

Napelemes energiatermelés lakóépületben való helyszíni felhasználásának vizsgálata

Kiss Gyula Richárd – Dr. Horváth Miklós

Abstract

The topic of this article is very timely in the light of the current global energy crisis. This statement is also supported by the governmental regulations introduced in the autumn of 2022, which has suspended the installation of grid-connected PV systems, and also the option of net metering of PV production for newly installed systems. The importance of the study is further reinforced by the increase in electricity costs due to the change in energy tariffs introduced from the 1st of August 2022. Based on these, the primary objective was to increase the on-site consumption of PV produced electricity, thereby reducing the payback period. This can be achieved through smart control and the installation of energy storage.

We are examining the effect of battery storage on on-site consumption of PV system production for different HVAC systems and battery types. We are exploring the interaction between the battery storage types, PV system size and yearly electricity consumption patterns. Based on our results the feasibility of the different battery options can be calculated for different household consumption patterns and PV systems. These results can give a basis for the potential feasibility for PV systems with gross metering of the electricity production and consumption.

Kulcsszavak

napelemes energiatermelés, lakóépület, akkumulátor, akkumulátoros tárolás, szigetüzemű rendszer, épületszimuláció

Bevezetés

Cikkünk témája a jelenleg fennálló világméretű energiaválság tükrében rendkívül időszerű. Ezt a 2022 ősze óta bevezetett kormányrendeletek is alátámasztják, mivel ideiglenesen szüneteltették az október 31-e után becsatlakozók számára a visszatáplálást, így a szaldó elszámolást is, továbbá 2024 után bruttó elszámolásra lehet számítani. Tovább erősíti a tanulmány fontosságát, hogy 2022. augusztus 1-ével bevezetett energiatarifák változásával megemelkedtek a villamosenergia költségek. Ezek alapján a helyben felhasznált napenergia mértékének növelése lesz az elsődleges cél, hogy minél kevesebb veszteséggel üzemeljen a rendszer, ezáltal csökkentve a

megtérülési időt. Ennek mértékét okos vezérléssel, tárolók beiktatásával lehet növelni.

A tanulmányunkban az akkumulátoros tárolást és annak határait vizsgáljuk különböző épületgépészeti rendszerek, akkumulátorok esetén. Az akkumulátorok, a napelemes rendszerek, az éves villamosenergia fogyasztás és a villamosenergia-fogyasztási profilok egymásra gyakorolt kölcsönhatásaira próbálunk választ adni. A munkánk révén könnyebben lehet majd megállapítani egy családi ház fogyasztása alapján, hogy mely rendszer milyen hatással lesz a rezsiköltségekre, ezáltal a felhasználók a számukra legjobb megoldást tudják kiválasztani. Ezzel segítve az újonnan beruházni vagy az energetikai fejlesztésre nyitott felhasználókat.

1. Szakirodalmi áttekintés

1.1. A napelemes rendszerek felépítése

A napelemes rendszereket három részre tudjuk felosztani attól függően, hogy csatlakoznak-e a közhasznú elektromos hálózatra, illetve van-e a rendszerben villamosenergia-tároló. Így definiálhatunk hálózatra kötött (on-grid), szigetüzemű (off-grid) és hibrid rendszert is. Hálózatra kötött rendszerrel általában nincsen akkumulátoros tárolás, ebben az esetben a villamosenergia tárolását a villamosenergia-hálózat látja el. Szigetüzemű rendszerrel nincsen kapcsolat a villamosenergia-hálózattal, teljesen szigetüzemben működik a napelemes rendszer, így szükséges villamosenergia tároló beépítése. A hálózatra kötött akkumulátoros rendszereket további két alcsoportra tudjuk bontani, aszerint, hogy történik-e az elektromos hálózatra visszatáplálás (hibrid rendszer) vagy sem (ez esetben a hálózat képes kipótolni az igényeket, szemben egy szigetüzemű rendszerrel, de visszatáplálás nincsen, ezt visszawatt védelemmel lehet elérni), ez egy fontos kérdés a törvényi szabályozás miatt [1].

1.2. A napelemes villamosenergia helyszíni felhasználását és tárolását növelő megoldások

A megtermelt villamosenergiát a leghatékonyabban helyben tudjuk felhasználni, így a nap által szolgáltatott energiatermeléshez kell illeszteni a fogyasztási szokásainkat, figyelembe véve a rendelkezésre álló teljesítményt és a fogyasztó berendezések teljesítményét. Elsősorban az a célunk, hogy a hálózatról felvett villamosenergia mértékét a lehető legnagyobb mértékben csökkentjük, a szükséges felvétel az esti / árnyékos időszakokban valósuljon meg, valamint főként csak azokat a fogyasztókat üzemeltessük ekkor, amelyek működése elengedhetetlen, például a hűtő, fűtési rendszer elektromos berendezései, lámpák. Ezt okos otthon vezérléssel könnyedén elérhetjük, amelyre már számos iparági megoldás létezik napjainkban.



**Kiss Gyula
Richárd**
MSc hallgató



**Dr. Horváth
Miklós**
egyetemi docens

BME Gépészmérnöki Kar, Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék

Egy másik fajta tárolási mód, ha a rendelkezésre álló többlet energiát „elfűtjük” vagy „elhűtjük”. Ez főként az alábbi eseteket jelentheti:

- HMV termelés;
- épülettömeg-temperálás;
- fűtési/ hűtési hőtárolás.

A megtermelt és el nem fogyasztott energiát eltárolhatjuk villamosenergia formájában is, hogy a későbbiek során felhasználhassuk, erre ad lehetőséget az akkumulátor. Akkumulátoros energiátárolásnál fontos paraméter, hogy milyen séma szerint történik a villamosenergia elosztás, illetve mennyi ideig szeretnénk működtetni az adott rendszert. Többféle séma közül tudunk választani, ezek például: peak-shaving (csúcskiegyenlítés), SUB (solar-utility-battery), SBU (solar-battery-utility). Az akkumulátor töltésére is lehet megadni prioritást, hogy napenergia vagy hálózat által, esetleg együttes módon legyen töltve. A tanulmányunk során csak a napenergia tölthette az akkumulátort.

Ezek alapján rendkívül széles határok között tudjuk megválasztani a számunkra ideális rendszer működését az egyéni prioritások alapján, azonban meg kell jegyezni, hogy a többletenergia csak abban az esetben áll fent, ha a villamosenergia termelésünk nagyobb, mint a fogyasztásunk mértéke.

Kutatásunk során az akkumulátoros tárolás és fogyasztás optimalizálással foglalkoztunk részletesebben, ezek egymásra gyakorolt hatását vizsgáltuk.

1.3. Akkumulátor típusok

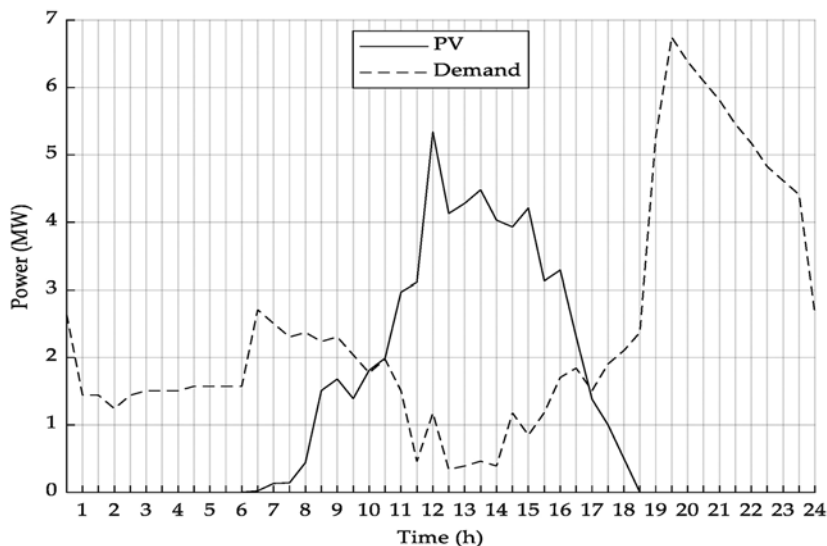
A hálózat-független, azaz off-grid, illetve az akkumulátorral is rendelkező hibrid rendszerek alkalmazásához szükségünk van akkumulátorokra. Az akkumulátorokat szükséges sorosan és párhuzamosan kapcsolni, hogy elérjük a megfelelő működési kapcsolófeszültséget és kapacitást. Az így kialakult akkumulátor pakkot optimalizálni kell, hogy az élettartama minél hosszabb legyen. Az élettartamuk és árak változik annak függvényében, hogy ólom-savas, zselés és felitatott üvegszálas (AGM), Li-ion vagy LiFePo₄ (LFP) akkumulátorokról beszélünk, élettartamuk és árak is ebben a sorrendben növekszik [2].

A különböző teljesítményű inverterekhez más és más kapcsolófeszültségű akkumulátor pakk tartozhat, a legelterjedtebbek a 12 V, 24 V, 48 V rendszerek, azonban itt meg kell említeni, hogy minél nagyobb a kapcsolófeszültség, annál kisebb áramok szükségesek az adott teljesítmény kiszolgálásához, így a vezeték keresztmetszetek csökkenthetők, ami a rendszer biztonsága mellett költséghatékonyaságot is eredményezhet. Családi házas méretben a 48 V-os akkumulátor rendszer a leggyakoribb, emiatt mi is ezeket a rendszereket vizsgáltuk, az akkumulátor típusokat tekintve pedig a leggyakrabban előforduló változatokat: ólom-savas, AGM, LFP.

Az ólom-savas akkumulátorok élettartama igen alacsony, míg a Li-ion-é magas, de érzékeny a hőmérsékletre, ezt küszöböli ki az újabban használatos LiFePo₄ (LFP) akkumulátor. Maximum 50% merítés esetén kb. 200 ciklust bír, erősen hajlamos a gyors degradációra, szulfátosodásra. Létezik gondozásmentes változata is, amihez nem kell desztillált vizet utántölteni. Az AGM akkumulátorokat célszerű maximum 50%-ig meríteni, ekkor átlagosan 1000 ciklust bírnak, 100% merítés esetén ez párszáz ciklusra redukálódik.

A Li-ion akkumulátorokat célszerű maximum kapacitásuk 80%-áig meríteni, elkerülve a mély merítés kockázatát (DoD). Ideális hőmérséklet tartománya 15-35 °C. Az önkisülés esélye csekély, gyorsan tölthető és kisüthető, hosszú élettartammal rendelkezik [3].

Mivel a napelemes termelés és a fogyasztás aránya és ideje nem fedi egymást, emiatt van szükségünk tárolók beiktatására, ennek arányait mutatja az **1. ábra** [3].



1. ábra. A napelemes rendszer és fogyasztás teljesítménye egy napra vonatkoztatva [3]

Sorosan és párhuzamosan kötött akkumulátorok töltése során az egyes cellák között töltés egyenlőtlenség alakulhat ki, ennek elkerülésére töltéskiegyenlítőt kell alkalmazni. A töltéskiegyenlítő (BMS) megszünteti a különböző akkumulátor egységek töltöttségi különbségét, így megnövelhető az akkumulátor pakk élettartama, mivel nem történik sem túltöltés, sem mélykisülés az egyes cellákban. A DoD-t célszerű 50-80% között tartani [4].

Az akkumulátorok egy másik fontos jellemzője a töltési és merítési sebességük, amelyet a C-ráta jellemez. „Az akkumulátorok kapacitását általában 1 C-ben határozzák meg, ami azt jelenti, hogy egy teljesen feltöltött, 1 Ah kapacitású akkumulátornak egy órán keresztül 1 A-t kell biztosítania.” [5]

A következő oldalon látható **1. táblázat** mutatja a különböző típusú akkumulátorok ajánlott C-rátáját és a várható élettartamát a megadott C értékek mellett [5].

1. táblázat. A különböző típusú akkumulátorok C-rátája és várható élettartama [5]

Típus	Kapacitás	Töltési C-ráta	Lemerítési C-ráta	Életciklus
Ólomsavas	35-40 Wh/kg	0,5-1 C	1 C	<350
NiMH	60-120 Wh/kg	0,7-1 C	1-15 C	500-2000
Li-ion	100-265 Wh/kg	0,7-1 C	1 C	400-1200
LiFEPO4	90-120 Wh/kg	1 C	1-25 C	1000- 2000

2. Rövid épületismertetés, villamos profilok

2.1. Az épület szimulációs modellje

A Magyarországon elvégzett lakóépület-típológiai felmérések alapján 23 típust tudunk megkülönböztetni az itthoni épületállományból, ezek közül mi a 4-es típusal dolgoztunk, ezek az 1945-1959 közötti években épültek, azonban a vizsgálatokat bármelyik épülettípusra el lehet végezni követve az alábbi folyamatot [6].

A szimulációt DesigneBuilder v7 programmal végeztük, amelyben a rendelkezésre álló alapadatok alapján létrehoztuk az épület modelljét. A rendelkezésre álló adatok a következők voltak: az egyes helyiségek alapterületei, a falazatok, a födémek rétegrendjei és ezek tulajdonságai, valamint a nyílászárók mérete, tájolása és tulajdonságai. Az így létrehozott modellt a 2. ábra mutatja be.

A szimulációhoz a 7/2006. TNM rendelet alapján meghatároztuk a HMV igényeket, amelyeket a fürdőszoba és a konyha alapterületére vetítve adtuk meg a programban. A tartózkodási menetrendet az MSZ-EN-16798-1:2019 [7] szabvány alapján vettük fel, családiházak esetét feltételezve, figyelembe

véve a munka- és munkaszüneti napokat is.

Az infiltrációt 0,7 l/h-ra állítottuk be az épülettípológia adatai alapján, figyelembe véve a tömítetlenségből származó légcserenövekményt is.

A légsere menetrendnél figyelembe vettük a téli és nyári eseteket is.

Az időjárás adatokat (tipikus meteorológiai év) a 47.430,19.182 GPS koordináták alapján és 2005-2020 időtartamot vizsgálva adtuk meg. A fűtéshez 20 °C operatív hőmérsékletet definiáltunk és 16 °C-ra állítottuk az épület temperálását. A hűtésnél az operatív hőmérséklet 26 °C és az épület temperálása 32 °C-on történik.

2.2. A hőtermelők és hőleadók

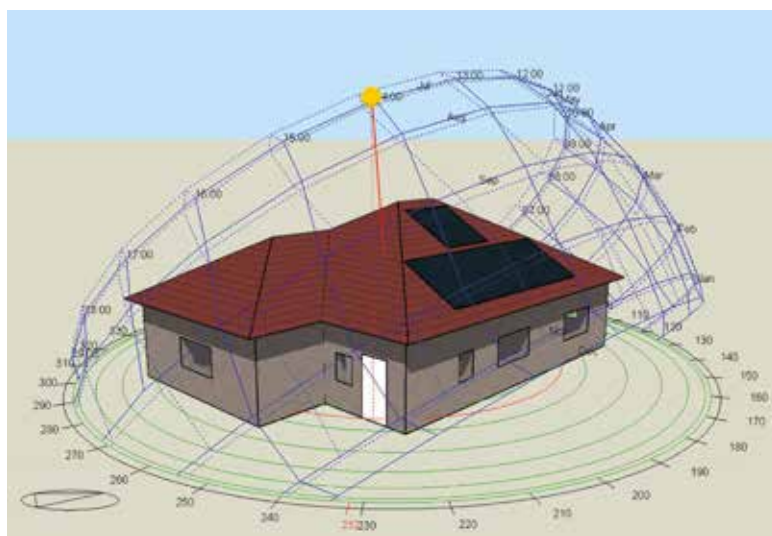
Az épületet szigetetlen állapotban vizsgáltuk, a hő- és használati melegvíz (HMV) termelőnk egyik esetben egy 10 kW teljesítményű hőszivattyú volt 300 literes hőtárolóval, amely télen fűtött, nyáron hűtött, a hőleadónk fan-coil volt, mivel ezt a típusú hőleadót lehet a legkönnyebben elhelyezni ebben az épületben egy felújítás során, hogy egységesen hűteni és fűteni is tudjunk.

Másik esetben a hőtermelő egy kondenzációs kombi gázkazán, a hőleadó radiátor volt. Ezen változó paramétereket a DesigneBuilder v7 program segítségével szimuláltuk egy teljes évre órai felbontásban, azaz 8760 db teljesítmény adatot kaptunk, amit a System Advisor Model v2021 (SAM) programba importáltunk, ahol a napelemes rendszer és akkumulátoros tárolás szimulációját végeztük.

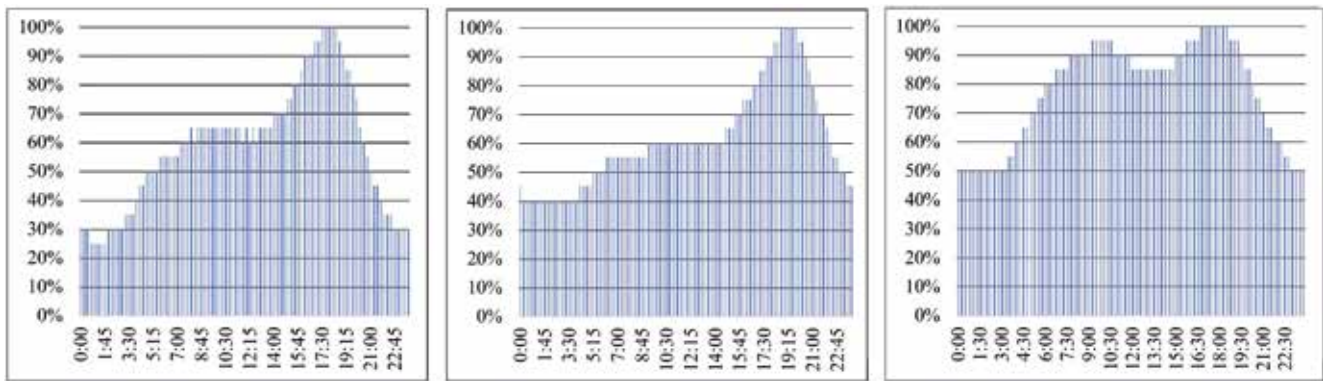
2.3. Villamosenergia profilok

A változó paraméterek egyike a különböző villamosenergia profilok voltak. Ezzel próbáltuk modellezni az eltérő felhasználói szokások hatását a villamosenergia fogyasztás idejére és mértékére. A különböző profilok eltérő teljesítmény igényeket jelentenek ugyanabban az órában. Az általunk definiált profilok jellegét a következő oldalon látható 3. ábra mutatja, amelyet Czétány László és munkatársai készítettek a hazai épületállományra vonatkozóan [8].

A CI profil éves villamosenergia fogyasztása 2814 kWh, a CII és CIII profilok rendre 2364 kWh és 3092 kWh fogyasztással rendelkeznek. Az éves fogyasztásokat a profilok alapján a fajlagos alapterületre eső fogyasztás segítségével állítottuk be, amely ennél az épületnél a következő oldalon látható 2. táblázat szerint alakul.



2. ábra. DesigneBuilder v7 programban felépített épület modell képe



3. ábra. A napi fajlagos villamosenergia-fogyasztási profilok (bal: CI, közép: CII, jobb: CIII)

2. táblázat. A különböző fogyasztási profilok éves és fajlagos fogyasztása

Profil	CI	CII	CIII
Éves fogyasztás	2814 kWh	2364 kWh	3092 kWh
Fajlagos fogyasztás	5,95 W/m ²	4,67 W/m	4,87 W/m

3. táblázat. Az általunk vizsgált akkumulátor típusok és kapacitásaik

Savas				
AGM	5 kWh	10 kWh	15 kWh	20 kWh
LFP				

A szimulációkat teljesen feltöltött akkumulátorokkal kezdtük el, maximum töltöttségüket 95 %-ra vettük fel, a minimum töltöttségüket pedig 10 %-ra, így növelve a várható élettartamukat. A szimuláció időtartamát 20 évre állítottuk be.

3. Vizsgált esetek

3.1. A vizsgált napelemes rendszer kialakítások

Változó paramétereink voltak a fogyasztási adatok, amelyeket a korábban ismertetett hőtermelő és fogyasztási profilok szerinti adatokból kaptunk. Ezek alapján vizsgáltuk a helyben felhasznált napenergia, az akkumulátorból felhasznált villamosenergia és a hálózatból vételezett villamosenergia megoszlását a különböző típusú és kapacitású akkumulátorok esetén. Az általunk vizsgált akkumulátor változatok a 3. táblázatban láthatók.

Az SAM programban mindegyik típusú akkumulátornak beállítható a megfelelő elektrokémiai modell. Ehhez ismernünk kell az adott akkumulátor cellakiosztását, kapacitását, névleges, lemerült, teljesen feltöltött feszültség tartományait, a megengedhető töltési és merítési áramerősséget, az akkumulátor energiasűrűségét. Ezek alapján a program számítani tudja az adott akkumulátor élettartamát, ciklusszámát, a kisütési mélység mértékét és az akkumulátor hőmérsékletét is.

Az általunk felvett paraméterek a gyártó által megadott adatoknak megfelelően az 5 kWh kapacitású és különböző elektrokémiai típusú akkumulátorok esetén a 4. táblázatban találhatók.

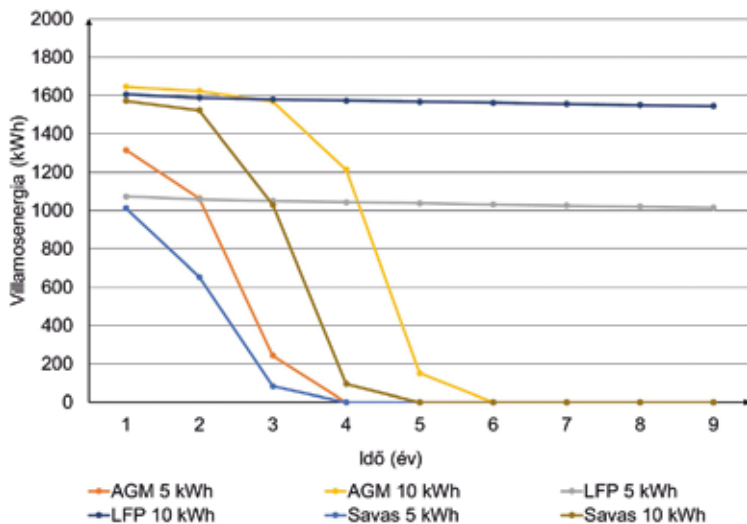
4. Eredmények

4.1. A különböző típusú akkumulátorok élettartamának vizsgálata

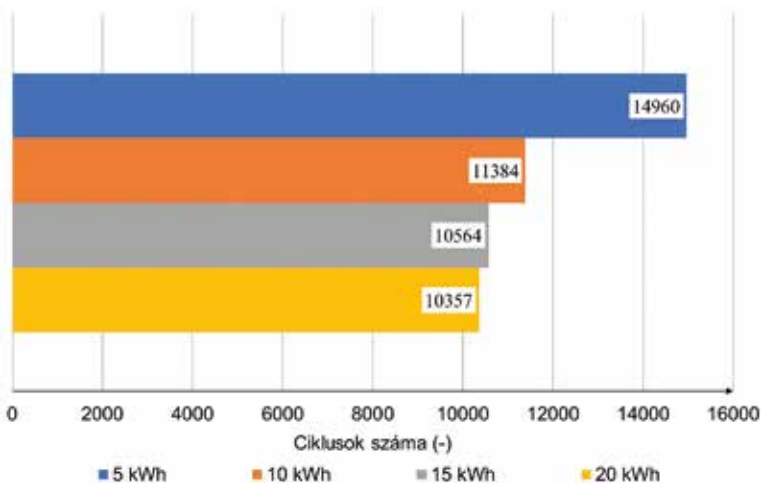
Szimulációnk során C1 fogyasztási profilt, szigetetlen épületet, hőszivattyús hőtermelést vizsgáltunk 300 literes hőtárolóval és fan-coil hőleadókkal. A következő oldalon látható 4. ábra szemlélteti, hogy savas akkumulátor esetén az élettartam rendkívül drasztikusan csökken, mindössze 4 évet bír ez a fajta akkumulátor és évről-évre jelentősen csökken a felhasználható kapacitása, ezáltal a belőle kivethető villamosenergia mértéke is.

4. táblázat. Az általunk felvett tulajdonságok az akkumulátor típusok függvényében

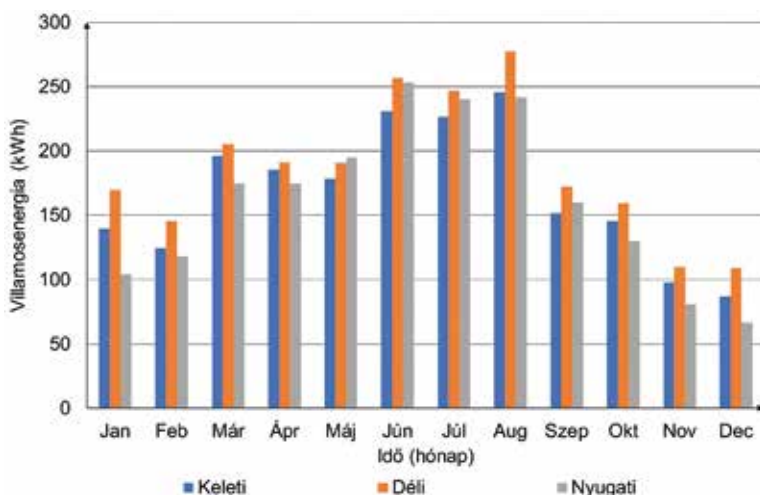
Elektrokémiai típus		Savas	AGM	LFP
Tervezett teljesítmény	kW	1,2	1,2	2,56
Tervezett kapacitás	kWh	5	5	5
Tervezett feszültség	V	48	48	51,2
Cella feszültség	V	12	12	3,2
Cella kapacitás	Ah	110	110	100
Cella ellenállása	Ohm	0,25	0,25	0,002
Lemerült állapotú feszültség	V	12	12	2,7
Névleges állapotú feszültség	V	12,7	13	3,2
Exponenciális feszültség	V	12,9	14,5	3,6
Feltöltött állapotú feszültség	V	13,2	14,8	3,7
Energiasűrűség	Wh/kg	60	43	56,26



4. ábra. Az akkumulátorokból felhasznált villamosenergia az évek során



5. ábra. A különböző kapacitású LFP akkumulátorok ciklus száma 10 év alatt



6. ábra. Az éves helyben felhasznált napenergia változása a különböző tájolások függvényében

Az AGM akkumulátoroknak mindössze 1 évvel több az élettartama, azaz 5 év, viszont a savas akkumulátorral szemben az első két évben közel ugyanannyi energiát tudunk kivenni belőle, majd drasztikusan elveszti a kapacitását. Az LFP akkumulátorok ezzel szemben közel konstans energiát tudnak szolgáltatni a teljes élettartamuk alatt, amely meghaladja a 30 évet is, amennyiben nincsen cellahiba. A kapacitások növekedésével az élettartamok csak kismértékben hosszabbodnak meg. Az ábrán szembevetve, hogy a 10 kWh LFP akkumulátorból éves szinten közel 600 kWh-val több villamosenergiát lehet kinyerni. Ennek oka, hogy a nyári napelemes csúcstermelést az 5 kWh-s kapacitással rendelkező akkumulátor nem képes felvenni, így kevesebb az akkumulátorba betárolt napenergia.

Az összes szimulációnk során azt tapasztaltuk, hogy az 5 kWh-s akkumulátor ciklusszáma jelentősen több a 10, 15, 20 kWh kapacitással rendelkező akkumulátorokhoz képest, viszont a 10, 15 és 20 kWh kapacitású akkumulátorok között nem tapasztaltunk ilyen mértékű ciklusszámbeli különbséget. Az akkumulátor gyártók sok esetben években vagy ciklusszámban adják meg a termékük garanciájának időtartamát, így egy 5 kWh-s akkumulátor esetén ez kevesebb idő alatt is letelhet. Ezt szemlélteti a **5. ábra**

A különböző eseteket vizsgálva és 5-10 kWh akkumulátorokat alapul véve, legjobb esetben is 5-6 év élettartamot kaptunk savasnál, amelyből 2-3 év számítható költségelemzésnél, a fentebb említett okok miatt. AGM esetén a teljes élettartam 5-7 év, viszont csak 4-5 év vehető figyelembe költségelemzés során. LFP akkumulátoroknál 30 éves szimuláció esetén is a 30. évben még névleges kapacitásuk 88-90 %-ával rendelkeztek, azonban cellahiba esetén cseréire vagy javításra szorulódnának.

Mivel az LFP akkumulátor bizonyul a leghosszabb élettartamúnak és közel azonos energiát lehet kivenni belőlük az évek során, ezért a továbbiakban ezzel a típussal foglalkozunk részletesebben.

4.2. A napelempanelék helyben felhasznált villamosenergia mennyiségét befolyásoló tényezők

A **6. ábra** mutatja a különböző tájolású napelempanelék esetén az éves helyben felhasznált villamosenergia mennyiségét. Az általunk vizsgált épület alapesetben déli tájolású, a diagramm alapján látható, hogy ebben az esetben a legmagasabb a helyben felhasznált villamosenergia mértéke. Minden egyéb tájolás esetén jelentősen kevesebb energiát tudunk hasznosítani. Keleti tájolást alkalmazva a téli hónapokban több villamosenergiát tudunk felhasználni helyben a nyugati tájoláshoz képest, azonban ez nyáron megfordul, amikor a nyugati tájolás esetén tudunk több villamosenergiát felhasználni helyben.

4.3. A különböző teljesítményű napelemeres rendszerek hatásai

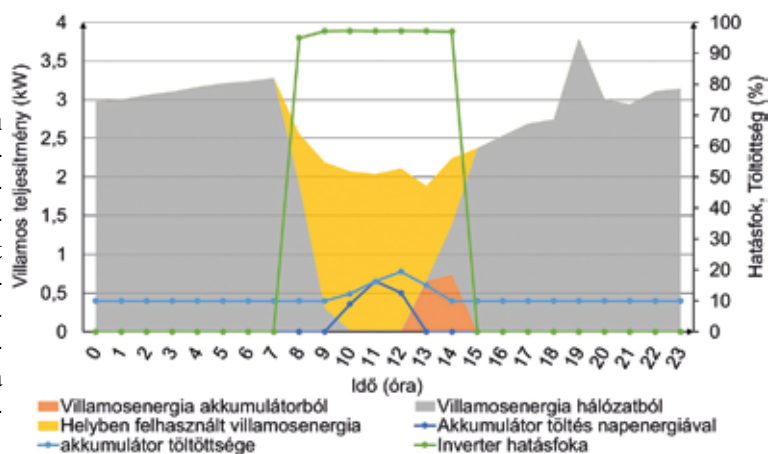
Az épület tetejére maximum 4 kWp teljesítményű napelem rendszer telepíthető, azonban az érdekeség kedvéért elméleti síkon vizsgáltuk, hogyan változik a helyben felhasznált napenergia, az akkumulátorból felvett villamosenergia és a hálózatról felvett villamos energia aránya a különböző beépített teljesítményű napelemeres rendszerek esetén. Vizsgáltuk továbbá, hogyan változik az elvesztett napenergia mennyisége a szaldós elszámoláshoz képest, ez a veszteség egyfelől az átalakításból származik, másfelől az akkumulátorok véges kapacitásából.

A 7. ábra és a 8. ábra mutatja a 4 és 8 kWp-es napelemrendszer téli villamosenergia megoszlását. A szimulált rendszer C1-es profillal, 10 kW hőszivattyús hőtermelővel, 300 literes hőtárolóval, fan-coil hőleadókkal és 15 kWp-es LFP akkumulátorral rendelkezik, a vizsgált időszak 20 év volt. Az ábrákon jelöltük az inverter hatásfokát és az akkumulátor töltöttségét is. Jól megfigyelhető, hogy a 8 kWp rendszernél a helyben felhasznált napenergia változatlan mértékű a 4 kWp-es rendszerhez képest, azonban az akkumulátorból felhasznált energia mértékében már igen jelentős az eltérés a két rendszer között, a 8 kWp-es javára. Mivel az akkumulátorból felhasznált villamosenergia mértéke növekedett és a helyben felhasznált napenergia mértéke változatlan, így a különbséget a hálózatról felhasznált villamosenergia mértékét csökkenti. A vizsgált időtartam alatt az inverter hatásfoka jelentős mértékben nem változott és nem ingadozott.

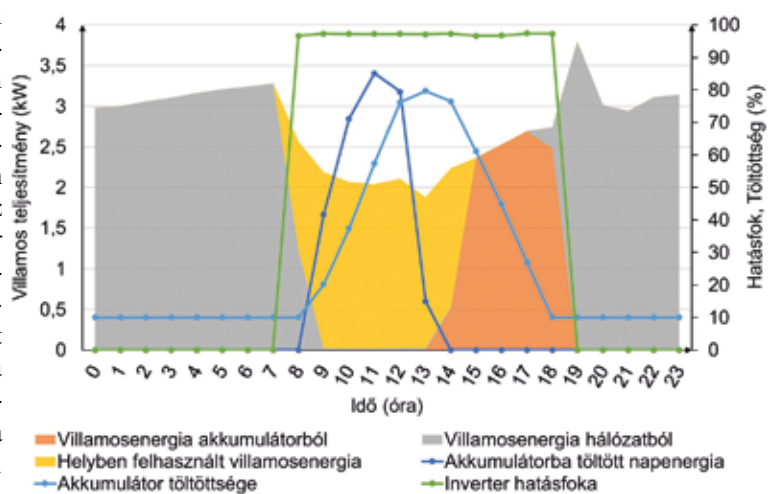
A 9. ábra és a 10. ábra (utóbbit lásd a következő oldal) nyári esetben mutatja az adott rendszerünket. Jól látható, hogy nyári esetben nincs szignifikáns különbség a 4 és 8 kWp-es rendszer között, mindkettő ki tudja szolgálni teljes mértékben az igényeket.

A 8 kWp esetén a helyben felhasznált napenergia mértéke nagyobb, viszont a 4 kWp-es rendszernél ezt a különbséget az akkumulátor könnyedén ki tudja egyenlíteni. Nyári esetben már feltűnő az inverter hatásfokának ingadozása, amelyet elsősorban az akkumulátor töltése és kisütése okoz. Jól megfigyelhető, ahogy csökkent az akkumulátor töltöttsége, úgy az inverter hatásfoka is csökkenni kezd. A C1 profil szépen kirajzolódik a vizsgált időtartam alatt. 20 és 2 óra között a hmv okozta csúcsot láthatjuk, ez reggel 5 és 7 óra között is megjelenik.

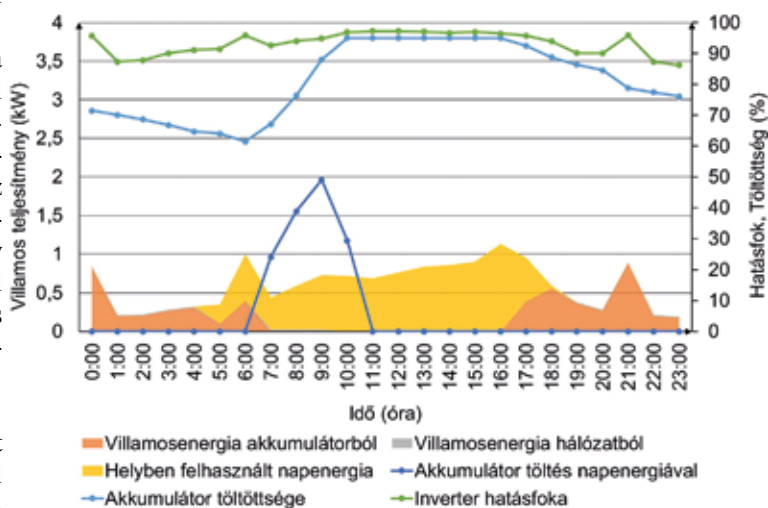
A helyben felhasznált napenergia mértéke között szignifikáns különbséget tapasztaltunk, főként a téli hónapokban. Ez köszönhető annak, hogy a hőszivattyú teljesítményfelvétele ekkor igen magas, így a nagyobb teljesítményű napelemeres rendszer könnyebben ki tudja szolgálni ezt a nagyobb teljesítmény igényt, míg tavasszal és ősszel a lecsökkent villamosenergia igények miatt kevesebb a különbség a beépített teljesítmények között a téli esethez viszonyítva. Nyári esetben, amikor



7. ábra. A villamosenergia megoszlása 4 kWp-es napelemrendszerénél télen

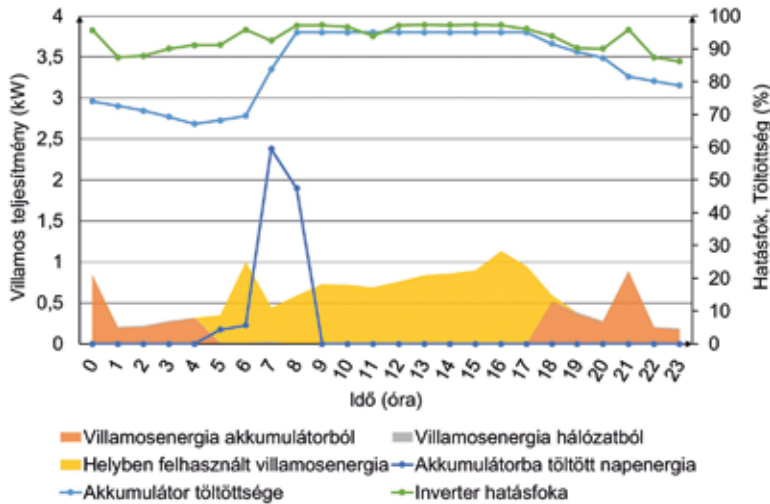


8. ábra. A villamosenergia megoszlása 8 kWp-es napelemrendszerénél télen

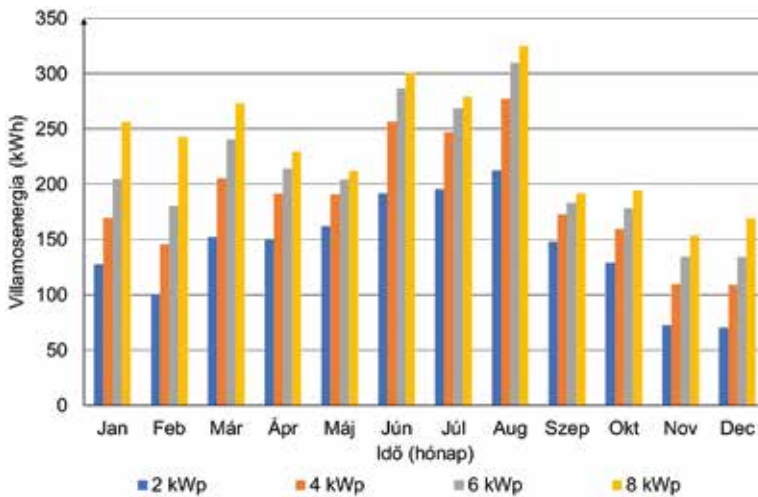


9. ábra. A villamosenergia megoszlása 4 kWp-es napelemrendszerénél nyáron

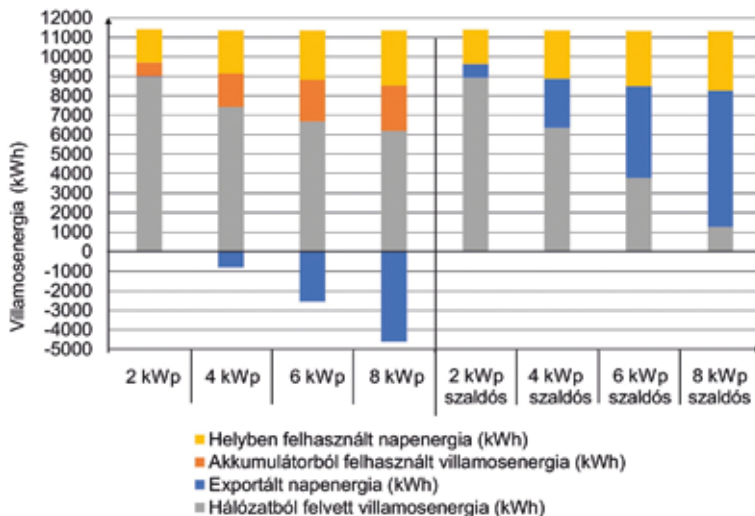
a hőség miatt a fogyasztási adatokban megjelenik a klíma igénye is, szintén nagy ugrást tapasztalhatunk, azonban a téli esettel szemben nyáron a 4, 6 és 8 kWp rendszerek között kisebb



10. ábra. A villamosenergia megoszlása 8 kWp-es napelem-rendszerénél nyáron



11. ábra. Éves helyben felhasznált napenergia a beépített napelemrendszer teljesítmények alapján



12. ábra. Az éves villamosenergia-források megoszlása 15 kWh LFP akkumulátor esetén, a beépített napelemrendszer teljesítményének függvényében

mértékű az eltérés. Ebből arra következtettünk, hogy nincs elegendő fogyasztási igény, így kihasználatlan marad a 6 és 8 kWp-es napelemrendszer teljesítménye, mivel a 2 kWp-hez képest mind három rendszer nagyot ugrik, tehát a 2 kWp teljesítmény kevésnek mondható ilyen fogyasztás esetén, ezeket a **11. ábra** mutatja be.

A különböző rendszereket összehasonlítottuk szaldós elszámolást és 0 kWh visszatáplálást feltételezve is, ezt a **12. ábra** mutatja. Azt tapasztaltuk, hogy a 2 kWp rendszer esetén nincsen elvesztett napenergia, mivel annyira kicsi a rendszer teljesítménye a 15 kWh akkumulátor kapacitáshoz és a villamosenergia fogyasztáshoz képest. Ezzel szemben 4, 6 és 8 kWp rendszereknél negatív értéként jelenik meg az exportált napenergia mennyisége, ez az a mennyiség, amelyet elveszítünk a betáplálási lehetőség hiányában. Ennek mértéke közel megegyezik a napelemes rendszerek éves termelésének különbségével, tehát a nagyobb teljesítményű rendszer nem tud jelentősen több energiát betáplálni akkumulátorba. Az ábra is jól mutatja, hogy a felhasználó szempontjából a szaldó a leggazdaságosabb megoldás, minél több beépített teljesítménnyel.

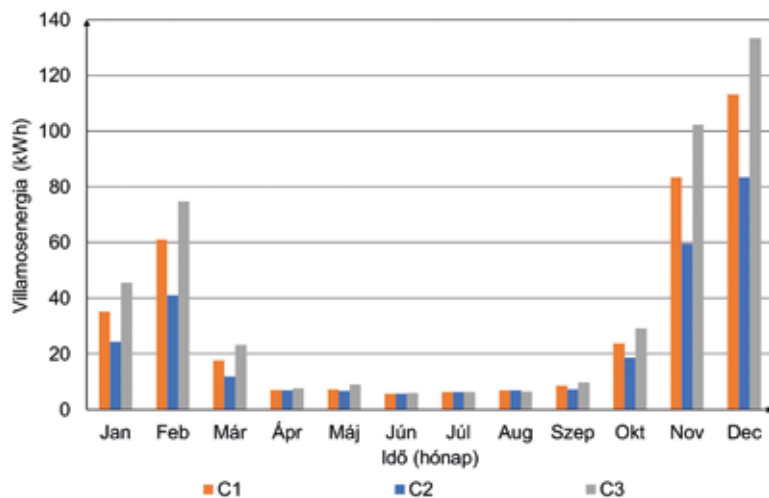
4.4. A különböző fogyasztási profilok hatásai

Mivel az általunk vizsgált 4-es típusú házra telepíthető napelemes teljesítmény maximum 4 kWp lehet, így a továbbiakban ezzel számoltunk.

A fogyasztási profilok hatásainak vizsgálatát rendkívül fontosnak tartottuk, mivel ezt az alapvető felhasználói szokások határozzák meg. A szimulációt szigetetlen épületre, kondenzációs kombi gázkazánt és 10 kWh LFP akkumulátort feltételezve végeztük el. Ebben az esetben a villamosenergia fogyasztást kizárólagosan csak a háztartásból származó fogyasztás alkotja. A CII fogyasztási profil esetén az akkumulátor éves töltöttségi állapota jelentősen nagyobb volt, köszönhetően annak, hogy a fogyasztási igény eltolva, főként a délutáni, esti órákban jelent meg és a teljesítmény igény sem volt magas, így az akkumulátor feltöltődhetett, amíg sütött a nap. Viszont a helyben felhasznált napenergia, éppen a délutáni csúcsigény miatt, a CII profil esetén jelentősen kisebb volt, mint a CI és CIII profilnál. A CII profil esetén az akkumulátor magas óraszámú töltöttsége miatt, többször lehetett használni, emiatt a DoD százalékosan itt nagyobb volt és ez okozza, hogy az akkumulátor kapacitásvesztése ennél a profilnál a legnagyobb.

A CI és CIII profilok éves energiafogyasztása jelentősen nagyobb, mint a CII profilé. Mivel téli esetben visszaesik a napelemes energiatermelés, ami miatt az akkumulátorok sem tudnak feltöltődni, ezért a hálózatról vételezett villamosenergia nagyon megnő.

Nyári esetben nincs a profilok között szignifikáns különbség. Ezeket a **13. ábra** szemlélteti.



13. ábra. Éves hálózathál felvett villamosenergia, a fogyasztási profilok alapján

5. Összefoglalás

Az akkumulátorok típusát tekintve jelentős eltéréseket tapasztaltunk a degradációt illetően. A savas akkumulátorok nagyon hamar tönkre mennek, élettartamuk 3-4 év, viszont csupán 1-2 évig tudnak egyenletesen energiát szolgáltatni. Az AGM akkumulátorok élettartama 5-6 év is lehet, de ezek az akkumulátorok is csak 3-4 évig tudnak közel azonos energiát szolgáltatni. Az LFP akkumulátorok élettartama a szimulációknál meghaladta a 30 évet is, a feltételezett paraméterek alapján és élettartamuk alatt végig konstans energiát tudtak szolgáltatni. A vizsgált peremfeltételek mellett, a szimulációink alapján az optimálisabb akkumulátor kapacitás 5 kWh lehet, ennek ára LFP típus esetén 1-2 millió Ft, míg ugyanekkora kapacitás Savas esetén 200-350 ezer Ft és AGM esetén 300-500 ezer Ft.

A fogyasztási profilok alapjaiban határozzák meg a napelemes rendszerből helyben felhasznált villamosenergia mennyiségét. A napelemes termelés időtartamához és mértékéhez igazított fogyasztás nagyobb helyben felhasznált napenergiát eredményez. A délutáni és esti órákra időzített fogyasztás nagyobb mértékben degradálja az akkumulátorokat.

A nagyobb kWp-es napelemrendszer elsősorban a téli hónapok során kamatozó, mivel ilyenkor kevés a napsütéses órák száma, nyáron kiegyenlítettébb a különböző rendszerek által nyújtott teljesítmény, mivel a fogyasztáshoz mérten jelentősen több a termelés. A nagyobb beépített napelemes teljesítmény jobban fel tudta tölteni az akkumulátorokat, így azonos fogyasztási profil esetén a helyben felhasznált napenergia mértéke is magasabb volt a nagyobb kWp-es rendszereknél, ez főként a téli hónapokban mutatkozott meg.

További kutatási terület lehet, hogy hogyan alakul a villamosenergia felhasználás, ha a fogyasztást a napelemes

energiatermeléshez illesztjük, ezáltal növelve a helyben felhasznált napenergia mértékét, ezt okos vezérléssel és okosépületek által tudjuk a legkönnyebben elérni. A visszatáplálás és akkumulátor nélküli napelemes rendszer megtérülésének vizsgálata a fogyasztási adatok alapján. Alaposabb fogyasztási és lefutási görbe vizsgálat, amelynek eredményeképpen meghatározható lenne egy háztartás számára szükséges akkumulátor kapacitás mértéke.

Köszönetnyilvánítás

A cikk a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával készült.

A kutatást a „Lakóépület állomány- és villamos energia modellek integrált fejlesztése és dekarbonizációs forgatókönyvek elemzése” című, K 142992 számú projekt is támogatta, amely a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a K_22 pályázati program finanszírozásában valósul meg”

Irodalomjegyzék

- [1] Energy Education, “Photovoltaic system,” 2022, Accessed: Oct. 22, 2022. [Online]. Available: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Photovoltaic_system
- [2] P. J. Kollmeyer and T. M. Jahns, “Aging and performance comparison of absorbed glass matte, enhanced flooded, PbC, NiZn, and LiFePO4 12V start stop vehicle batteries,” *J Power Sources*, Vol. 441, p. 227139, Nov. 2019, doi: 10.1016/J.JPOWSOUR.2019.227139.
- [3] P. Boonluk, S. Khunkitti, P. Fuangfoo, and A. Siritariwat, “Optimal siting and sizing of battery energy storage: Case study seventh feeder at nakhon phanom substation in Thailand,” *Energies (Basel)*, vol. 14, no. 5, 2021, doi: 10.3390/en14051458.
- [4] M. O. Qays, Y. Buswig, M. L. Hossain, and A. Abu-Siada, “Active charge balancing strategy using the state of charge estimation technique for a PV-battery hybrid system,” *Energies (Basel)*, Vol. 13, no. 13, 2020, doi: 10.3390/en13133434.
- [5] Off-grid Solar, “Akkumulátor C-ráta (C-rate),” 2022. <https://offgridsolar.hu/wiki/akkumulator-c-rata/> (accessed Dec. 02, 2022).
- [6] Csoknyai Tamás, Farkas János, Formanek László, Horváth Miklós, *Épülettípológia tanulmány*. Budapest, 2015.
- [7] CEN-CENELEC Management Centre “MSZ-EN-16798-1_2019,” 2019. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/b4f68755-2204-4796-854a-56643dfcfe89/en-16798-1-2019> (accessed Nov. 10, 2022).
- [8] Czétány László et al., “Development of electricity consumption profiles of residential buildings based on smart meter data clustering, *Energy and Buildings*. 252 (2021),” 2021. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111376> (accessed Nov. 10, 2022).