



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Villamos Energetika Tanszék

Halász Ágnes

Irodai ICT eszközök energiateljesítményfelhasználása Nanogridben

Tudományos Diákköri Konferencia

KONZULENS

Dr. Iváncsy Tamás

BUDAPEST, 2016

Absztrakt

Napjainkban egyre fontosabb, hogy minél energiahatékonyabban, olcsóbban, környezetbarát módon fedezzük mindennapi energiaszükségleteinket. Az évek, évtizedek során számos próbálkozás történt arra vonatkozóan, hogy kialakítsanak egy olyan villamosenergia rendszert, amelyben a fent felsoroltak mindegyike, vagy minél több teljesül.

TDK dolgozatom keretében először azt kutattam, hogyan fejlődött, modernizálódott az utóbbi évtizedekben az elektromos hálózat, és milyen innovatív elképzelések alakultak ki mára a jövő hálózatára vonatkozóan. A rövid történeti bevezető után az „okoshálózat”, a Smart Grid főbb jellemzőit, tulajdonságait ismertetem. Szakirodalmi kutatásom során az „okos” hálózat struktúrájában a Microgriden, a Smart Grid városmértű hálózatán keresztül jutottam el a legkisebb egységhez, a Nanogridhez, mely dolgozatom fókusza. A Nanogridek legfőbb jellemzőinek bemutatását követően egy iroda fogyasztási adatait, illetve az Odooproject alapjául szolgáló Odoo-ház napelemei által termelt energia adatokat elemzem, majd összevetem és kiértékelem az eredményeket.

Tartalomjegyzék

Absztrakt.....	i
Tartalomjegyzék	ii
1 Az elektromos hálózat jövője	1
2 Mi is az a Smart Grid?.....	3
3 Microgridek jellemzői	6
4 Nanogridek	8
4.1 A Nanogrid általános jellemzése	8
4.2 Nanogrid a gyakorlatban	11
4.2.1 Az AC Nanogrid	12
4.2.2 A DC-Nanogrid	14
5 Egy iroda átlagos fogyasztásának elemzése – példa Nanogrid hálózatra	16
5.1 Az iroda fogyasztási adatainak értékelése	16
6 Összegzés.....	24
7 Irodalomjegyzék	25
8 Ábrajegyzék	27

1 Az elektromos hálózat jövője

Az elektromos hálózatban egy új hálózati minta bontakozik ki: a Smart Grid, amely 20. század egyik hálózati fejlesztése. A hagyományos elektromos hálózatot évszázadokon keresztül általánosságban energiaátvitelre használták a fogyasztók. Ezzel ellentétben a Smart Grid kétutas elektromos- és információáramlást használ az automatikus és elosztott energiát szállító hálózat létrehozására. A legújabb tanulmány a Smart Grid-ről főként három rendszerre fókuszál az okos hálózatban: az infrastruktúraszisztemre, a menedzsment rendszerre és a védelmi rendszerre.

Az infrastruktúraszisztem a Smart Grid energia-, információ és kommunikációs infrastruktúráját alapul véve, a

- 1) fejlődő elektromos energia előállítás, szállítást és fogyasztást;
- 2) az innovatív információmérést, megfigyelést és menedzselést; illetve
- 3) fejlődő kommunikációs technológiákat támogatja.

A konvencionális energia hálózat és a Smart Grid közötti átmenettel, a fizikai infrastruktúra egy digitálissal lesz helyettesíthető. Az igények és technológiai változások miatt, a jelen energia iparának az egyik legnagyobb kihívásával kell szembesülnie. A Smart Grid lehetőséget nyújt az ipar számára magasabb szinten megfigyelni és irányítani a rendszert, valamint lehetővé teszi a fogyasztók számára, hogy az energiához olcsóbban, zöldebben, kevésbé környezetszennyezően, de megbízhatóbban és magasabb minőségi színvonalon jussanak hozzá. A régi hálózat nem tette lehetővé valós idejű (realtime) információ közvetítését a hálózatról. A Smart Grid egyik legfőbb célja és újdonsága, a valós idejű információ küldése és fogadása a hálózat különböző pontjaiból a lehető leghatékonyabb és leggördülékenyebb döntéshozatal céljából. A Smart Grid megvalósításával lehetővé válik a hálózat logisztikájának menedzselése és megfigyelhetővé válik az eredmény, a folyamat kezdetétől egy nagy részletességű időskálán.

A menedzsment rendszer a Smart Grid egyik alrendszere, amely fejlett szervezést és irányítást biztosít. A legtöbb mára megvalósult fejlesztés arra irányul, hogy az energiafelhasználást hatékonyabbá tegye, emelje a keresletet, csökkentse a költségeket és a károsanyag kibocsátást. Mindezt, az infrastruktúra optimalizálására, az eszközök folyamatos fejlesztésére, ezek „tanítására” alapozva. Egy fejlett infrastruktúra keretein belül ugyanis egyre több és több menedzsment szolgáltatás és alkalmazás valósul meg, ezzel forradalmasítva a fogyasztók mindennapjait.

Végül pedig a védelmi rendszer a Smart Grid olyan alrendszere, amely fejlett hálózati analízist, hibavédelmet és a privát adatok védelmét is biztosítja. Meg kell jegyeznünk, hogy a Smart Grid-ben használt fejlett infrastruktúra egyrészt lehetővé teszi, hogy találjuk több olyan megoldást, amely kivédi az esetleges támadásokat és kezelési hibákat, másrészt viszont feltárja a gyengeségeinket. A National

Institute of Standards and Technology például rávilágított arra a tényre, hogy a Smart Grid legfőbb előnye az adatok széleskörű lekérése, továbbítása a fogyasztó felé, mindamellett az okosmérők és más elektromos eszközök segítségével megvalósított okos hálózat egyik Achilles pontja is az adatátvitel, az adatvédelem szempontjából. A jogos aggodalmat az okozza, hogy ezen információkat a mérőberendezések tárolják, így könnyebben hozzáférhetők és nyilvánosságra hozhatók olyan fontos személyes adatok, mint a fogyasztási szokások, aktivitás és egyéb fogyasztóra jellemző információk [1].

2 Mi is az a Smart Grid?

A jövő energiarendszeréről alkotott képünknek manapság nélkülözhetetlen részét képezi a Smart Grid, az okos hálózat. Ennek magyarázata, hogy a liberalizált energiapiac csak akkor tud megbízhatóan energiát szolgáltatni, ha a hálózatokat „okossá” tesszük. De mi tesz egy hálózatot „okossá”? [2] Röviden, a digitális technológia, amely kétutas kommunikációt tesz lehetővé a szolgáltató és a fogyasztó között, továbbá a távvezeték mentén való érzékelés. A Smart Grid, akárcsak az Internet, tartalmaz számítógépeket, automatikákat, vezérlést, illetve új technológiákat és berendezéseket, melyek együttesen egy rendszert képeznek [3]. Pontosabb definíciót a témában nemigen találunk, a különböző források, szakmai cikkek alapján csak körülírni tudjuk. Noha a Smart Grid nem egy pontosan meghatározott koncepció, technológia, éppen ez teszi szükségessé, hogy az okos hálózat fogalmát több szempontból is megközelítsük.

Fogyasztói szemszögből:

- a Smart Grid olyan mérőberendezésekkel kell rendelkezzen, melyek automatikusan, távkiolvasással követhetők, azaz nem kell szakembereknek kiszállni a helyszínre a fogyasztás megállapításához, ezenkívül a fogyasztási számlázást is gyorsá és pontossá teheti. Ezt ma már széles körben, sok energiaszolgáltató alkalmazza a gyakorlatban.
- napi lebontású és használati idő alapján mérő berendezések segítségével igénytől függően megválaszthatjuk, hogy napra lebontva, vagy az adott pillanatban szeretnénk leolvasni a villamos energia árát
- a mérőberendezések kommunikálni tudnak a fogyasztókkal: a kijelzőn keresztül mutatják a villamosenergia fogyasztás aktuális értékét, bepillantást engedve a fogyasztási adatok jelenlegi állásába
- a fogyasztó terhelésének szabályozása során a különböző mérőberendezések egyes áramköröket automatikusan kapcsolnak be és ki.

Szolgáltatói szemszögből:

- Az elosztói rendszer automatizálásának egyik feltétele, hogy az elosztói hálózat vezérlése egy irányító központból történjen, mellyel elkerülhető a szakemberek kivezénylése egy esetleges kapcsolási igény esetén. Ez már a nagyteljesítményű berendezések ki- és bekapcsolásánál világszerte megvalósításra került.
- Egy másik fontos lépés a hálózat fa elrendezését hálószerű topológiára változtatni. Ez abból a szempontból előnyös, hogy több pontból kapunk táplálást. Ilyenkor amellet, hogy az

üzembiztonság nő, a hálózati veszteség is csökken. Mindemellett érzékelőket és távirányítású kapcsolókat hozzáadva a hálózathoz, nem várt események bekövetkezésénél lekapcsolhatók a meghibásodott betáplálások, ezzel csökkentve a fogyasztói oldalon a kimaradás okozta zavarokat. Ha történik egy váratlan (pl. meteorológiai) esemény és az elsődleges fogyasztókra folyamatosan szükség van, akkor az elosztói hálózatról a másodlagos, nagyteljesítményű fogyasztók automatikusan leválasztásra kerülnek.

- Szelektív leválasztás esetén a fogyasztókat külön lekapcsolva elkerülhető a teljes kiesés (black out), sőt az okos hálózat egyes terheléseket akár egy-egy fogyasztói épületen belül is képes lehet ki- és bekapcsolni.

Átviteli hálózat szemszögéből:

- Az energiarendszer beavatkozásának hatékonysága és stabilitása fejleszthető az egyes fázisok mérésének beiktatásával az átviteli hálózat különböző kulcsfontosságú helyein, illetve kombinálható fejlett kommunikációs és vezérlő rendszerekkel.
- FACTS, azaz Flexible AC Transmission Control Devices olyan fejlett rendszerek, melyek képesek megváltoztatni az energia áramlását a távvezetéseken.
- Önálló, elosztott vezérlés esetén a kísérleti modellek bizonyítják, hogy az automatikus vezérlő rendszerek, amelyek képesek egymással együttműködni, hatékonyabban hajtják végre a feladatukat, mint a központosított, ember által irányított rendszerek [2].



1. ábra Egy Smart hálózat lehetséges felépítése [18]

Az első hivatalos definíciót azonban az Energy Independence and Security Act of 2007 kongresszusi törvényben fogalmazták meg. Ennek XIII. cikkelye többek közt tartalmazza a Smart Grid tíz jellemzőjét, amely egyfajta definíciónak is tekinthető:

- (1) A digitális információcsere és vezérlési technológia egyre növekvő használata az elektromos hálózat megbízhatóságát, biztonságát és hatékonyságát javítja.
- (2) A hálózati műveletek és erőforrások dinamikus optimalizálása, teljes kibervédelem mellett.
- (3) A megtermelt javak fejlesztése és egységbe rendezése, beleértve a megújuló energiából származó erőforrásokat is.
- (4) A keresletoldali és energiahatékonysági források fejlesztése és egyesítése.
- (5) „Smart technológiák” (valós idejű, önvezérlő, interaktív technológiák, melyek optimalizálják a különböző készülékek és fogyasztói eszközök fizikai beavatkozását) alkalmazása mérés, kommunikáció és az elosztás automatizálása céljából.
- (6) A fogyasztói és „okos” készülékek egyesítése.
- (7) Fejlett villamos energiatárolók és „peak-shaving” technológiák¹ alkalmazása, beleértve a plug-in elektromos és hibrid járműveket, valamint a hőtárolókat.
- (8) Fogyasztók időszakos információkkal és vezérlési lehetőségekkel való ellátása.
- (9) A hálózathoz csatlakozó készülékek és eszközök kommunikációs és együttműködési alapelveinek kidolgozása.
- (10) Felesleges akadályok azonosítása és csökkentése a Smart Grid technológiák, alkalmazások és szolgáltatások megvalósítása érdekében.

A definíció egyes pontjait 1. ábra jól szemlélteti. Látható, hogy a legtöbb definíció általános része a digitális adatfeldolgozás és kommunikáció a hálózattal, illetve adatok gyűjtése és információ menedzsment készítése a Smart Gridhez [4] [5].

¹Vehicle-to-Grid járművek esetén használt energiatárolási módszer, amely egy esetlegesen előforduló magas energiaigény esetén visszatölt a hálózatra

3 Microgridek jellemzői

A microgrid a villamos energiaforrások és terhelések egy behatárolt csoportja (2. ábra), amely alapvetően a hagyományos, centralizált hálózathoz csatlakozva és vele szinkronban működik, de ha a fizikai vagy gazdasági körülmények úgy diktálják, le is tud csatlakozni és önállóan funkcionálni. A microgridek sok szempontból kisebb változatai a tradicionális elektromos hálózatnak. Mint a jelenlegi villamos hálózatok, a microgridek is tartalmaznak villamosenergia termelőket, elosztókat és vezérlőket, úgymint feszültségszabályozók és kapcsolókészülékek [6] [7] [8].

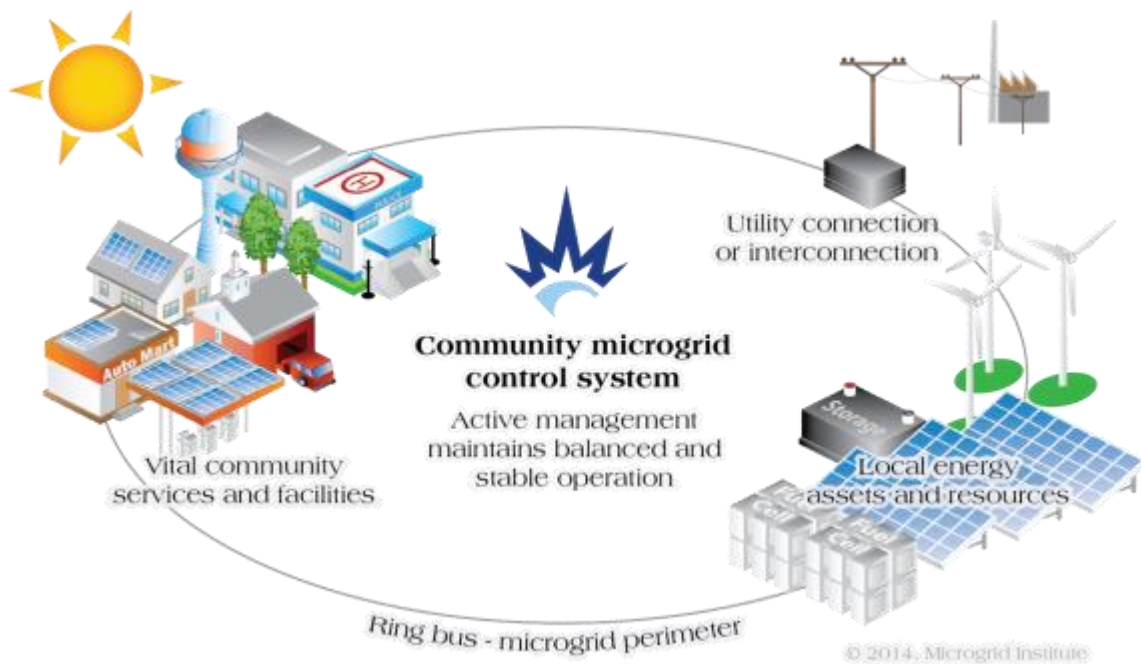
A microgrid egy hivatalos definícióját a Conseil International des Grands Réseaux Électriques (CIGRÉ) tanácsa adta, miszerint:

A microgridek olyan villamos elosztó rendszerek, amelyek fogyasztókat és elosztott energiaforrásokat (mint pl. az elosztott generátorok, tárolásra képes készülékek vagy vezérelhető fogyasztók, terhelések) tartalmaznak, melyek kontrollált, koordinált módon képesek működni a főhálózathoz csatlakozva vagy akár szigetüzemben [9].

Meg kell jegyezni azonban, hogy nincs megadva az energiatermelés módja, – így többféle DER² technológiát is alkalmazhatnak –, azaz valójában sok microgrid az energiaforrások kombinációját foglalja magába, és néha ezek meglehetősen komplexek is lehetnek. Mindemellett arra sem térnek ki a definícióban, hogy milyen határok között lehet egy microgrid mérete.

A microgrid működése különböző előnyöket kínál a fogyasztóknak: energiahatékonyság, az általános energiafogyasztás minimalizálása, a környezeti hatások csökkentése, az energiaszolgáltatás megbízhatóságának fejlesztése, a hálózati veszteségek redukálása, hálózati torlódások enyhítése, feszültségkorlátozás, ellátásbiztonság és egy költséghatékonyabb elektromos infrastruktúra kialakítása. Egy microgrid hálózatban az energia termelők és fogyasztók általában kisméretűen vannak összekapcsolva, illetve egyen- és váltakozó feszültségen (vagy mindkettőn) képesek üzemelni. A megújuló energia- és tároló rendszerek jelenlegi fejlesztése, valamint az újonnan felmerülő fogyasztói igények szerint további kutatásokra van szükség az AC és DC microgridek összehasonlítására a hatékonyságuk és teljesítményük szempontjából [10] [11].

²Distributed Energy Resource (DER): Általánosan bármely formája a decentralizált termelésnek, tárolásnak vagy kereslet menedzselésének.



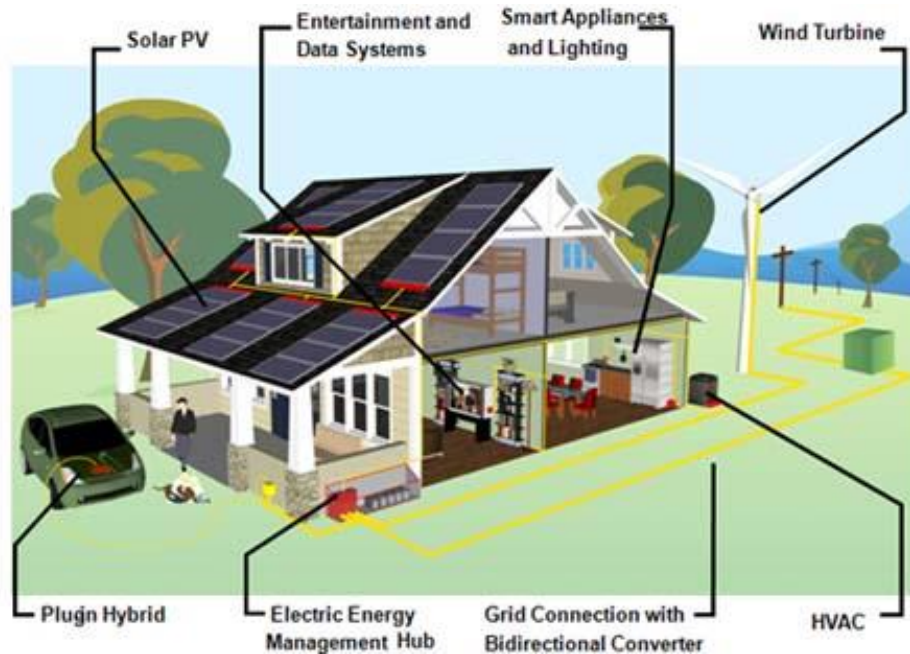
2. ábra Egy microgrid hálózat [12]

A legtöbb microgrid további 5 kategóriára bontható:

- Az Off-grid microgridek szigetüzemű, távkapcsolású és egyéb microgrid rendszereket takarnak, melyek nincsenek a helyi hálózathoz csatlakoztatva.
- Campus microgridek teljes mértékben a helyi hálózathoz csatlakoznak, de bizonyos szinten izoláltan is képesek üzemelni a szolgáltató esetleges kiesése esetén.
- Községi (community) microgridek a szolgáltatói hálózatba integráltak. Az ilyen microgridek szolgálják ki az összetett fogyasztói és szolgáltatói rendszereket egy közösségen belül, általánosan gondoskodnak a rugalmas energiaszolgáltatásról.
- District Energy microgridek elektromos áramot, valamint termikus energiát szolgáltatnak a különböző berendezések energia ellátására és fűtésére (vagy hűtésére).
- Nanogrid-ek, olyan kisebb, diszkrét hálózati egységek, melyek képesek függetlenül is üzemelni. Nanogrid-ként értelmezhetünk egy külön épületet vagy egy egyedülálló energia egységet [12].

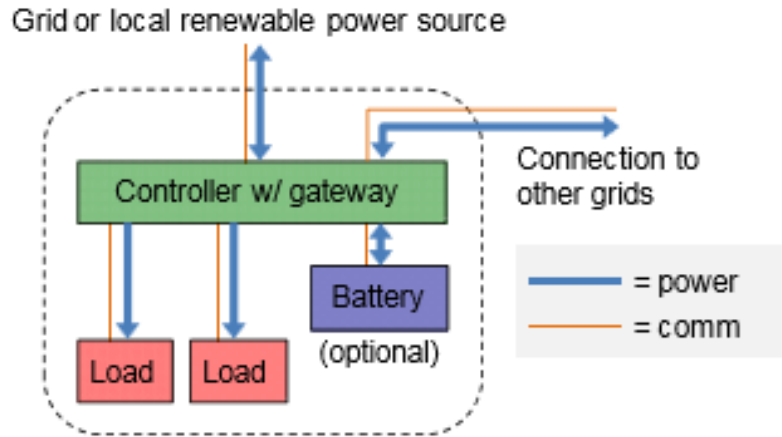
4 Nanogridek

4.1 A Nanogrid általános jellemzése



3. ábra Példa egy nanogrid hálózatra [19]

A nanogrid (3. ábra) egy feszültség, ár, megbízhatóság, minőség és adminisztráció szempontjából egyedülálló egység, melynek alkotórészei — ahogy a 4. ábra is illusztrálja — a vezérlő (controller vagy gateway), a terhelés, fogyasztó (load), az energiatároló (storage) és a vezetékezés. A villamosenergia tároló opcionális lehet, de stabilitást ad a hálózatnak. Az olyan források, mint például a helyi termelők nem képezik részét a nanogrid-nek, de gyakran előfordul, hogy egy forrás csak egyetlen nanogrid-hez kapcsolódik. Más egységekkel való kapcsolat tartás a gateway-en keresztül történik. A kommunikáció a fogyasztókkal vagy a teljesítményt szállító kábelezésen át a vezetékeken keresztül történik, vagy a kötegelésen kívül (out-of-band) egy másik kábelezésen, vagy vezeték nélküli megoldással. A nanogrid csak villamosenergia elosztást valósít meg, a kapcsolódó terhelések más funkcionális igényét nem.



4. ábra Egy nanogrid vázlatja [13]

Nanogrid-ekben a feszültség, a minőség és/vagy a megbízhatóság több szintje is előfordulhat. Azon nanogrid-eket, melyek nem kommunikálnak a fogyasztókkal az energia elosztásáról, irányítatlannak „unmanaged”-nek, azokat, amelyek rendelkeznek kommunikációs eszközökkel, irányítottak „managed”-nek, végül azon nanogridek, amelyek tárolni képesek az aktuális villamos energia árát és képesek villamos áramot venni, illetve eladni, ármenedzseltnek, „pricemanaged”-nek nevezzük.

A nanogrid-en belüli terhelések bármilyen elektromos eszközök lehetnek. Először azt gondolnánk, hogy ezek a szokásos 1–100 W közötti energiaigényű tartományba esnek, de valójában nincs határ a teljesítmény szempontjából nézve. Az energiafogyasztás változhat az eszköz funkciójától és használati állapotától függően [13] [14].

Egy irányított nanogrid legfontosabb része, „magja” a vezérlő, a controller, amely képes

- szabályozni a fogyasztók energiaellátásának mértékét,
- más gridekkel kommunikálni a különböző vezetékvezetéseken keresztül,
- beállítani a helyi villamos áram árát és
- menedzselni a belső energiatárolót,

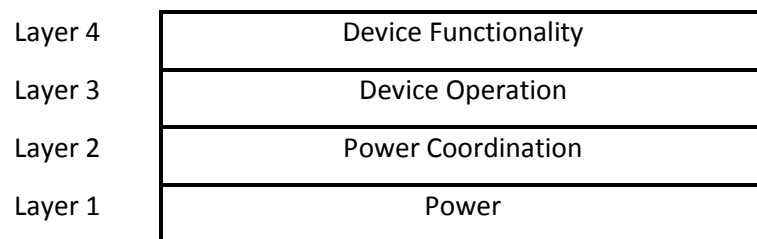
tehát lényegében a nanogrid központi egysége.

Amikor a terhelések energiát igényelnek a vezérlőtől, az vagy teljes mértékben, vagy részlegesen engedélyezi, vagy pedig megtagadja a szolgáltatást, sőt meg is vonhatja az áramellátást. A vezérlő a működéséhez a korábban bevált működési mintákat veszi alapul és ezeket alkalmazza az eseteleges döntési helyzetekben. Menedzsment szempontjából beágyazott preferenciái vannak például arra, hogy különböző körülmények mellett mennyi tárolókapacitást használjon ki a lehető legkisebb elfogadható működés mellett, ami még lehetséges. Ezen preferenciákat úgynevezett „szabályoknak” nevezzük, melyek figyelembe veszik egyrészt az áram aktuális árát, másrészt hogy egy akkumulátortelep mikor töltődik, vagy mikor táplálja vissza a tárolt energiát. Az aktuális energiaár, amit a controller szabályai figyelembe vesznek, a nanogrid működésének kulcsa, ez alapján változtatja a

fogyasztást, hogy össze egyeztesse azt a jelenlegi villamosenergia-ellátással. A szabályok ezen kívül a nanogrid hatékonyságát is befolyásolják, például a „jó” szabályok fenntartják az akkumulátor energiaszintjét olyan későbbi periódusokra, mikor a külső energiaszolgáltatás már nem elegendő, a „rossz” szabályok viszont a telep kevésbé optimális kihasználásakor a fogyasztók fedezetlen energiaszükségletét eredményezhetik energiahiány esetén. A fentiek alapján a jövőt a „jó” szabályok alapos kidolgozása jelenti. [13]

Amikor tároló berendezés is jelen van a nanogridben, a vezérlőegység engedélyezi vagy megvonja az energiatárolást és menedzseli működését, tehát az energiatárolónak nincs döntéshozó jogosultsága, nem lehet független a nanogrid-től és átviteli szempontból nem kapcsolódhat más egységhez.

Egy nanogrid kapcsolata lehet egyirányú vagy kétirányú, és ez minden esetben kommunikációra és energiacserére is alkalmas. A kihívást az jelenti, hogy a feszültségek és teljesítménynek ideális halmazát meghatározzuk: DC feszültségek már ma is használatosak, így az 5V, 12V, 24V, 48V és a 380V, valamint a hagyományos AC feszültségek is megfelelőek a nanogrid-ben. A nanogrid kommunikációja rétegesen egymásra épülő protokollok alapján történik, mely érvényes kell legyen az összes nanogrid-re vonatkozóan (upper layer protocols). A jövő egyik kulcsfontosságú célkitűzése, hogy készítsük egy ilyen úgynevezett „upper layer protocol”-t, mellyel szabványos kapcsolatot lehet létrehozni a nanogrid-ek között. A működéshez szükséges kommunikációs eszközök ugyanolyan valószínűséggel működnek együtt más nanogrid-ek eszközeivel, mint egy olyanal, amelyik azonos nanogrid-ben van, így a funkcionális hálózatot és az elosztó hálózatot logikailag elkülönítjük. Az 5. ábra szemlélteti a nanogrid réteges modelljét. Az első réteg tartalmazza az energia elosztót, magában foglalva a vezetékeztést, a csatlakozókat, a feszültségszinteket, az áramot és más villamos jellemzőket. A második réteg a nanogrid kommunikációs rétegeinek legfontosabb eleme, amelyhez az elektromos áram ára, elérhetősége és más energiaelosztási információk kapcsolódnak. A harmadik szinten az eszköz összeveti a működési célokat az árinformációkkal és dönt a további működésről. A negyedik réteg a működés koordinálásáért felelős [13].

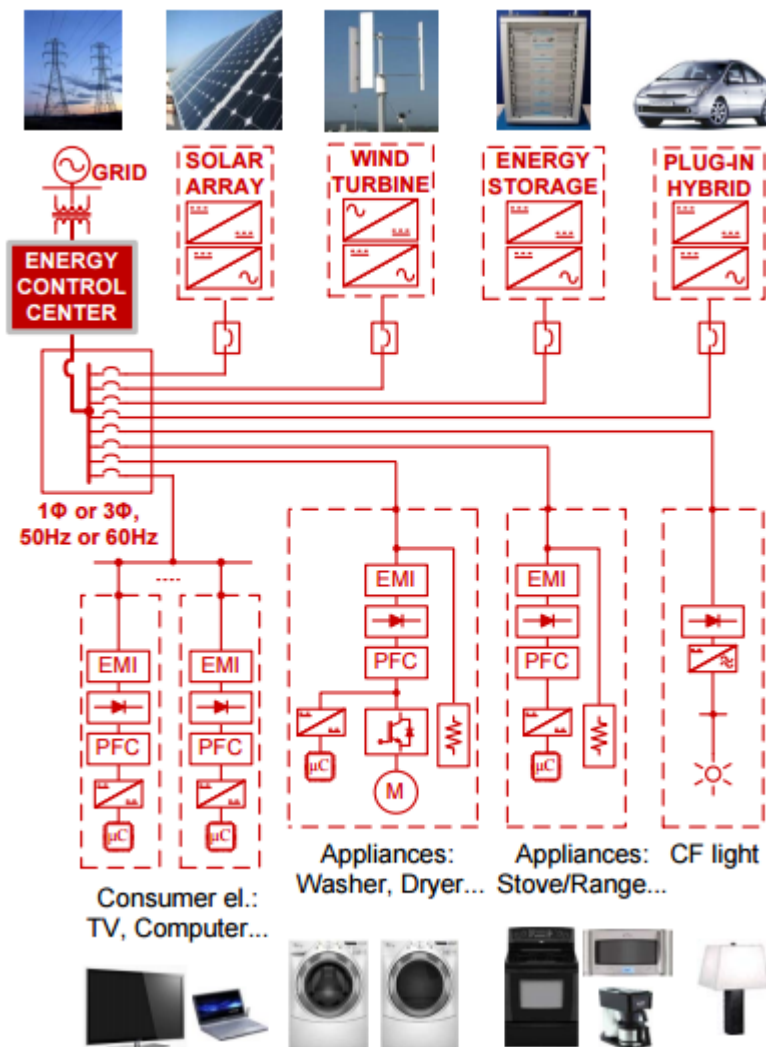


5. ábra A nanogrid réteg modellje [13]

4.2 Nanogrid a gyakorlatban

Extrém esetben a microgrid koncepció alkalmazható egy lakókönyezet elektromos rendszerére kis teljesítmény szinten (10–100 kW), ilyen esetben ez nanogridnek nevezhető (6. ábra). Az okosmérést, a kommunikációt és a távoli irányítást kombinálva egy ilyen nanogrid a jövő „smart” hálózatává teheti a lakóépületeket. A jelenkor otthonait már úgy tervezik, hogy energetikai szempontból önfenntartók legyenek, és a megújuló energiaforrások biztosítsák az energiaellátást. Ezen források főleg napelemeket (PV), szélgenerátorokat, mikro-turbinákat, üzemanyagcellákat és helyi energiatárolókat jelentenek. Plug-in hibrid elektromos autók (Plug-in Hybrid Electric Vehicles- PHEV) szintén szerepelnek a jövő otthonáról alkotott képünkben [15].

Az épületen belüli elosztás lehet egyenfeszültségű és váltakozó feszültségű. Ez alapján megkülönböztetünk AC és DC nanogrid-eket.



6. ábra Egy nanogrid jövőképe egy lakóházban [15]

4.2.1 Az AC Nanogrid

Egy lehetséges Smart Grid koncepció szerint, az Energia Irányító Központ (Energy Control Center- ECC) tartalmazza az okos mérőeszközt és a távolról működtethető megszakítókat. Az ECC képes kommunikálni a villamos energiarendszer irányítójával, hogy megszerezze az adatokat az energiakereskedelmi céljainak teljesítéséhez. Az adatok egy részét nem a hálózattól szerzi, hanem a házban lévő összes átalakítótól és okos készüléktől. A fő tulajdonságok, amelyek megkülönböztetik a tárgyalt elektromos rendszert a jelenkor konzervatív otthonától, az ECC, a megújuló energiatermelés, a PHEV és/vagy a helyi tároló egység, valamint a rendszer komponenseinek programozhatósága, és a kommunikáció. A napelem kimenetén egy általános közvetlen, kétszintű átalakító van, amely egy DC-DC átalakítóból és az adott hálózatnak megfelelő egy vagy háromfázisú inverter fokozatból áll.

A kisteljesítményű szélturbinák számára beiktatott átalakítók szintén kétlépcsős energia-átalakítók, melyek egy egyenirányítót és egy invertert tartalmaznak. Az energiatárolók és a PHEV-k az optimális telep kihasználáshoz tipikusan olyan DC-AC konvertereket igényelnek, amelyeken kétirányú energiaáramlás lehetséges.

A háztartások egyre több és több elektronikus átalakítót használnak, amelyek maguk optimalizálják a működésüket hatékonyság növelése érdekében. Egy modern mosógép például a változtatható fokozatokkal maximális forgatónyomatékokat képes biztosítani a kefe nélküli motornak, és így nagyobb hatékonyságra tesz szert a hagyományos aszinkronmotorhoz képest. Otthonunk legnagyobb ohmos fogyasztója, a tűzhely is helyettesíthető egy korszerű indukciós berendezéssel, amely már felharmonikusokat is termel. Kis energiafogyasztású elektronikus eszközök, mint a TV, számítógép, audió és egyéb hordozható berendezések, természetüknél fogva energiafigyelő funkcióval rendelkeznek. Érdemes megjegyezni, hogy gyakorlatilag minden elektromos fogyasztó kétszintű energia átalakítóval rendelkezik, amely egyenirányítót, elektromágneses interferencia szűrőt (EMI) és teljesítménytényező korrigáló áramkört (PFC) tartalmaz (6. ábra).

A leírt hálózat két fő üzemmódban képes működni: hálózatra csatlakozva és szigetüzemben. Az ECC-vel együtt a PHEV és/vagy a tárolóegység kétirányú energiaátalakítói, az épület hálózattól való elkülönítéséért felelősek. Így egy esetleges hiba, vagy nem várt működés esetén biztosítják otthonunk, irodánk szabványos frekvencia és feszültség követelményeit szigetüzemben, valamint ezek után szinkronizálják és beavatkozás nélkül újracsatlakoztatják a hálózathoz a nanogrid-et.

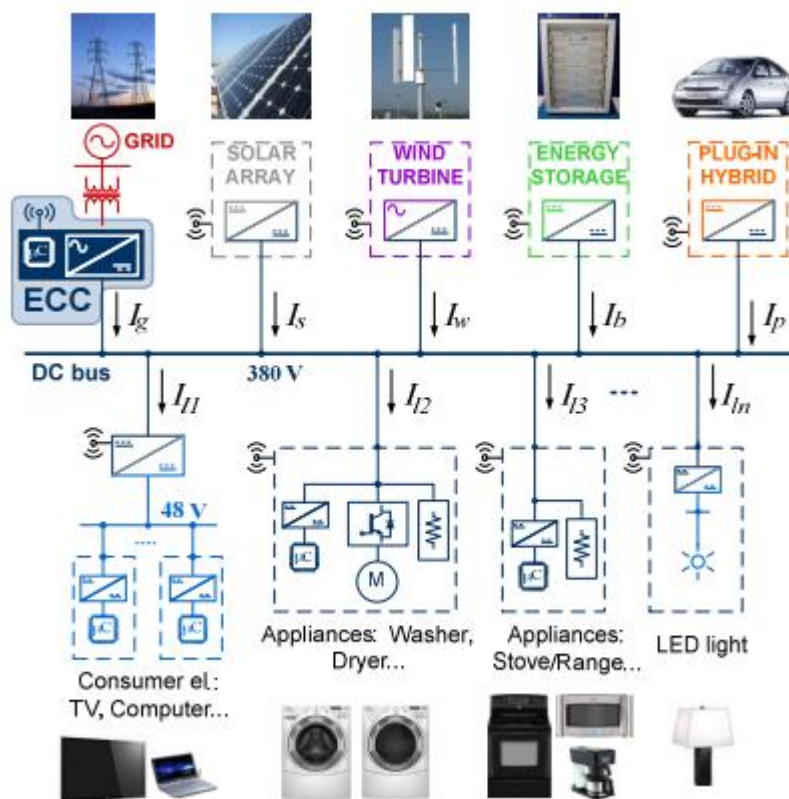
Amíg azonban a hálózathoz csak AC-vonalon tudunk csatlakozni, addig a leírt felépítés az elosztott energia előállítás és fogyasztás dinamikus problémáit még nem oldja meg. A Smart Grid koncepcióban nem megvalósítható az egyéni termelések és fogyasztások milliói egy működtető egység általi szabályozása. Azért nem realizálható, mert ezen források és terhelések közti helyi interakciók kezelhetetlenek, főleg ahol a helyi (szomszédságban lévő) termelők gondoskodnak a fogyasztás

szignifikáns mennyiségéről. Úgy tűnik, a jövő energia rendszerei, elosztó hálózatai még nem képesek kiszolgálni a fogyasztói és visszatermelői lakóközösségeket, ugyanis a helyi feszültség szintnek és frekvenciának meg kell felelnie a hálózati követelményeknek az energiamenedzsment érdekében.

Egy lehetséges megoldás lehetne erre a problémára, hogyha a kétirányú átalakítót az okos mérőeszközbe, az Energia Vezérlő Központba (ECC) helyeznénk el. Ebben az esetben a nanogrid egy egyedülálló elektromos fogyasztónak/termelőnek tekinthető a hálózat felől, amely a hálózattól dinamikusan független - azaz bármikor fel és lecsatlakozhat -, de az üzemirányító által bármikor leválasztható. Az ECC-nek megvan az az irányítástechnikai lehetősége, hogy beavatkozhat a helyi megújuló energiaforrások termelésébe, a fogyasztók lecsatlakoztatásába, a helyhez kötött és mobil energiatárolók (PHEV) energiájának felhasználásába, illetve egy esetleges kiesés esetén az aktív szigetüzembe vagy más kisfrekvenciás zavarokba a hálózati oldalon. A fenti hierarchikus hálózati felépítésben, ahol a nanogrid-ek belső felépítése teljesen független a hálózattól, az ECC-n keresztül teljes mértékben dinamikusan leválaszthatók, így különböző feszültségekkel, fázisokkal és akár frekvenciákkal (egészen kHz nagyságrendig) rendelkezhetnek [15].

4.2.2 A DC-Nanogrid

Az, hogy a nanogrid dinamikusan elkülönített a hálózattól, könnyen elképzelhetővé teszi, hogy a jövő épülete egy DC-nanogriden alapuljon (7. ábra). Az AC-nanogriddel szemben az egyenáramú működés rengeteg előnnyel jár, a kevesebb energia átalakítótól kezdve, a nagyobb rendszer hatékonysággal és a megújuló energiaforrásokkal való kapcsolat egyszerűbb fenntartásáig. Ezen a feszültségformán nincs skin hatás, nincsenek frekvencia stabilitási vagy meddő energia problémák és váltakozó feszültség okozta veszteségek. Sőt mi több, a fogyasztói elektronikák, a LED világítás és változtatható sebességű motorok működtetésére az egyenáram alkalmasabb.



7. ábra Egy DC-alapú nanogrid a jövő otthonában [15]

A jövő otthonában két DC feszültségszintet különböztetünk meg: egy nagyobb (380 V) DC-busz táplálta szintet, amely az épületgépészet (HVAC - Heating, Ventilation, Air Conditioning), konyhai berendezések és más nélkülözhetetlen háztartási eszközök ellátásáért felelős, illetve egy kisebb szintűt, amely 48 V-tal látja el a kisebb teljesítményű híradástechnikai eszközöket, szórakoztató berendezéseket és a LED világítást (lásd 7. ábra).

Nagyobb egyenfeszültség-szinten a zárlatmegszakítás okozhat problémákat. A nanogrid hálózatban azonban minden táplálást elektronikus energiaátalakítók biztosítanak, amelyek szabályozhatók és gondoskodnak az áramkorlátozásról, így csökkentik az elektromechanikus védelmi rendszerek szükségességét. A rendszer akkor teljesen nélkülözheti a megszakítókat, ha minden átalakító tartalmaz

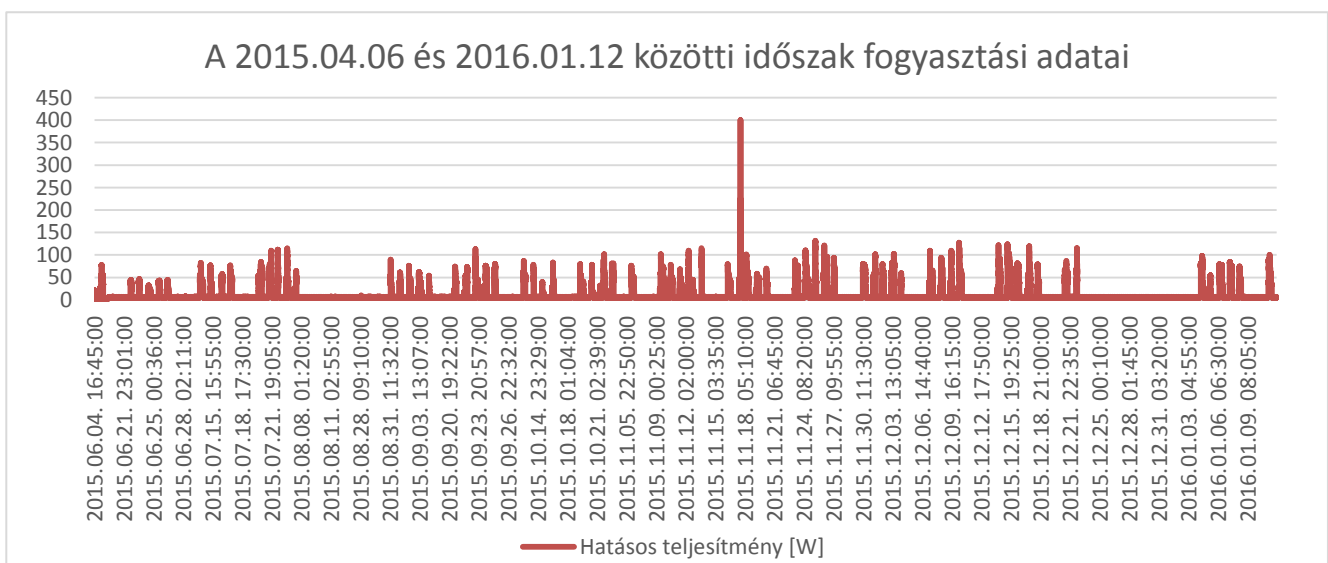
félvezető kapcsolókat, amelyek „nyithatnak” egy meghibásodás esetén. Ez megszüntethetné a szignifikáns vezeték túlméretezés iránti szükségletet, amelyek jelentős többlet beruházási költséget jelentenek. Ennek következtében az ilyen nanogridek fejlettebb energiahatékonyságot, energiaszolgáltatást és megbízhatóságot nyújtanak a lehető legalacsonyabb beszerelési és működtetési költség mellett. További kutatások szükségesek azonban a fizikai modellek fejlesztésére, amíg pontosan le tudjuk írni a rendszer dinamikus viselkedését, mielőtt az új nanogrid architektúrák teljesen optimalizálhatók lennének, és a fenti előnyök bebizonyosodnának [15].

5 Egy iroda átlagos fogyasztásának elemzése – példa Nanogrid hálózatra

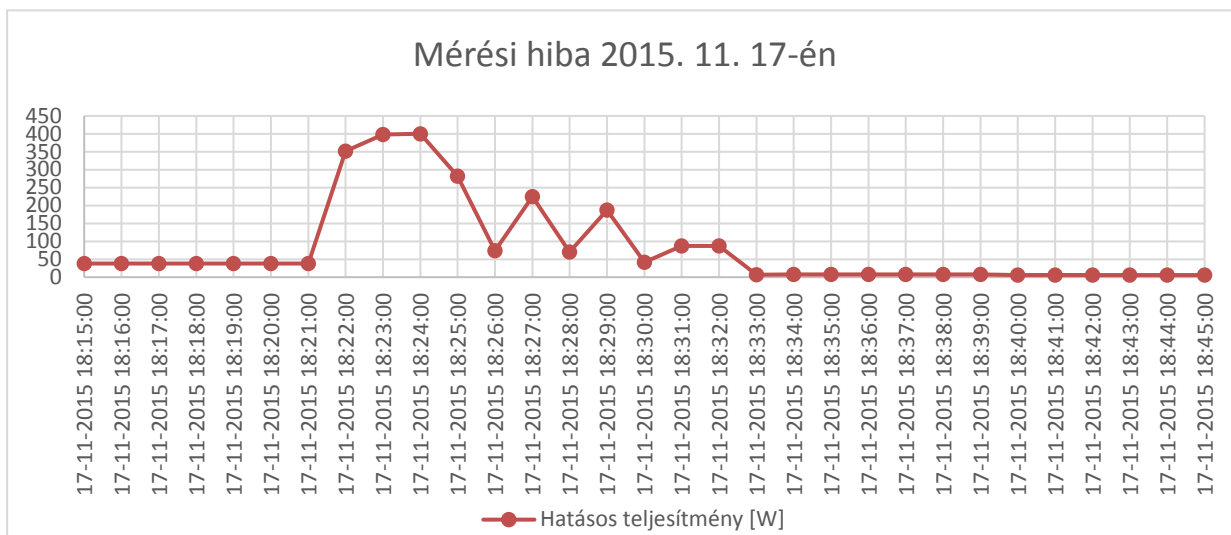
Dolgozatom ezen részében, a fő elméleti alapok ismertetését követően, szeretnék rátérni a gyakorlati alkalmazhatóság vizsgálatára. Ehhez egy tanszéki irodát tekintek vizsgálati modellnek, amely jó közelítés egy hétköznapi irodára. Az irodában felvett fogyasztási adatokat felhasználva szeretnék megállapítani, lehetne-e vagy egyáltalán érdemes-e napelemes rendszerrel fedezni egy irodai munkakörnyezet energiaszükségletét, illetve ha igen, hogyan lehetne ezt megvalósítani. Hogy az elemzett fogyasztási adatokat lehessen mihez viszonyítani és ezáltal következtetéseket levonni, az Odooproject termelési adatait vettem összehasonlítási alapnak. Ez az egyetemi project 2013 óta rögzíti a 13,475 kW_p összteljesítményű napelemek által termelt energia adatokat. A cellák az épület tetején (6,5°-os dőlésszög), illetve oldalfalán, körülbelül 90 m² területen helyezkednek el [16].

5.1 Az iroda fogyasztási adatainak értékelése

A fogyasztási adatok rögzítése Voltcraft Energy Logger 4000 készülékkel történt, a 2015.04.06 16:45 és a 2016.01.12. 09:07 közötti időszakban. Az adatok importálását a Voltsoft VOLTcraft 1.94-es verziójú szoftverével végeztem a mérőeszköz által generált .BIN fájlokat használva. A mérési időszakot Excelben vizsgálva kerestem azt a napot és időpontot, amikor legnagyobb hatásos teljesítményt vette fel az iroda. Először ez a nap 2015.11.17. 18:24-re esett, 400,25 W teljesítmény felvétellel, ez az 1. diagramon egy kiugrás formájában is megfigyelhető.



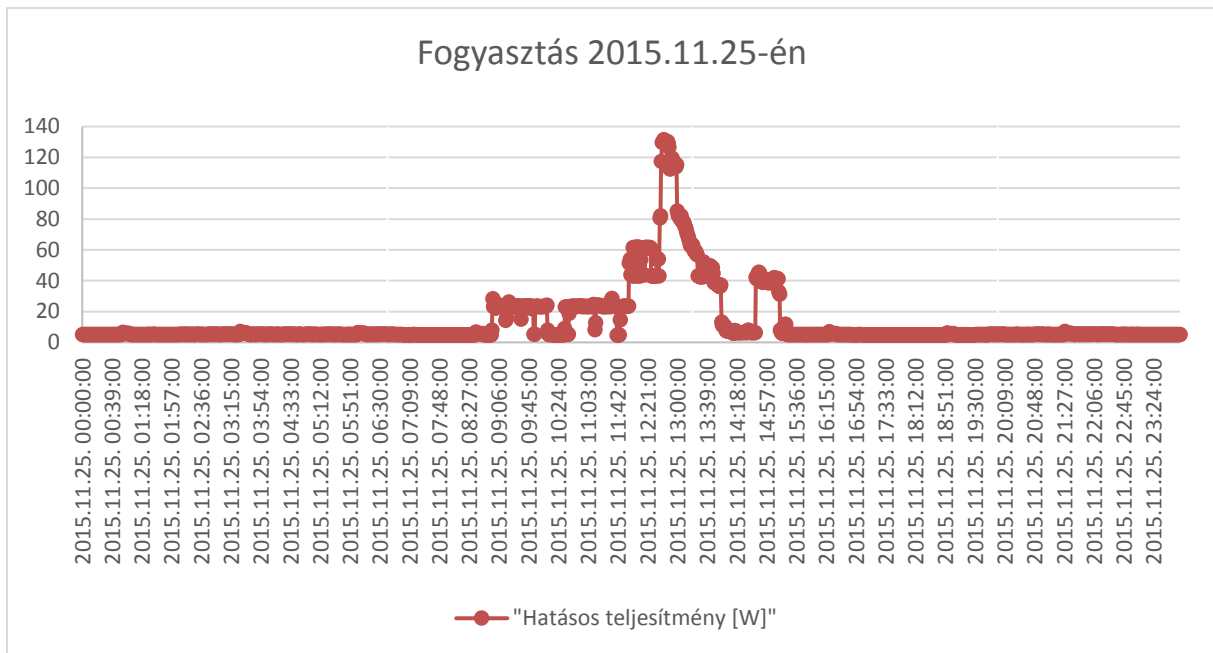
1. diagram Az iroda fogyasztása a mérési időszak alatt



2. diagram Mérési hiba a fogyasztási adatok között

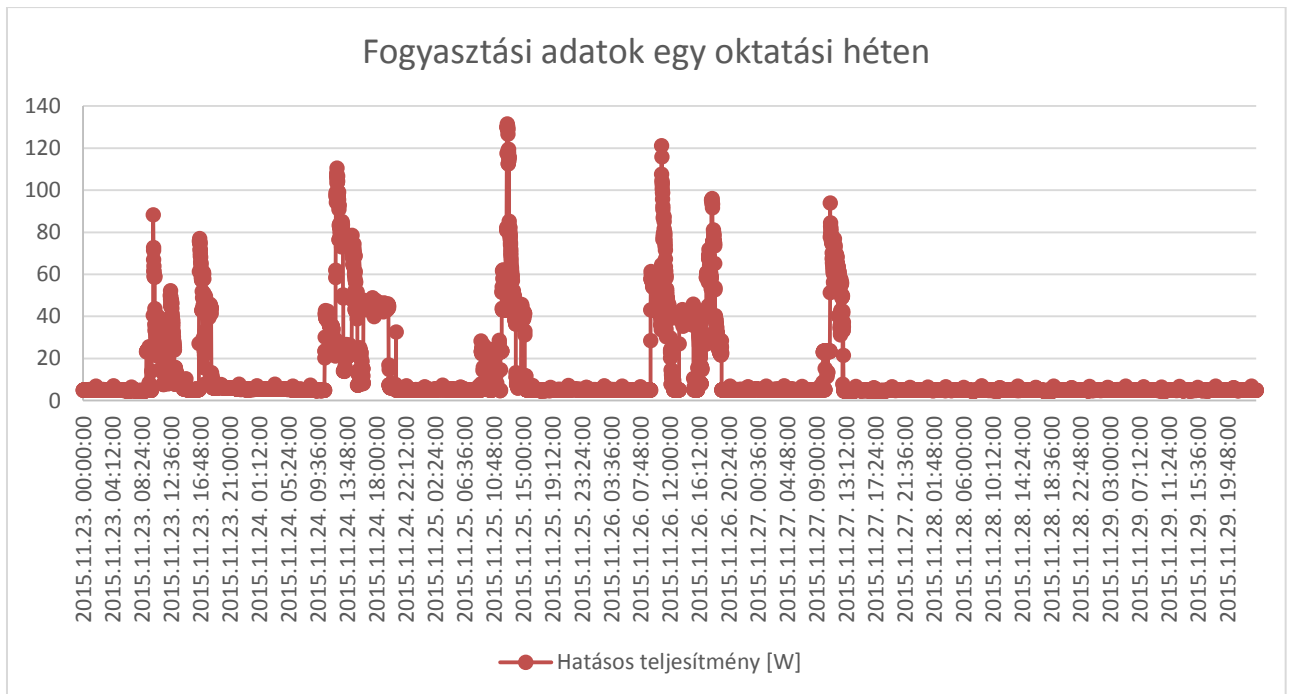
Azonban figyelembe véve, hogy az irodában főleg ICT, azaz audiovizuális és telekommunikációs eszközök, úgymint szám szerint két laptop, két monitor, két vonalas hordozható telefon üzemeltetését, illetve két mobiltelefon töltését kell fedeznünk hatásos teljesítménnyel, és ezek fogyasztása egyenként nem haladja meg az 50 W-ot, sőt a telefonkészülékek esetében még kevesebb ez az érték, így a legrosszabb esetben is 350 W teljesítményt kellett volna vételeznie ezen eszközöknek a hálózatról. A 400 W felvett teljesítmény azonban kevés lenne egy porszívó vagy más takarítóeszköz működtetésére, ezáltal az az eset is kizárható, hogy este, amikor az irodában dolgozók már hazamentek, a takarító személyzet végezte volna munkáját. A 2. diagramon látható, hogy a kiugró értékek csupán néhány percre állnak fenn, majd visszaállnak. Ezek alapján az sem lehetséges, hogy egy nagyobb teljesítményű irodai eszközt (például egy hőköltőgépet vagy laminálót) üzemeltettek volna a felhasználók, hiszen egy ilyen készülék használata, a felmelegedés ideje miatt, nagyobb időintervallumot igényel. Ezen tények miatt a 2015. november 17-i napon mért adatokat mérési hibának tekintettem, és kizártam a vizsgálatokból.

Tényleges maximumnak így a következő legnagyobb fogyasztási adatot (131,55 W) vettem, melyet 2015. november 25-én 12:42-kor rögzített a műszer (3. diagram). Az időpontból is látható, hogy ez reális maximumérték, hiszen ebben az irodában oktatók dolgoznak, akiknek napközben vannak óráik és a szünetekben, lyukas órákban térnek vissza a vizsgált helyiségbe.



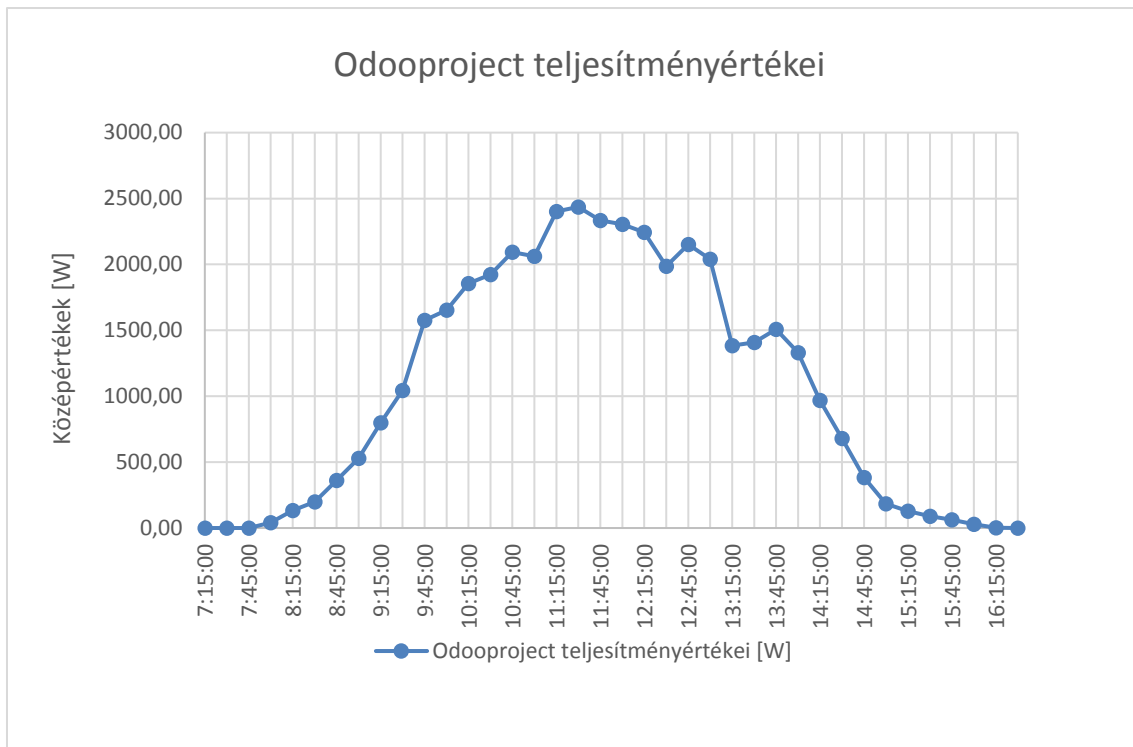
3. diagram Legnagyobb fogyasztású nap a vizsgált időszakban

A 4. diagram bemutatja az iroda fogyasztási szokásait egy oktatósi héten. Látható, hogy az irodában hétköznapokon, reggel 8 órától délután 4-ig történik érdemi teljesítményfelvétel, ezen időszavokon kívül kis, 4–5 W közötti teljesítményértékek figyelhetők meg, amelyek az eszközök stand-by funkciójának tudhatók be.



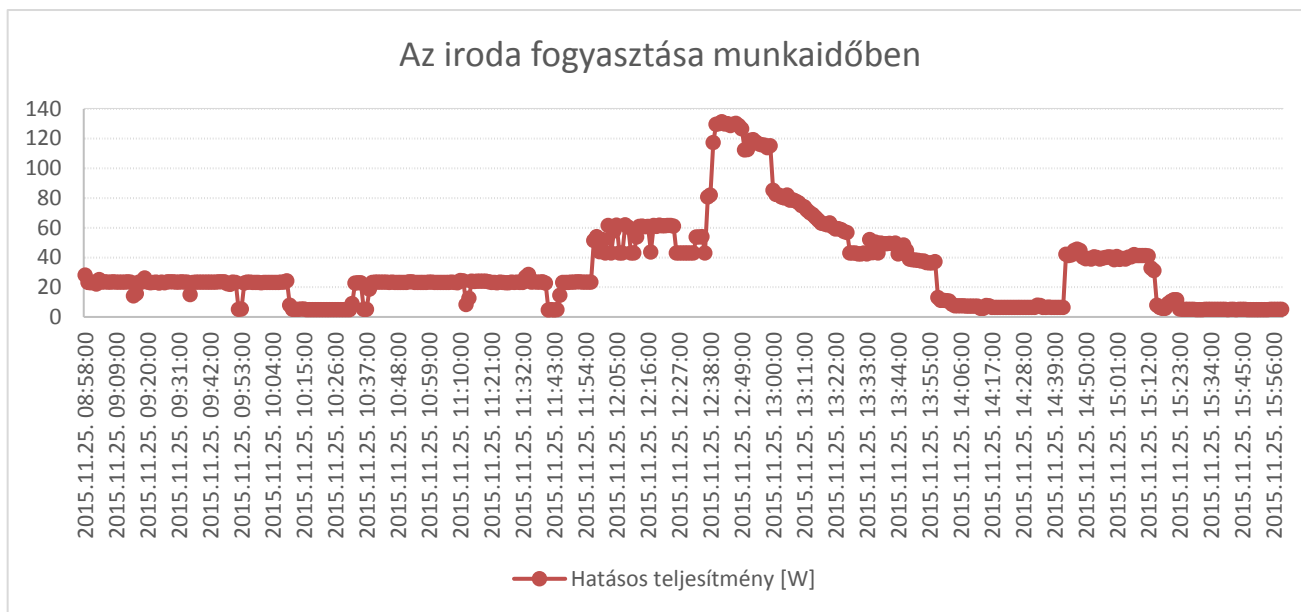
4. diagram Az iroda teljesítményfelvételének eloszlása egy oktatósi hét alatt

Megvizsgálva az Odooproject termelési adatait (5. diagram) november 25-én feltűnhet, hogy a napelemek éppen abban az időszávan (8:45-14:45) termelték a legtöbb teljesítményt, amikor az irodában is a legnagyobb volt az energiafelvétel.



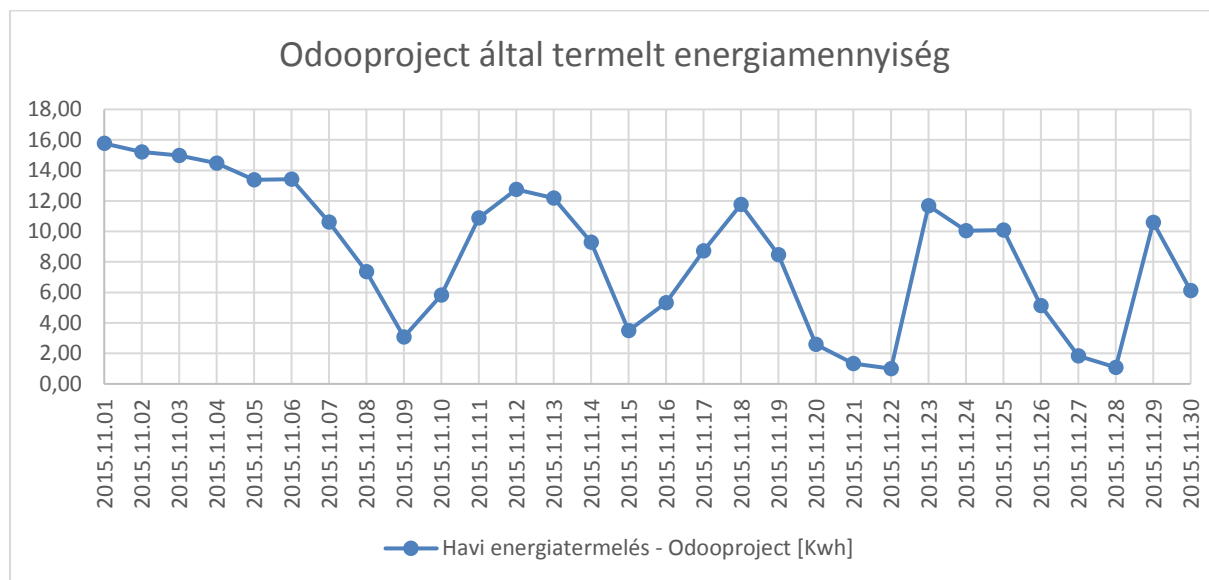
5. diagram Az Odooproject napelemei által leadott teljesítmény 11.25-én

A tény, hogy a napelemek akkor termelik a legtöbb energiát, amikor az ott dolgozók is jelen vannak az irodában (6. diagram), pozitív számunkra, hiszen ezáltal felmerül az a lehetőség, hogy ezen időszakban az iroda energiaszükségletének egy részét, vagy – a fogyasztók számától függően – teljes egészét a napelem által termelt energiával fedezzük. Mivel azonban ez az iroda nem egy hagyományos irodai munkakörnyezet, ahol az alkalmazottak folyamatosan végzik munkájukat, hanem egy oktatók által használt szoba, amely az oktatók órái, egy átlagos szabadságnál hosszabb nyári szünetei, illetve esetleges konferenciái alatt nem fogyaszt számottevően, felmerülhet egy energiatároló telepítésének szükségessége. Ebben az esetben a megtermelt energiát később lehet hasznosítani, vagy akár visszatáplálni a hálózatra – ez már a fogyasztó döntése alapján kerülhet megvalósításra. Egy ilyen napelemes rendszer alkalmazása hasznos lehet a völgy- és csúcsidőszakok kiegyenlítése szempontjából is, hiszen amíg lehetőség van szigetüzemnek tekinthető (ha fogyasztásunkat teljes mértékben a napelemek fedezik vagy energiatárolót használunk) állapotban működtetni irodai berendezéseinket, addig nem terhelik a hálózatot.



6. diagram Az iroda fogyasztása 8:00 és 16:00 között

Érdemes megjegyeznünk azonban, hogy ugyan az iroda fogyasztása november hónapban érte el a maximumot, de az évnek ebben a szakaszában Magyarországon a napsütéses órák száma alacsonyabb, mindössze 3,9 óra/nap. Ehhez képest 2015 júliusában a maximális érték 9,9 óra/nap volt Budapesten [12]. A 7. diagramon az Odooproject november havi adatait megvizsgálva viszont láthatjuk, hogy több olyan nap is van a hónapban, ahol a termelt energiamentiség drasztikusan lecsökken, ami a téli időjárás beköszöntének tulajdonítható.



7. diagram Az Odooproject novemberi energiatermelése

Az Odooproject éves energiatermelési adatait vizsgálva (1. táblázat) látható, hogy június hónapban 891,26 kWh energiát állítottak elő a telepített napelemek, míg novemberben csupán 258,44 kWh-t, amely a júniusi értéknek körülbelül a 30 %. Tehát a rendszer megvalósításakor számolnunk kell azzal,

hogy az eleve kisebb teljesítményű rendszer kevesebb energiát fog termelni az éghajlati viszonyok miatt.

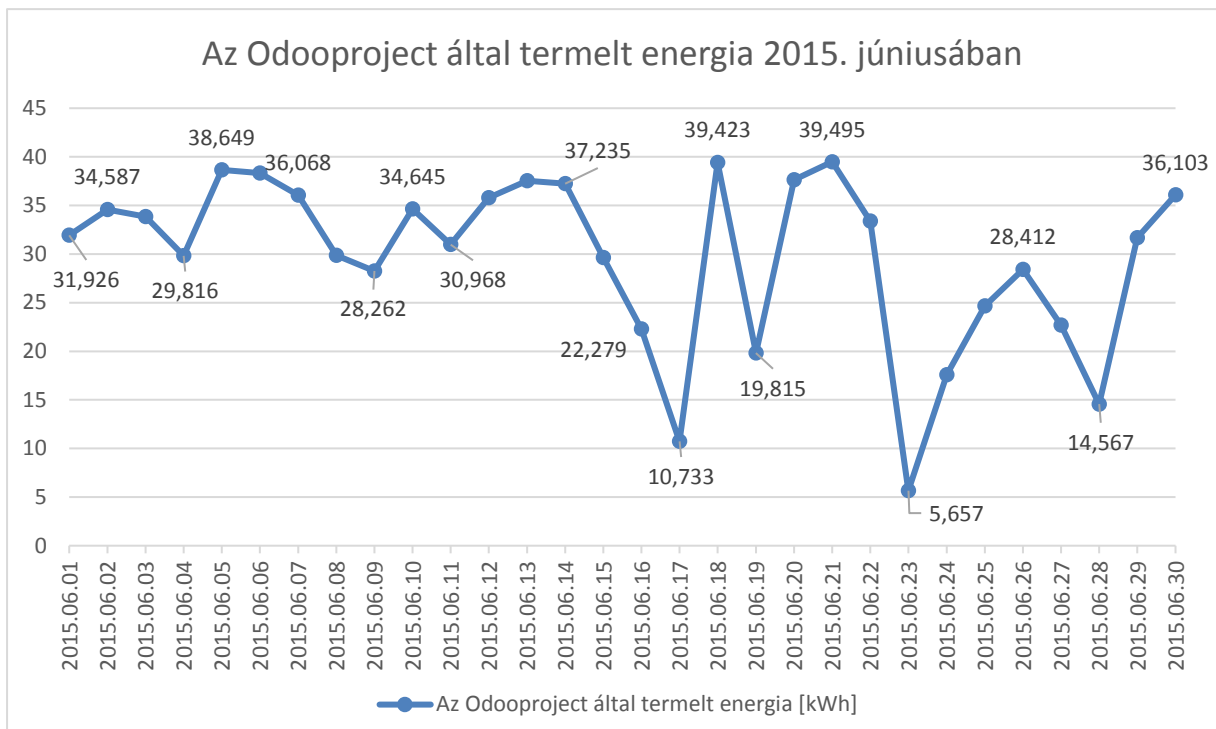
Havi elosztás	Termelt energia [kWh]
2015. január 16.	147,221
2015. február 16.	330,946
2015. március 16.	566,238
2015. április 16.	797,736
2015. május 16.	798,104
2015. június 16.	891,263
2015. július 16.	872,448
2015. augusztus 16.	782,55
2015. szeptember 16.	585,319
2015. október 16.	352,964
2015. november 16.	258,446
2015. december 16.	88,858

1. táblázat Az Odooproject által megtermelt éves energia havi bontásban

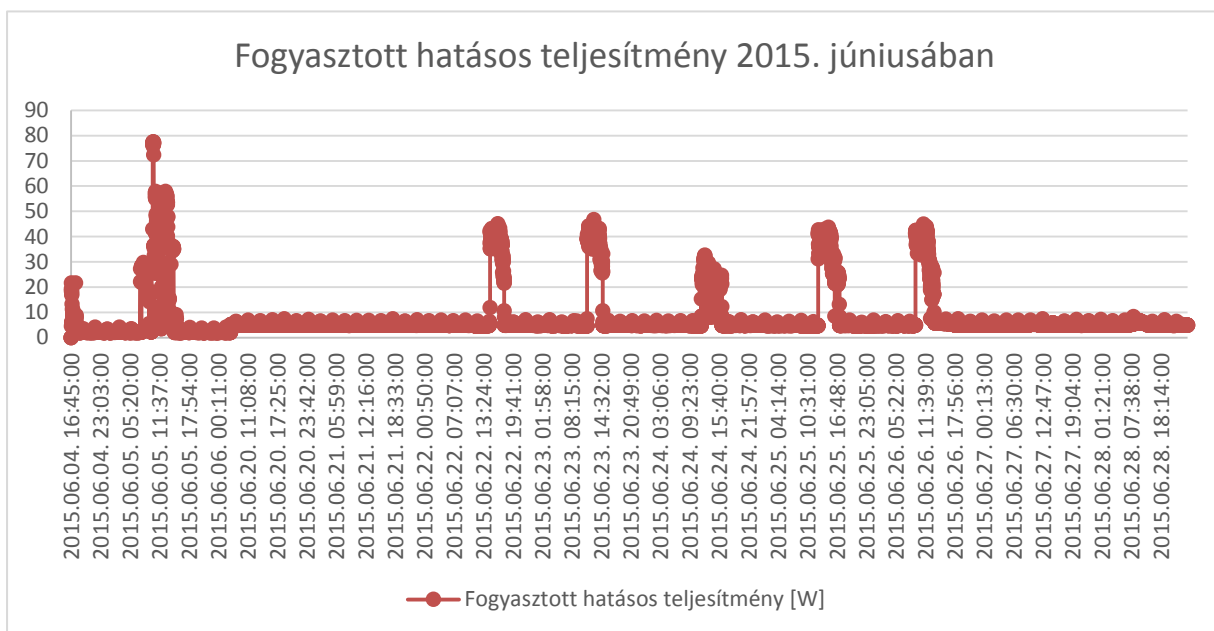
A lenti két idődiagramon a 2015. júniusi hónapot láthatjuk. A **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.**ról leolvashatjuk, hogy a telepített napelemes rendszer 21-én termelte a legtöbb villamos energiát, míg alatta, a **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.**on látható, hogy ezen a napon az irodában nem történt nagyobb teljesítményfelvétel, sőt csak stand-by üzemmódban üzemeltek az irodai eszközök. Érdekeség továbbá, hogy míg az Odooproject a legtöbb energiát a júniusi hónapban termelte, addig az iroda ebben a hónapban fogyasztott a legkevesebbet, illetve mikor maximális volt az energiafelvétel a hálózatról, a napelemes rendszer a harmadik legkisebb energiamennyiséget állította elő.

Két probléma áll tehát fenn rendszerünk megvalósításában: a nagy energiatermelésű időszakokban az oktatók nem dolgoznak az irodában, illetve amikor oktatási időben munkájukat végzik, a napsugárzás nem elegendő energiaigényük fedezésére. Az utóbbira megoldást jelenthet egy már említett energiátároló egység beépítése a napelemes rendszer mellé, amely azon időszakokban, amikor az oktatók óráikat tartják, töltődik és a szünetekben, amikor az oktatók irodájukban készülnek a következő előadásukra, feltölthetik vele készülékeiket. Az előbbinél azonban nem tehetjük meg csupán ugyanezt, hiszen nagy kapacitású tárolóegységre lenne szükségünk, ami a technika mai állása szerint még nagyon költséges lenne számunkra. Ezért élhetnénk azzal a lehetőséggel, hogy a megtermelt energiamennyiséget visszatápláljuk a hálózatba, azaz ha egy nanogrid-nek kisebb teljesítményigénye van, mint amit a napelem termel, akkor egy környezetében lévő másik hálózatrész felé átirányítható a

többlettermelés. Ilyen előfordulhat például nyáron, mikor a klímaberendezések miatt a hálózat kihasználtsága megnő, és ez tovább terheli csúcsidőszakban a hálózatot.



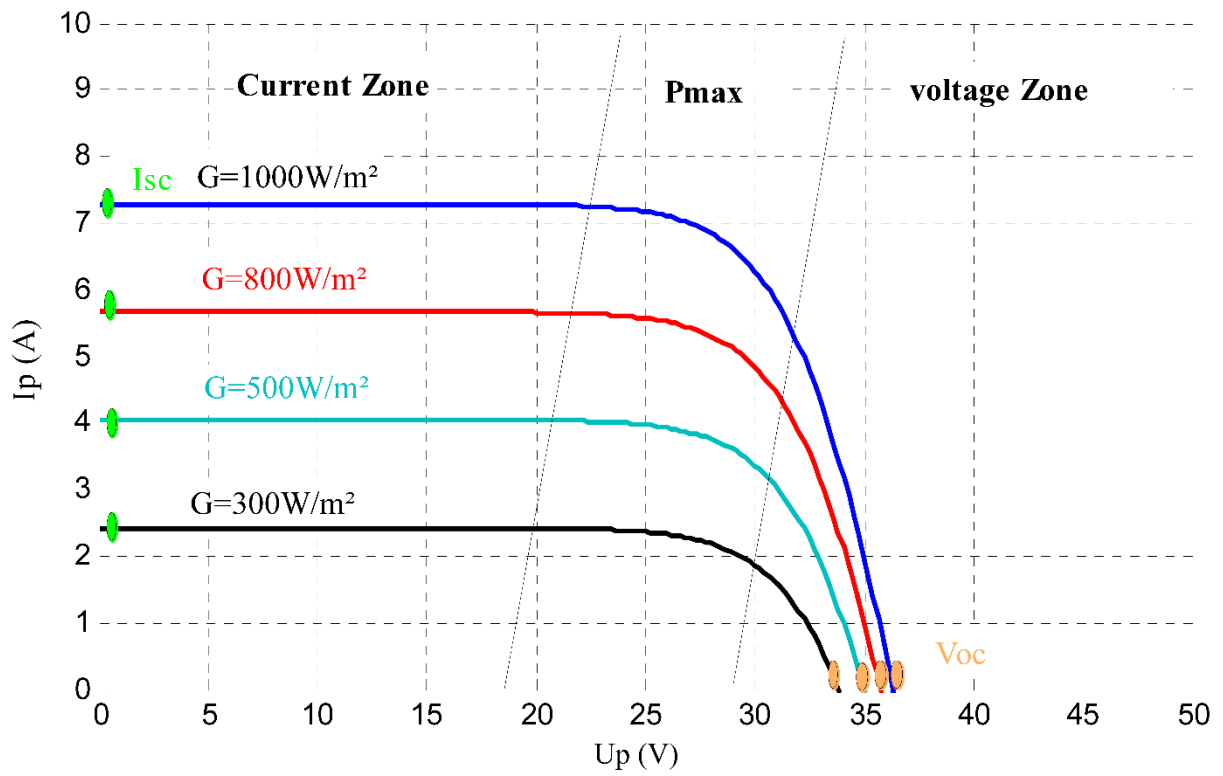
8. diagram 2015. júniusi enegiatermelési adatok



9. diagram Az iroda fogyasztása június hónapban

Az energiátároláshoz és a visszatápláláshoz is MPPT szabályzást lehet alkalmazni, amely a megvilágítottág értékétől függően a lehetséges maximális teljesítményt veszi ki a napelemekből. Visszatáplálás esetén ez folyamatosan a maximális teljesítményű ponton tudja tartani a napelemeket,

ha azonban nincs visszatáplálás az akkumulátor töltöttségétől függően lehet, hogy nem a maximális teljesítményű munkapontban üzemel.



8. ábra Az MPPT feszültség-áram karakterisztikája [17]

6 Összegzés

Eddigi vizsgálataim alapján az látható, hogy éves szinten a fogyasztási és termelési csúcsok egy irodát tekintve nem esnek egybe. Napi szinten vizsgálva azonban a termelési görbék kisebb eltérést mutatnak. Ez a kiegyenlítetlenség relatív kis kapacitású energiatároló alkalmazásával megszüntethető, hiszen a napi fogyasztott energiamennyiség nem annyira jelentős (nagyjából 0,5 kWh). Az éves szinten mutatkozó eltéréseket azonban ilyen módszerrel nem lehet kezelni, erre jobb megoldás lehet a nanogrid-ek közötti energiaáramlás lehetővé tétele.

A viszonylag kis fogyasztás miatt egy irodának nem szükséges néhány négyzetméternél nagyobb felületű napelem. A napelemtáblák elhelyezése történhet az épület falfelületén vagy tetején. Az előbbi megoldás előnye a kisebb ohmos veszteség, amely a vezetékezés hossza miatt jelentkezne, azonban a besugárzás szöge így nem optimális. A tetőn megvalósított elrendezés dőlésszögének beállításával optimalizálható az előállított teljesítmény, viszont a felhasználási területtől való távolság miatt költséges a megvalósítása. Mivel az iroda fogyasztása a téli időszakban a legnagyobb, amikor a nap alacsonyabban jár, ezért ha a napelemet déli falfelületre tudjuk telepíteni, akkor ezen elrendezéssel a besugárzási szög télen kevésbé tér el az optimálistól, amely nagyobb termelt teljesítményt eredményez. További vizsgálatok szükségesek ahhoz, hogy ha egy épület szabad függőleges fafelületére telepítjük a napelemeket, akkor hány négyzetméter napelem kell az energiaigények fedezésére. A költségek nagyban függenek attól, milyen típusú napelemeket használunk, viszont az is fontos, hogy különböző típusú napelemek különböző hatásfokúak, így azonos besugárzás esetén jelentős különbség lehet a megtermelt energia mennyiségében.

További megfontolásokat igényel az, hogy intelligens eszközökkel való kommunikáció (pl. laptop) hogyan valósítható meg, illetve azok energiatárolóját a nanogrid részeként használva, hogyan változik a szükséges külön energiatároló kapacitása.

Ezen kérdésekre a munka folytatásaként keresem a válaszokat.

7 Irodalomjegyzék

- [1] "Wikipedia," [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_grid.
- [2] B. D. Wachter, „Leonardo Energy,” 18 08 2009. [Online]. Available: <http://www.leonardo-energy.org/what-definition-smart-grid>.
- [3] „SmartGrid.Gov,” U.S. Department of Energy , [Online]. Available: https://www.smartgrid.gov/the_smart_grid/smart_grid.html.
- [4] *110th Congress of United States of America*, 2007.
- [5] *Title XIII of the Energy Independence and Security Act of 2007 - STATEMENT OF POLICY ON MODERNIZATION OF THE ELECTRICITY GRID*, 2007.
- [6] Stadler, Michael, Gonçalo Cardoso, Salman Mashayekh, Thibault Forget, Nicholas DeForest, Ankit Agarwal, and Anna Schönbein, „Value Streams in Microgrids: A Literature Review,” *Applied Energy*, 2015.
- [7] „Microgrids at Berkeley Lab,” [Online]. Available: <https://building-microgrid.lbl.gov/about-microgrids>.
- [8] „GeneralMicrogrids,” 2015. [Online]. Available: <http://www.generalmicrogrids.com/about-microgrids>.
- [9] C.Marnay et al., „Microgrid Evolution Roadmap,” in *Smart Electric Distribution Systems and Technologies (EDST), 2015 International Symposium on*, Vienna, 2015.
- [10] M. Seyedmahmoudian, H. Arrisoy, I. Kavalchuk, A. Maung Oo, A. Stojcevski, „Rationale For The Use Of DC Microgrids: Feasibility, Efficiency And Protection Analysis,” in *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, %1. kötet206, 2015.
- [11] K. A. Arto Saari, „Distributed energy generation and sustainable development,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, %1. kötet10, %1. szám6, p. Pages 539–558, 12 2006.
- [12] „Microgrid Institute,” [Online]. Available: <http://www.microgridinstitute.org/about-microgrids.html>.
- [13] K. C. Bruce Nordman, „Local power distribution with nanogrids,” in *IEEE, Green Computing Conference (IGCC), 2013 International*, 2013.
- [14] B. Nordman, „Nanogrids - Evolving our electricity systems fom the bottom up”.
- [15] Dushan Boroyevich, Igor Cvetković, Dong Dong,Rolando Burgos,Fei Wang,Fred Lee, „Future electronic power distribution systems a contemplative view,” in *IEEE*,

Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM), 2010 12th International Conference on, 2010.

- [16] G. Ádám, K. Baksai-Szabó, P. Kiss, „Energy production estimating of photovoltaic systems,” 2012.
- [17] Farhat Maissa, Sbita Lassâad, „Efficiency Boosting for PV Systems- MPPT Intelligent Control Based,” *Energy Efficiency Improvements in Smart Grid Components*, 2015.
- [18] „Energy To Smart Grid,” 2012. [Online]. Available: <http://www.e2sg-project.eu/>.
- [19] Dr. Fred C. Lee, „Sustainable Buildings and Nano-Grids,” in *2nd IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG 2010)*, CPES Principal Plus, 2010.

8 Ábrajegyzék

1. ábra Egy Smart hálózat lehetséges felépítése	4
2. ábra Egy microgrid hálózat	7
3. ábra Példa egy nanogrid hálózatra	8
4. ábra Egy nanogrid vázlata	9
5. ábra A nanogrid réteg modellje.....	10
6. ábra Egy nanogrid jövőképe egy lakóházban	11
7. ábra Egy DC-alapú nanogrid a jövő otthonában	14
1. diagram Az iroda fogyasztása a mérési időszak alatt	16
2. diagram Mérési hiba a fogyasztási adatok között.....	17
3. diagram Legnagyobb fogyasztású nap a vizsgált időszakban.....	18
4. diagram Az iroda teljesítményfelvételének eloszlása egy oktatási hét alatt	18
5. diagram Az Odooproject napelemei által leadott teljesítmény 11.25-én.....	19
6. diagram Az iroda fogyasztása 8:00 és 16:00 között	20
7. diagram Az Odooproject novemberi energiatermelése.....	20
8. diagram 2015. júniusi energiatermelési adatok	22
9. diagram Az iroda fogyasztása június hónapban	22
1. táblázat Az Odooproject által megtermelt éves energia havi bontásban	21