja, hogy az okos definíciót a kétirányú energiaáramlásra kell érteni, nem különülhetnek el a termelők és az elosztók. Ezeket közös szabályozási hierarchiába kell foglalni, beleértve a mikro- és makrohálózatokat is. Csak ezután beszélhetünk, és ez teszi lehetővé a nulla energiaigényű épületek (ZEB – Zero Energy Building) létrejöttét, amely tovább vezet azon elképzeléshez (NZEB – Net Zero Energy Building), hogy az építmény energiacsereje olyan mértékű, hogy a szerződések időtartalmának végén a szaldó nulla (beleértve pl. a gázenergiát is).

Sokan azt állítják, hogy a hálózatot az állandó áramcsere, a teljes rendszer integrált működése az elektromos hálózatot drágábbá teszi és kontraproduktív is, mivel az energiaszektorban nagyobbak lesznek a költségek és a CO₂-kibocsátás is megnő. További korszerűsítésre a hűtési és a fűtési ágazatokat említik, összpontosítva a hő megtakarítására és a távfűtés kombinációjára [11]. Az EU 27 területére kiterjedő tanulmányok azt mutatják, hogy várhatóan a jövőben az alacsony CO₂-kibocsátású energia hőenergia-megtakarítással jár együtt. Egymagában ez sem elégséges, szükséges az épületek felújítása, szigetelése és hatékonyabb energetikai eszközök alkalmazása.

A villamos energiától a gázig a legmodernebb koncepció a hidrogén, más szóval a „zöldgáz” alkalmazása, a folyékony üzemanyag előállítás, használata a közlekedésben és a villamosenergia-ágazatban egyaránt. Ez az a távolabbi paradigma, amely a megújuló energiákkal kapcsolatos ellentmondásokat, hatásukat az egységes villamos hálózatra is megoldja. Ehhez nyilván több szektor hosszabb idejű integrációja szükséges.

5. ábra Az intelligens hálózat már automatizmusokat is tartalmaz a mennyiség, a minőség és a gazdaságosság érdekében (lokális, de gyakran globális vonatkozásban is)

4. ábra Az okos és egyrendszerű intelligens hálózat összetevői (QoS) (a teljesség igénye nélkül)



3. ábra Okos villamos hálózatok és mérőrendszerek

A fentiekből látszik, hogy a probléma meg lehetőségek összetett. 2013-ban [5,6] egzakt módon is megkísérelték meghatározni az „intelligens energia rendszer” fogalmát, amely új technológiákat és infrastruktúrákat hoz létre, és ezeknél a rugalmasság elsősorban az energiaátalakítások szakaszában van. Ez annyit jelenthet, hogy pl. a villamos energiával a közlekedési hálózat különböző területein kompenzálni lehet a megújuló erőforrások rugalmatlanságát (pl. nap, szél).

Az intelligens energiarendszer fő elemei

A főbb hálózati infrastruktúrák a következők:

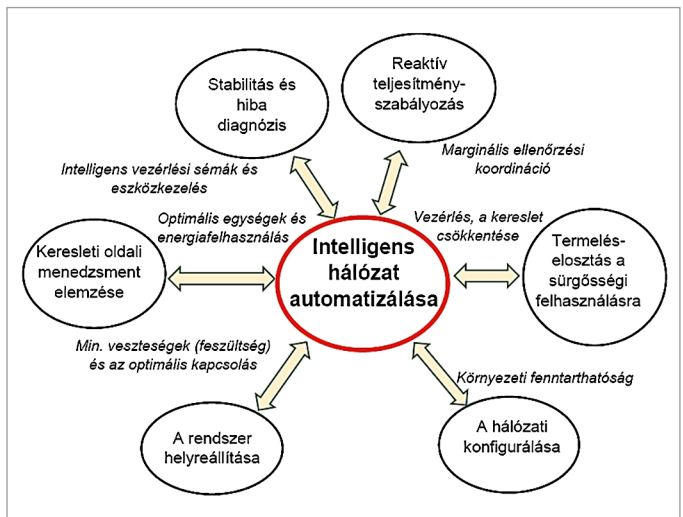
- 1. Intelligens villamosenergia-hálózatok**
A rugalmas áramigények összekapcsolása, mint például a hőszivattyúk és az elektromos járművek, valamint a szakaszosan megújuló, pl. szél- és napenergia.
- 2. Intelligens hőhálózatok (távűtés és -hűtés)**
A villamosenergia- és a fűtési ágazat csatlakoztatása. Lehetővé válik a hőtárolás a hulladék energiák újrahajósítása (az energiarendszer hőveszteségének csökkentése).

3. Intelligens gázhálózatok (az áram, a fűtés és a szállítás összekapcsolása)

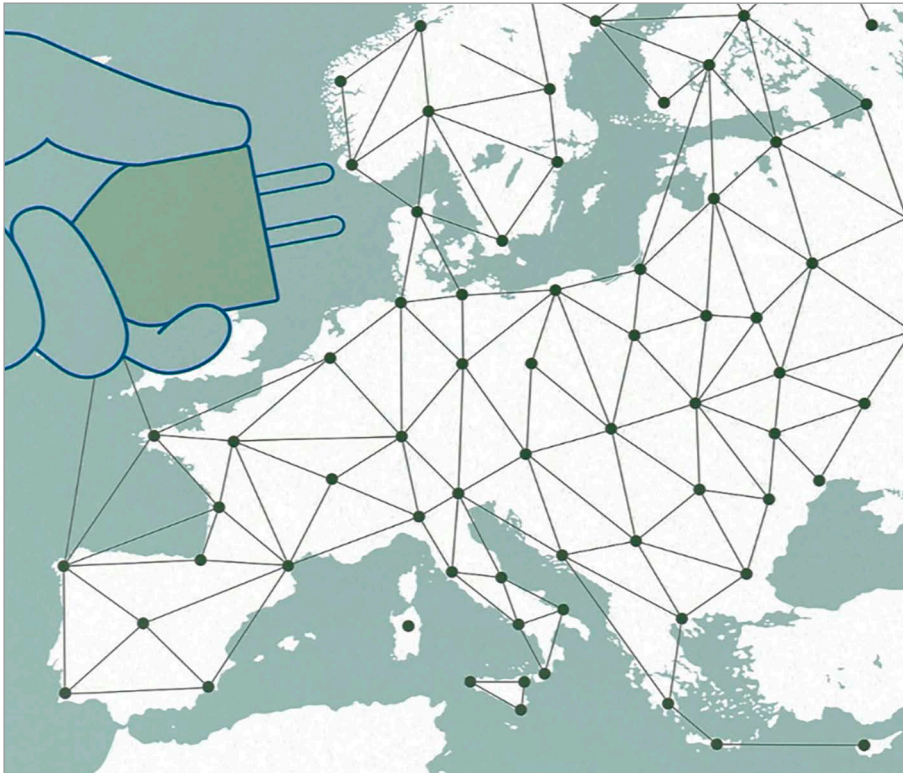
A gáztárolók felhasználása további rugalmasságot eredményez. A gáz folyékony üzemanyag alakítható, és ezzel tárolóként is használható stb..

Végül is az intelligens energiarendszert általában olyan megközelítésben definiálhatjuk, mint az intelligens villamosenergia-, hő- és gázhálózatok összehangolása a szinergiák érdekében. Szükséges, hogy az egyes szektoroknál, illetve a teljes energiarendszerben a tárolási technológiák optimalizálva legyenek. Ilyen lehetőségek:

- Az ipari és villamosenergia-termelésből származó felesleges hő felhasználható az épületek fűtésére (pl. távfűtéssel).
- A fűtési célú villamos energia lehetővé teszi a hő felhasználását a villamos energia tárolása helyett, ami olcsóbb és hatékonyabb is. Sőt, ezen felül rugalmasabb CHP-termelést (Combined Heat and Power – Kombinált /kapcsolt/ hő- és villamosenergia-termelés) tesz lehetővé.



1) QoS: a szolgáltatás minősége, amely minden olyan folyamatra vonatkozik, amely az adatforgalmat kezeli a hálózati zavarok csökkentése érdekében.



6. ábra Szimplifikált ábra pl. az európai globálisan összekötött villamos energiarendszerről (TSO² és DSO³ együttműködés) (a csomópontokon, a nemzetközi hálózatokon többirányú betáplálás vagy egyidejű vételezés)

- A fűtésre szolgáló hőszivattyúk távhűtésre is használhatók, fordítottan hűtési hálózatok is lehetnek.
- A fűtésre szánt villamos energia a hálózati kiegyenlítést segíti, de szerepe van az energiapiac szabályozásában is.
- A biomassza gázzá és folyékony üzemanyag-gá történő átalakításához hő szükséges, ami CHP üzemekben mint hulladékhő rendelkezésre áll.
- Villamos energiával történő hidrogénezés lehetővé teszi a villamosenergia-tárolás helyett a gáztárolást, amely olcsóbb és hatékonyabb is.
- Az ipar és a CHP hulladékhője lehetővé teszi a hatékonyabb, alacsony hőmérsékletű távfűtés használatát.
- A járművekbe töltött villamos energia üzemanyagot helyettesít, de segíti a villamosenergia-rendszer kiegyensúlyozását is.

Intelligens energia Európában és országot kutatások

Az alapvető koncepciót európai szinten az IDA „Energy Vision 2050 – Intelligens energetikai rendszer” című jelentése fogalmazza meg. Ezek hosszú távú célok, amelyeket pl. több egymást követő dán kormány is támogat azért, hogy 2050-re Dániában 100%-os megújulóenergia-ellátás legyen. A 100%-osan megújuló energiával való ellátás kifejezetten technikai jellegű, de nem olcsó gazdasági le-

hetőség. Viszont az ilyen integrált intelligens energiarendszer robusztusabb, stabilabb és több munkahely létrehozását eredményezi, mint a hagyományos fosszilis üzemanyag-alapú energiarendszer, és kevesebb egészségügyi problémát okoz a káros kibocsátások elmaradása alapján. Az energiátárolási kapacitások egyesítése mérsékeli a villamosenergia-tárolás igényét. Ezért pl. az EnergyPLAN modell egész éves tárolási energiámérleget elszámol óránkénti bontásban. Többek szerint ez az esettanulmány az intelligens energiarendszerek alapelveit jelöli meg (EU szinten is) [11].

Példa egy rendszerre

A 7. ábra egy napenergia-ellátással rendelkező okos mérővel felszerelt háztartást szemléltet, amelyhez átmeneti akkumulátoros tároló is tartozik.

Az intelligens vezérlőrendszer a napelemmel termelt villamos energiát szükség szerint azonnal felhasználja a háztartás saját céljaira (8. ábra). Ha többlet PV-termelés van, akkor az akkumulátort is tölti mindaddig, amíg az el nem éri a teljes kapacitását. Ezt követően már a felesleget átadja a villamos hálózatnak.

Ha az energia nem elégséges mértékben áll rendelkezésre, akkor a saját energiaigényt elsősorban az akkumulátorból biztosítja, ha az kimerül, akkor a villamos hálózatból vételez.

A rendszer annyiban intelligens, hogy a hálózatból akkor is vételez az akkumulátor ala-

acsony töltöttsége esetén annak töltésére, ha a villamos hálózaton olcsóbb az energia, esetleg (megfelelő időszakban) az olcsóbb vezérelt hálózatot használja.

Többlettermelésnél az eladást arra az időpontra időzíti, amikor a villamos hálózaton csúcsidőszak van és kedvezőbb ára van az eladható energiának (az akkumulátorból vagy a PV-ről).

A rendszerben elsőbbsége az akkumulátor töltöttségének van, de a rendszer figyeli az időjárási előrejelzéseket és a kereskedelmet, s az eladást és a vételt ehhez is igazítja.

A rendszer nagy előnye az akkumulátoros tárolás, amely lehetővé teszi, hogy a háztartás energiafelhasználása nullaszaldós legyen.

A 8. ábra az év egyes hónapjaiban az energiafajták megoszlását szemlélteti, havonta feltüntetve az összes felhasznált energiát és a rendelkezésre álló energiát is. Az is látható, hogy egyes hónapokban mekkora energiamentységet fordított az akkumulátor töltésére és mennyit táplált a villamos hálózatba, illetve onnét mennyit vételezett, de leolvasható a háztartás által felhasznált energia mennyisége is.

A következő összefüggések bemutatják a saját felhasználás arányát és a saját fedezet arányát is. Nyári időszakban igen jelentős mértékű a betáplálás a villamos hálózatba, a téli időszakban viszont, amikor a PV energiatermelése alacsony, a hálózatból vételez több villamos energiát. A saját felhasználás a fűtéshez és a hűtéshez szükséges energiát is tartalmazza. A beépített hőszivattyú révén talajszondás fűtési és hűtési megoldást alkalmaz (téli a fűtést, nyáron átkapcsolással a hűtést is elvégzi). **SF** = saját felhasználás aránya az összes rendelkezésre álló energiából:

$$SF = \frac{\int_{t_1}^{t_2} P_{PV,SF}(t) dt + \int_{t_1}^{t_2} P_{akku,töltés}(t) dt}{\int_{t_1}^{t_2} P_{PV}(t) dt}$$

SD = A saját fedezeti arány az a rész, amelyet a napelem (PV) termeléséből fel tudtak használni a saját igényre:

$$SD = \frac{\int_{t_1}^{t_2} P_{PV,SF}(t) dt + \int_{t_1}^{t_2} P_{akku,kisütés}(t) dt}{\int_{t_1}^{t_2} P_{terhelés}(t) dt}$$

Ahol:

SF = saját felhasználási arány;

SD = saját fedezeti arány;

$P_{PV}(t)$ = a napelem (PV) teljesítménye;

$P_{PV,SF}(t)$ = a $P_{PV}(t)$ aránya a saját felhasználásban;

$P_{terhelés}(t)$ = a felhasználási teljesítmény (PV, Akku);

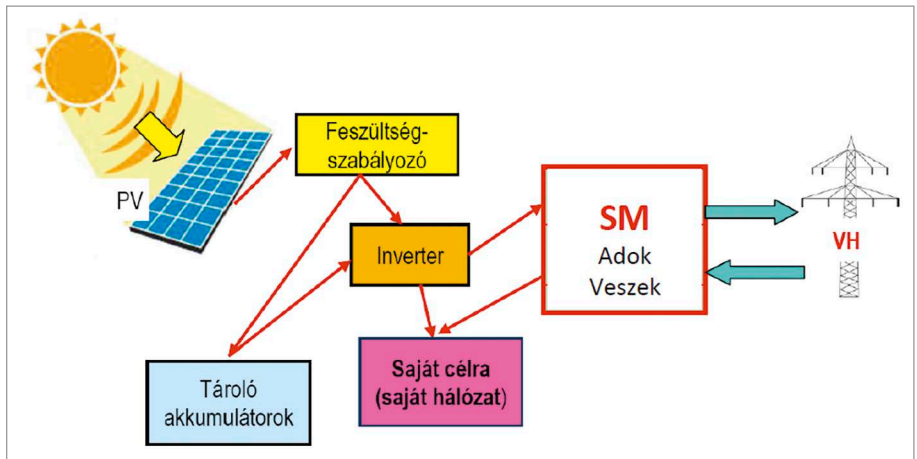
$P_{akku,töltés}(t)$ = az akkumulátor töltésére használt teljesítmény (PV, hálózat);

$P_{akku,kisütés}(t)$ = az akkumulátor kisütésekor kapott teljesítmény.

2) Transmission System Operators (Átvitelrendszer-üzemeltetők)
3) Distribution System Operator (Elosztórendszer-üzemeltető)

Összefoglalás

Az intelligens energetikai rendszerre alapozva (az Intelligens Európa végső forgatókönyve szerint is) ugyan hosszabb (30-35 év) távon, de megszűnik a fosszilis üzemanyag-felhasználás és elhanyagolható mértékű lesz a széndioxid-kibocsátás (<1%). A legfontosabb energetikai technológiák: a szélenergia és a napenergia hasznosítása, az elektromos járművek alkalmazása, a rekuperációs hőmegtakarítás, a háztartási hőszivattyúk, a távfűtés, a nagyméretű hőtárolók, a biomassa elgázosítása, a szénmegkötés és a megújuló energiákkal működtetett elektrolizáló (H₂-gazdaság) stb.. Ezek optimalizálásához az **intelligens energia-rendszerek** megfelelő adaptációja szükséges, mégpedig együttesen az ágazatok közötti tárolási és infrastrukturális rendszerek létesítésével.



7. ábra Akkumulátoros tárolóval kombinált PV-rendszer (villamos hálózathoz csatlótan)

Felhasznált irodalom

[1] Lund H, Andersen AN, Østergaard PA, Mathiesen BV, Connolly D. From electricity smart grids to smart energy systems - a market operation based approach and understanding. Energy 2012;42:96e102. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2012.04.003>.
 [2] Bohlig B. ZigBee meets ip. Sensors (Peterborough, NH). 2009. p. 26.
 [3] Zakeri B, Rinne S, Syri S. Wind integration into energy systems with a high share of nuclear power-what are the compromises? Energies 2015;8. <http://dx.doi.org/10.3390/en8042493>.
 [4] El-khattam W, Hegazy YG, Salama MM. An integrated distributed generation optimization model for distribution system planning. Power Syst IEEE Trans 2005;(20):1158e65. <http://dx.doi.org/10.1109/TPWRS.2005.846114>.
 [5] Orecchini F, Santiangeli A. Beyond smart grids e the need of intelligent energy networks

for a higher global efficiency through energy vectors integration. Int J Hydrogen Energy 2011;36:8126e33. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2011.01.160>.
 [6] Hu M, Weir JD, Wu T. Decentralized operation strategies for an integrated building energy system using a memetic algorithm. Eur J Oper Res 2012;217: 185e97. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2011.09.008>.
 [7] Persson U, Møller B, Werner S. Heat Roadmap Europe: identifying strategic heat synergy regions. Energy Policy 2014;74:663e81. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2014.07.015>.
 [8] Lund H, Möller B, Mathiesen BV, Dyrrelund A. The role of district heating in future renewable energy systems. Energy 2010;35:1381e90. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2009.11.023>.
 [9] Lund H. Renewable energy systems - a smart energy systems approach to the choice and modeling of 100% renewable solutions. second ed. Academic Press; 2014.

[10] Connolly D, Lund H, Mathiesen BV, Østergaard PA, Möller B, Nielsen S, et al. Smart energy systems: holistic and integrated energy systems for the era of 100% renewable energy. Aalborg: Aalborg University; 2013.
 [11] A 2050-ig szóló energiaügyi ütemtervről, https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-7-2013-0035_HU.html
 [12] TSO-DSO interaction: An Overview of current interaction between transmission and distribution system operators and an assessment of their cooperation in Smart Grids, Letöltés: https://www.iea-iscan.org/wp-content/uploads/2014/02/ISGAN_DiscussionPaper_TSODSOInteractionOverview_2014.pdf
 [13] Helena G, Enrique I. R., Puente D. Six. : 2018 Coordination between transmission and distribution system operators in the electricity sector, A conceptual framework Utilities Policy, Volume 50, February, Pages 40-48

8. ábra Okos mérővel (SM) felszerelt (közepes méretű) háztartás éves energia felhasználása, akkumulátoros tárolás esetén

P = összes felhasznált energia; **PV** = összes rendelkezésre álló energia; **SF** = a saját felhasználási arány; **Kisütés** az akkumulátorból; **Töltés** az akkumulátorba; **Betáplálás** a hálózatba; **Hálózatból** felvett energia (vásárolt)

