

Tartalomjegyzék

BEVEZETÉS.....	2
1. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	3
1.1. FOTOVOLTAIKUS ENERGIAPOLITIKA A VILÁGBAN	3
1.2. ÖNFOGYASZTÁS DEFINÍCIÓJA.....	8
1.3. AZ ÖNFOGYASZTÁSI MUTATÓKAT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK.....	10
1.4. AZ ÖNFOGYASZTÁS NÖVELÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI	12
1.4.1. <i>Fogyasztóoldali befolyásolás</i>	13
1.4.2. <i>Akkumulátoros tárolás</i>	13
2. NAPELEMES KISERŐMŰ MÉRETEZÉSE ÉS GAZDASÁGI ELEMZÉS.....	15
2.1. NAPELEMES KISERŐMŰ MÉRETEZÉSE	15
2.1.1. <i>Akkumulátoros tároló</i>	17
2.2. GAZDASÁGI ELEMZÉS.....	18
2.2.1. <i>Napelemes rendszer statikus megtérülése tároló nélkül</i>	19
2.2.2. <i>Tároló statikus megtérülése</i>	19
2.2.3. <i>Dinamikus számítások, diszkontált megtérülési idő</i>	21
IRODALOMJEGYZÉK	25

Bevezetés

A megújuló energiaforrások kulcsszerepet játszanak a biztonságon, függetlenségen és fenntarthatóságon alapuló energiapolitika meghatározásában. Magyarországon jelenleg az ipari létesítmények villamosenergia fogyasztásának csökkentésére kialakított napelemes kiserőművek nem termelhetnek vissza a hálózatra, tehát visszatáplálás elleni védelemmel kell ellátni őket. Ez a kikötés nagyban kihat az egész beruházás megtérülési idejére.

Kutatási munkám során a PV önfogyasztás optimalizálásának területét járom körbe, az energiatárolási és fogyasztóoldali befolyásolási lehetőségek feltárása mellett, amelyek a fenntartható energiagazdálkodás meghatározó elemei. A kutatásomban valós adatok elemzését és modellezési technikákat alkalmazok a PV önfogyasztás hatékonyságának növelésére irányuló stratégiák feltárására. Az energiatároló rendszerek, a fogyasztóoldali befolyásolás és az intelligens hálózati technológiák integrálásával ismertetem és értékelem a napenergia helyben történő felhasználásának és tárolásának hatékony kombinációit. Az eredmények nemcsak gazdasági előnyöket, hanem a fosszilis tüzelőanyagoktól való függőség csökkentésével jelentős környezeti előnyöket is feltárnak.

Dolgozatomban az irodalmi áttekintést követően konkrét fogyasztási adatok kiértékelésével vizsgálom a fent említett eszközök legoptimálisabb kombinációit, a viszwatt veszteség minimalizálására. A napelemes rendszerek önfogyasztásának optimalizálásával nemcsak a vállalkozások OPEX költségeit tudjuk csökkenteni, hanem hozzájárulunk a fenntartható energetikai jövőhöz is, mérsékelve a szén-dioxid-kibocsátást a hálózat nagyobb volumenű terhelését kiküszöbölve.

1. Irodalmi áttekintés

Az éghajlatváltozás kezelése és az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése gyors átállást igényel a fenntartható, megfizethető és biztonságos villamosenergia-termelő rendszerekre. A napenergia alkalmazásának előmozdítása nemcsak a szén-dioxid-kibocsátás csökkentését segíti elő, hanem a gazdasági növekedést és a munkahelyteremtést is ösztönzi a megújuló energiaágazatban.

Dolgozatom első részében irodalmi összefoglalásként először a napelemes rendszerek energiapolitikai helyzetét vizsgálom világviszonylatban, majd az önfogyasztás megfogalmazására és növelési lehetőségeire helyezem a hangsúlyt.

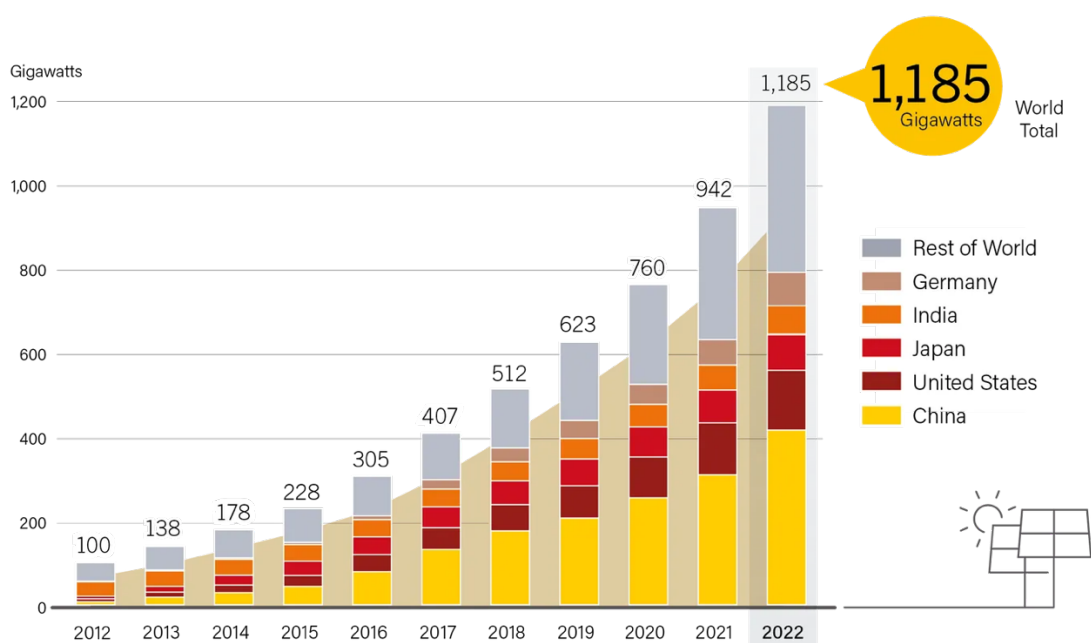
1.1. Fotovoltaikus energiapolitika a világban

A kormányok különböző módszerekkel ösztönözhetik a vállalatokat és magánszemélyeket, hogy napelemes beruházásokba fektessenek, még akkor is, ha ezek megtérülési ideje esetlegesen hosszabb időtáv, mint amit a vállalatok átlagosan bevállalnak. Például adókedvezmények, kedvezmények, támogatások és alacsony kamatozású kölcsönök nyújtása a PV-rendszerek telepítésének kezdeti költségeinek csökkentése érdekében. Vagy olyan átvételi tarifák bevezetése, amelyek fix, a piaci árat meghaladó árat garantálnak a napelemes rendszerek által termelt energiáért. Ez kiszámítható bevételi forrást biztosít a vállalkozások számára, ami vonzóbbá teszi a napelemes beruházásokat. További lehetőségként merül fel a fotovoltaikus létesítmények engedélyezési eljárásainak egyszerűsítése és felgyorsítása. Ez csökkenti az adminisztratív terheket, és csökkentheti a rendszerek üzembe helyezésének idejét és költségeit. Ezek és ezekhez hasonló stratégiák kombinációjának végrehajtásával a kormányok kedvező környezetet teremthetnek a vállalatok számára, hogy beruházzanak a PV-rendszerekbe, elősegítve ezzel a megújuló energiaforrások még nagyobb térhódítását.

Több ország 2022-ben intézkedéseket jelentett be a tetőtéri fotovoltaikus rendszerek részarányának növelésére az energiapiaccon. A lakossági rendszerek ösztönzése érdekében Norvégia például 15 kW-ról 20 kW-ra emelte a telepített kW-onként adható maximális támogatást, valamint a visszatérítésre jogosult rendszer maximális méretét. Németország 0%-ra csökkentette a hozzáadottérték-adót (HÉA) a legfeljebb 30 kW méretű lakossági PV-rendszerek esetében, és adómentességet biztosított a háztartási méretű napelemes rendszerek üzemeltetői számára. Belgium csökkentette az elmúlt tíz évben épült épületeken telepített fotovoltaikus berendezések és hőszivattyúk hozzáadottérték-adóját. Olaszország könnyítette a háztartási méretű PV-rendszerekre vonatkozó engedélyeztetést, és egyszerűsítette a 200

kW-ig terjedő kereskedelmi rendszerek engedélyezési eljárását. Portugália és Spanyolország is egyszerűsítette az engedélyeket az beruházások ösztönzése érdekében, az osztrák kormány pedig 2022-re több mint négyszeresére növelte a tetőkre telepített napenergia kedvezményprogramjának költségvetését. [19]

A kínai piac által alkalmazott politika ambiciózus. Célja az volt, hogy 2015-re 35 GW, 2020-ra pedig 100 GW kumulatív beépített kapacitást érjen el, ami az 1. ábráról leolvashatóan jócskán sikerült túlteljesíteni. A fejlesztési politikák különböző típusú ösztönzőket biztosítanak. A kínai vállalatok behatolnak a külföldi piacokra; a vállalatok azonban kevés K+F-kezdemenyezésről számolnak be.



1.ábra: Beépített napelemes teljesítmény növekedése [19]

A kínai napelemes piac 2022-ben példátlan növekedést mutat, a becslések szerint 106 GW-tal, azaz mintegy 93%-kal többet telepítettek, mint 2021-ben. Összességében a kínai piac 2022-ben 35,5%-kal nőtt, és elérte a 414,5 GW kumulatív kapacitást, amelyből 165,8 GW (40%) az elosztott termelésből és 248,7 GW (60%) a központosított erőművekből származik.

A teljes villamosenergia-termelés (minden forrásból) 3,6%-kal nőtt Kínában, míg a napelemes villamosenergia-termelés 27,8%-kal, 418 TWh-ra emelkedett. Az ország teljes villamosenergia-igénye 2022-ben elérte a 8 840 TWh-t, aminek 4,7%-át a napelemes rendszerek adják. [9],[19]

Japán arra összpontosította figyelmét, hogy 30%-kal csökkentse a jelenleg nukleáris forrásokból előállított energia mennyiségét. A megújuló erőforrások használatának

előmozdítása érdekében nagyvonalú ösztönzőrendszereket biztosítottak. A fotovoltaikus iparágat FiT (Feed-in Tariff azaz átvételi díjszabás) és alacsony kamatozású kölcsönökkel támogatják. A Tokióban bejelentett új napelemes megbízás szerint 2025-től minden új otthonra és épületre tetőtéri napelemet kell telepíteni. Az ország fejlett ipari ágazattal rendelkezik; kockázatot jelent azonban a nem megfelelő elektromos hálózat, amely hamarosan elérheti a telítettségi szintet.

Thaiföldön 2016-ban a kormány megszüntette a tetőtéri napelemes rendszerekre vonatkozó támogatási programot, mivel a tetőtéri napelemes rendszerek beruházási költségei eléggé lecsökkentek ahhoz, hogy a támogatást megszüntessék. Ugyanezen év elején a Nemzeti Reformbizottság átfogó keretet javasolt a nettó mérési rendszer elfogadására, amely kimondta, hogy a kormánynak ösztönöznie kell a tetőtéri fotovoltaikus villamos energia öntermelését, önfogyasztását, és a tetőtéri fotovoltaikus rendszerek többlettermelését nettó mérés formájában kell kompenzálni. Nem készült azonban olyan részletes tanulmány és kutatás, amelyből részletes szakpolitikai tervezetet és kompenzációs mechanizmust lehetett volna kidolgozni. Ráadásul a különböző érdekelt felek eltérően értelmezték a "nettó mérés" fogalmát. Nem volt világos, hogy milyen különböző kompenzációs mechanizmusokat lehetne alkalmazni a tetőtéri fotovoltaikus önfogyasztás támogatására. [9],[17],[19]

A megújuló energiaforrások tekintetében az USA 2015-re 10%-os, 2020-ra pedig 20%-os részarányt tűzte ki célul. A szabályozási keretrendszer különösen széttagolt; minden egyes állam változatos FiT-t és kedvezményrendszert biztosít. A kínai termékekre kivetett vámok és a tárolórendszerek létesítményeinek biztosítása várhatóan ösztönzi a hazai paneltermelést.

Az ország a 2022-es év során 18,6 GW-tal bővítette kapacitását, ami 16%-os csökkenést jelent a 2021-es szinthez képest, de a kumulatív kapacitás így is elérte a 141,6 GW-ot. A negyedik egymást követő évben a napenergia volt az USA hozzáadott energiatermelési kapacitásának vezető forrása, amely a 2022-ben üzembe helyezett teljes kapacitás rekordmennyiségű felét tette ki. [9],[19]

A piacot jellemzően az európai országok uralták, 2013-ban azonban rekordot jelentő három Európán kívüli ország volt a legnagyobb napenergia-szolgáltató (USA, Kína és Japán). Majd ez a tendencia India és Brazília erőteljes iparági fejlődésével csak még jobban megerősödött.

Európa 2022-ben 40,5 GW-tal növelte a napelemes energiatermelést, és ezzel elérte a 206 GW beépített kapacitást, ami újabb kiemelkedő növekedési évet jelent. Az EU-27 új telepítései értékék a 38,9 GW-ot, ami 63%-kal több, mint a 2021-ben hozzáadott 25,9 GW.

2022 elején az EU az orosz fosszilis gázra való rászorultságának csökkentésére és a megújuló energiaforrások kiépítésének felgyorsítására irányuló terv részeként bejelentette, hogy több mint 20%-kal felgyorsítja a 2030-ra kitűzött 420 GW-os napelemes célt. A legnagyobb uniós bővítések Spanyolországban (8,1 GW), Németországban (7,5 GW), Lengyelországban (4,9 GW), Hollandiában (3,9 GW) és Franciaországban (2,9 GW) történtek, míg a teljes kapacitás tekintetében Németország, Spanyolország, Olaszország, Franciaország és Hollandia állt az élen. [4], [19]

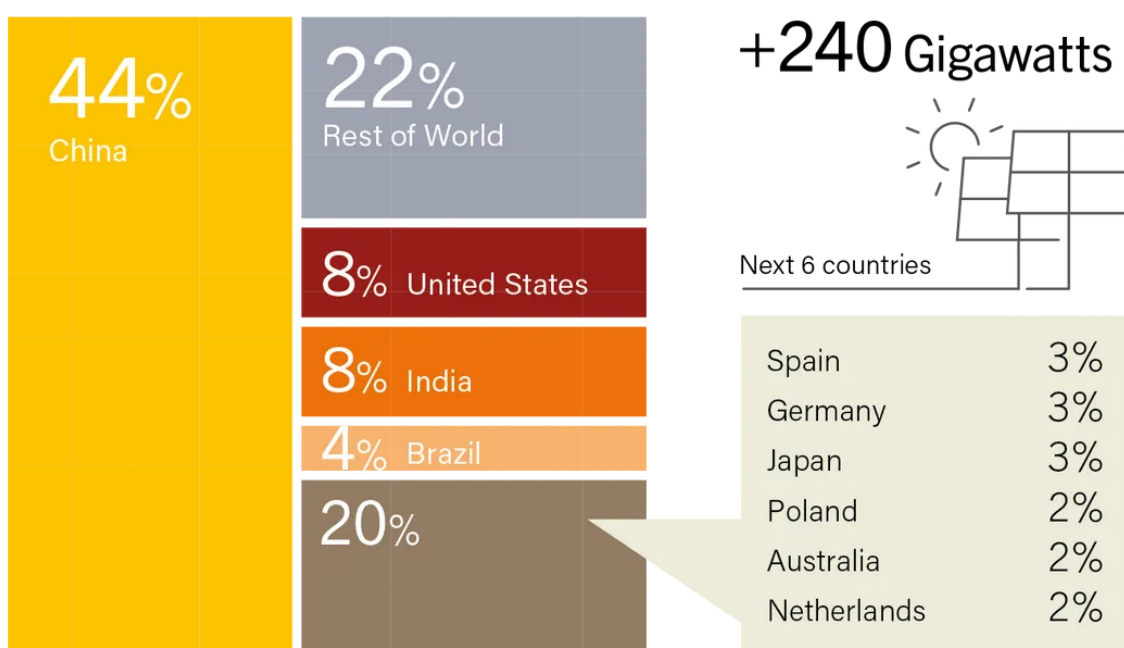
A német piac a fotovoltaikus ágazat vezetője. Az ország célja, hogy 2025-re a teljes energiamixben 40-45%-ban megújuló forrásokból származó energiát termeljen. Az ösztönzőrendszer a FiT-en alapul, és 2013 óta kínálnak tárolórendszereket. Bár az országon belül létezik az ipari termelési lánc, Olaszországhoz hasonlóan importált napelemekre van szükségük.

Az Orosz Föderáció ukrajnai inváziója felkavarta a német energiapiacot, ami arra készítette a kormányt, hogy 2022-ben kiadja a megújuló energiákat támogató módosításokat a következő évekre. Az energiabiztonság javítása és az éghajlat-semlegesség előmozdítása érdekében Németország gyorsító programot (a hűsvéti csomagot) fogadott el, amely felülvizsgálta az energiatörvényeket és új intézkedéseket javasolt, többek között magasabb betáplálási tarifa (FIT) díjakat, a 10-30 kW-os saját fogyasztású rendszerek FIT-pótdíjának eltörlését, valamint az aukciós küszöbérték 1 MW-ra történő emelését (korábban 300 kW a tetőkre és 750 kW a földre telepített rendszerek esetében).

Németországban a napelemes kapacitás bővítése 2022-ben csaknem 50%-kal nőtt, ami jóval meghaladja a 2021-ben mért 8%-os növekedési ütemet, és a teljes telepítés elérte a 67 GW-ot. A német piacot elsősorban a több mint 3 GW-os pályázatok hajtották. A villamosenergia-vásárlási megállapodások (PPA-k) is szerepet játszottak, a nem támogatott létesítmények mintegy 872 MW hozzáadott kapacitást tettek ki. 2022-ben a naperőművek a 2021-es 9,8%-hoz képest 2022-ben rekordmennyiségű, 11,8%-kal járultak hozzá a németországi villamosenergia-termeléshez. [9],[19]

Olaszországban az ösztönző rendszer elfogadása 2011-ben jelentős ágazati növekedést eredményezett. 2013 óta azonban hiányoznak a FiT típusú ösztönző rendszerek. A jelenlegi ösztönző politikák a lakossági szektorra vonatkozó adókedvezmények rendszerén alapulnak. Az olasz piacra összpontosítva a következőkre derül fény: Országos szinten a PV-forrásokból származó villamos energia a nemzeti villamos energia 8%-át, a nemzeti fogyasztás 7%-át tette ki (2010-ben mindkét érték 1% alatti szinten volt)

Spanyolország 2022-ben mintegy 8,1 GW napelemes rendszerrel bővült, 65%-kal többel, mint 2021-ben (4,9 GW), így az ország teljes kapacitása 26,6 GW-ra nőtt. A telepítések között 4,3 GW közüzemi méretű és 2,7 GW saját fogyasztásra szánt elosztott PV-rendszerek voltak. Az önfogyasztás keretében megvalósuló új létesítmények mintegy 47%-át az ipari szektorban, 32%-át a lakossági szektorban és 20%-át a kereskedelmi szektorban telepítették. Spanyolország közüzemi méretű PV-piacát továbbra is a nem támogatott HTM-ek hajtották, míg a tetőtéri PV-piacot, amely 2022-ben folyamatosan, mintegy 102%-kal nőtt, a magas villamosenergia-árak hajtották. Spanyolország most potenciális túlkapacitási kihívással néz szembe, ami szükségessé teszi a hálózatbővítésbe és az energiatárolásba történő beruházásokat.



2. ábra: Napelemes kapacitásbővítések 2022-ben, a Top 10 ország és a világ többi részének részesedése [19]

Lengyelország 2022-ben új belépő volt a top 10 napelemes telepítők listáján, 4,9 GW-tal, azaz közel 50%-kal többet telepített, mint 2021-ben (3,3 GW). A lakossági prosumerek az új kapacitás mintegy 80%-át képviselték, amit a vonzó nettó mérési rendszer és az emelkedő villamosenergia-árak motiváltak. A háztartási létesítmények megugrása azonban kihívások elé állította az elosztóhálózatot, és 2022 áprilisában Lengyelország a nettó mérési rendszert nettó számlázással váltotta fel, ami a háztartások számára valamivel kevésbé vonzó lehetőség.

Az Egyesült Királyságban az összes alacsony szén-dioxid-kibocsátású villamosenergia-termelő technológia közül a napelemes technológia kapja a legnagyobb állami támogatást,

és várhatóan 2025-re a szárazföldi szélenergia-termelés mellett ez lesz a legolcsóbb villamosenergia-termelés. 2017 áprilisáig több mint 12 GW fotovoltaikus rendszert telepítettek, amelyből nagyjából 2,5 GW származik az otthonokhoz és kisvállalkozásokhoz kapcsolódó kis, <4 kW-os egységekből, további 4 GW pedig a 4 kW és 5 MW közötti nagyobb egységekből. A tendencia egyértelmű: a fotovoltaikus rendszerek jelentős mértékben hozzá fog járulni az Egyesült Királyság villamosenergia-ellátásához, és a napenergia-kapacitás jelentős része nagymértékben elosztott lesz.

Az itt alkalmazott ösztönző rendszerek a FiT és a Contracts for Difference (CfD) az 5 MW feletti ipari energiarendszerek esetében. A kedvezőtlen időjárási körülmények az Egyesült Királyságban - a többi bemutatott országtól eltérően – jelentős számítási tényezőt jelentenek. [9],[11],[19]

Magyarországon a fent prezentált országok energiapolitikájával ellentétben a napelemes rendszerek helyzete nem egyszerű. A MAVIR által közölt adatok szerint július 1-jével átlépte az 5000 MW-ot a hazai ipari és háztartási méretű napelemes rendszerek összes beépített kapacitása. Ám a háztartási méretű kiserőművek új elszámolási rendszer kialakítása alatt vannak, az ipari fogyasztók saját villamosenergia fogyasztásának csökkentése érdekében telepített 50 kW teljesítményt meghaladó onsite napelemes kiserőműveket pedig visszawatt védelmi rendszerrel kell ellátni. Mindezen intézkedések első számú oka feltehetően a magyar villamos hálózat bővítésre szoruló állapota, de politikától függetlenül a napelemes rendszerek önfogyasztásának vizsgálata rendkívül releváns. [23]

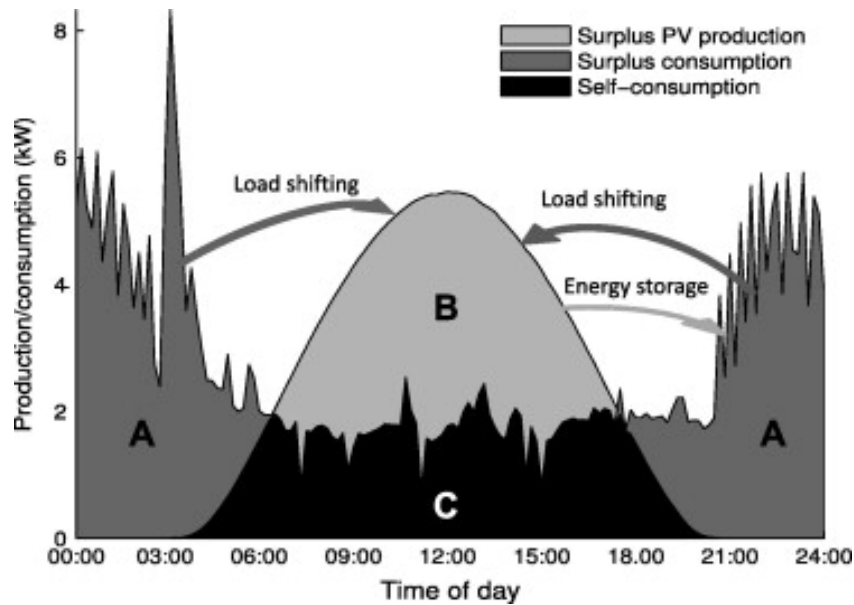
1.2. Önfogyasztás definíciója

A napelemes rendszerek tulajdonosai és a tudományos közösség körében egyre nagyobb az érdeklődés a hálózatra csatlakoztatott lakossági rendszerekből származó villamos energia önfogyasztása iránt. Az önfogyasztás a teljes PV-termelésnek a rendszer tulajdonosa által közvetlenül elfogyasztott részeként határozható meg. Mivel több országban csökkent a fotovoltaikus villamos energia támogatása – köztük Magyarországon is, a megnövekedett önfogyasztás növelheti a fotovoltaikus rendszerek nyereségét és csökkentheti a villamosenergia-elosztó hálózat terhelését. [3], [9]

Ebben a fejezetben az önfogyasztás formálisabb meghatározása, valamint néhány releváns mérőszám-típus áttekintése és megvitatása történik. A mérőszámokat befolyásoló legfontosabb tényezők áttekintése és értelmezése is szerepel.

Az 3. ábra a helyszíni PV-termelés és energiafogyasztás teljesítményprofiljának vázlatos rajzát mutatja. Az A és B területek a teljes nettó villamosenergia-igényt, illetve -

termelést jelentik. A C terület átfedő része a közvetlenül az épületen belül felhasznált PV-teljesítmény. Ezt néha abszolút önfogyasztásnak nevezik. Az önfogyasztás alatt azonban leggyakrabban a teljes termeléshez viszonyított önfogyasztott részt értik, ami az 3. ábra egyszerűsített nómenklatúrájában ez lenne:



3. ábra: PV-termelés és energiafogyasztás teljesítményprofilja [9]

A napi nettó terhelés (A + C), a nettó termelés (B + C) és az abszolút önfogyasztás (C) vázlatos ábrázolása egy épületben, ahol a helyszínen található fotovoltai rendszer. Az ábra az önfogyasztás növelésére szolgáló két fő lehetőség (terhelésáthelyezés és energiátárolás) funkcióját is jelzi.

$$\text{Önfogyasztás} = \frac{C}{B + C}$$

A teljes terheléshez viszonyított önfogyasztás szintén általánosan használt mérőszám. Számos jelölést javasoltak rá, és nincs konszenzus a közös elnevezést illetően. A többség önellátásként hivatkozik rá, mert ez egyértelműen kifejezi, amit a metrika mutat - azt, hogy a helyszíni termelés milyen mértékben elegendő az épület energiaszükségletének kielégítésére -, másrészt azért, mert angol nyelven szimmetrikus az önfogyasztás szóval. [9]

$$\text{Önellátás} = \frac{C}{A + C}$$

Az önfogyasztás formálisabb meghatározásához jelöljük az épület pillanatnyi energiafogyasztását $L(t)$ és a pillanatnyi helyszíni PV energiatermelést $P(t)$. A helyben felhasznált energiatermelés a terhelés és a termelési profilok közül a legkisebb, ami a következőképpen fejezhető ki:

$$M(t) = \min\{L(t), P(t)\}$$

ahol $M(t)$ a termelési és terhelési profilok pillanatnyi átfedése. Az épületben lévő energiatárolás (akkumulátor vagy hőtároló) esetén ez kiterjeszhető a következőkre

$$M(t) = \min\{L(t), P(t) + S(t)\}$$

ahol $S(t)$ a tárolóegységbe érkező és onnan származó teljesítmény, ahol $S(t) < 0$ töltéskor és $S(t) > 0$ kisütéskor. Ez figyelembe veszi az energiatároló töltéséből, tárolásából és kisütéséből eredő veszteségeket. Az önfogyasztás és az önellátás így határozható meg:

$$\varphi_{sc} = \frac{\int_{t=t_1}^{t_2} M(t) dt}{\int_{t=t_1}^{t_2} P(t) dt}$$

$$\varphi_{ss} = \frac{\int_{t=t_1}^{t_2} M(t) dt}{\int_{t=t_1}^{t_2} L(t) dt}$$

Az önfogyasztás és az önellátás közötti kapcsolat tehát:

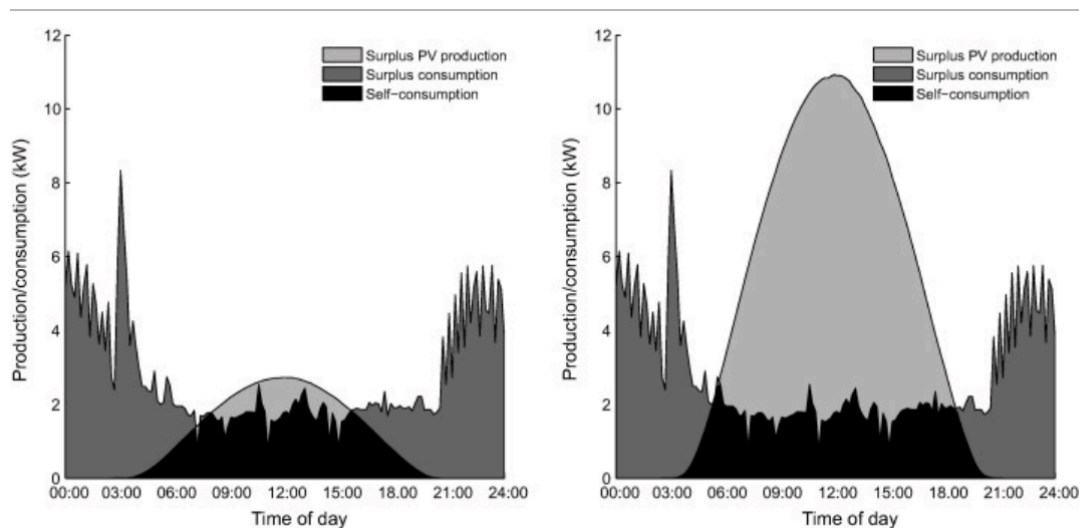
$$\frac{\varphi_{sc}}{\varphi_{ss}} = \frac{\int_{t=t_1}^{t_2} L(t) dt}{\int_{t=t_1}^{t_2} P(t) dt}$$

Ez az egyenlet többek között lehetővé teszi az önfogyasztás és az önellátás közötti átváltást, ha a teljes terhelés és a termelés, vagy legalábbis a kettő közötti arány adott. A tipikus integrációs időszak egy év, ami elég hosszú ahhoz, hogy figyelembe lehessen venni a szezonális változásokat, és minimálisra lehessen csökkenteni a termelés és a kereslet rövid távú véletlenszerű ingadozásainak hatását. [9] [11]

1.3. Az önfogyasztási mutatókat befolyásoló tényezők

A napelemes rendszer önfogyasztásának növelése érdekében több stratégia és módszer létezik. Az önfogyasztás javítása segít az energiahatékonyságban, csökkenti az energia számlát és környezetbarát módon hasznosítja a napenergiát.

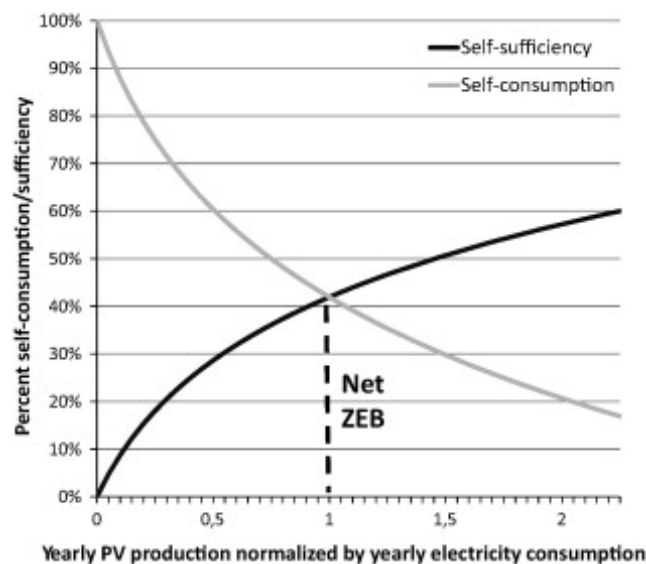
Az önfogyasztás a fenti meghatározás szerint a teljes energiatermeléssel, az önellátás pedig a teljes energiaigénnyel van normalizálva. Ezért a PV rendszer termelésének a kereslethez viszonyított növelése mindig csökkenti az önfogyasztást, míg az önellátás nő vagy változatlan marad, ahogyan ezt a 4. ábra jól szemlélteti. A teljesítményigény relatív növekedése esetén ez fordítva is igaz. A helyszíni termelés és a kereslet közötti tökéletes éves egyensúlyt biztosító nettó ZEB egy speciális eset, ahol az önfogyasztás mindig megegyezik az önellátással, melyet a 5. ábra mutat be.



4.ábra: Alul- és túlméretezett napelemes rendszer ugyanazon fogyasztási adatokkal [9]

A 4. ábrán egy alacsony (balra) és egy magas (jobbra) névleges teljesítményű PV-rendszer látható, amely ugyanazt az épületterhelést látja el. Míg az abszolút önfogyasztás (kWh-ban mérve) hasonló marad, a relatív önfogyasztás (az abszolút önfogyasztás és a teljes PV-termelés hányadosaként mérve) csökken, amikor a rendszer névleges teljesítménye nő.

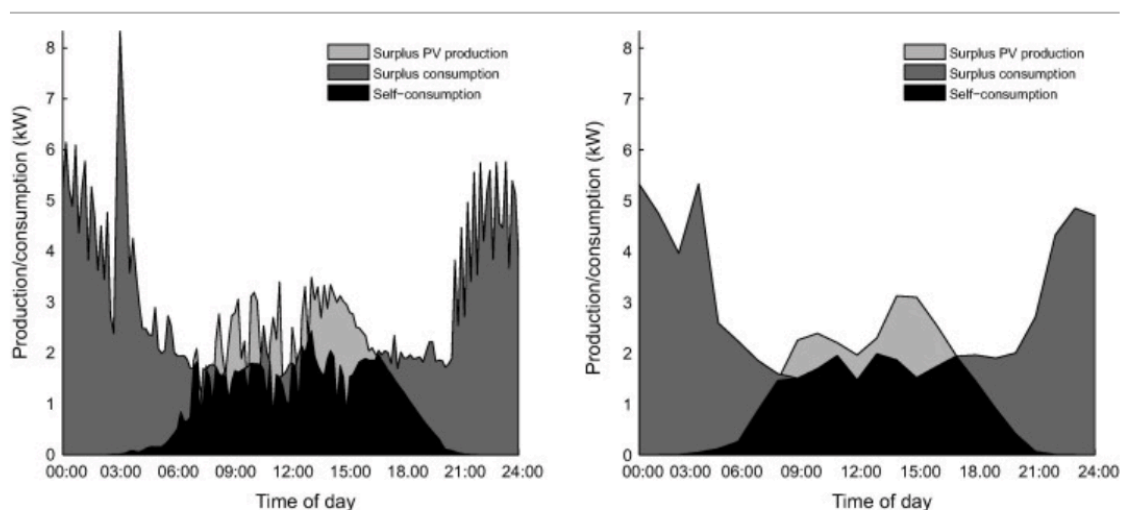
A 5. ábra példa az önellátás és az önfogyasztás közötti kapcsolatra. A nettó nulla energiafelhasználású épületek (Net ZEB) esetében az önfogyasztás és az önellátás egyenlő.



5. ábra: Önellátás és önfogyasztás kapcsolata [9]

Számos gyakorlati helyzetben egy épület önfogyasztását az átlagos energiatermelés és -igény diszkrét adatsoraiból, jellemzően óránkénti értékekből határozzák meg. Az alacsonyabb felbontás mindig az önfogyasztás túlbecsléséhez vezet, mivel a termelési és terhelési profilok közötti eltérést okozó ingadozásokat az átlagolás kiegyenlíti, lásd a 6.

ábrát. Több korábbi tanulmány is vizsgálta az időbeli felbontás hatását a helyszíni termeléselemzésekre. Általános következtetésnek tűnik, hogy az egyes épületek esetében szubórás adatokra van szükség, különösen a nagy csúcsteljesítmények viselkedésének megragadásához. [9] [11] [13]



6. ábra: Példa a fotovoltaikus önfogyasztás különbségére 10 perces (balra) és óránkénti (jobbra) adatok felhasználásával.

1.4. Az önfogyasztás növelésének lehetőségei

Két lehetőség szerepel az önfogyasztás növelésére, nevezetesen az energiatárolás és a terheléskezelés, más néven a fogyasztóoldali befolyásolás (DSM). A legtöbb tanulmány a PV-akkumulátoros rendszereket vizsgálja, néha DSM-mel kombinálva. Az eredmények azt mutatják, hogy a relatív önfogyasztás 13-24 százalékponttal növelhető a telepített kW PV-teljesítményenként 0,5-1 kWh akkumulátorkapacitással, és 2-15 százalékponttal a DSM-mel, mindkettő az eredeti önfogyasztási arányhoz képest. [9]

A fotovoltaikus rendszerek önfogyasztásának növelési lehetőségeit az 1. táblázat mutatja be. Az önfogyasztás növelésére két módszert alkalmaznak, nevezetesen az energiatárolást és a terheléskezelést. Ezek a technikák külön-külön vagy kombinálva is alkalmazhatók. A terhelésmenedzsment a továbbiakban a fogyasztóoldali befolyásolás (DSM) tágabb fogalmába tartozik. Az egyes lehetőségek részletesebb leírása az alábbiakban található. [4]

1. Táblázat: Fotovoltaikus rendszerek önfogyasztásának növelési lehetőségei

Módszer az önfogyasztás növelésére	A technológia leírása
<i>Akkumulátoros tárolás</i>	<i>PV-rendszer energiatároló akkumulátorokkal felszerelve a fotovoltaikus villamos energia felhasználásának optimalizálása érdekében</i>
<i>DSM</i>	<i>Az épületek rugalmas elektromos terheinek áthelyezése a napelemes termelés kihasználásának optimalizálása érdekében</i>
<i>DSM és akkumulátoros tárolás</i>	<i>A napelemes rendszer akkumulátortárolóval és keresletoldali menedzsmenttel kombinálva a PV energiafelhasználás optimalizálása érdekében.</i>
<i>Alternatív és kombinált tárolási módszerek</i>	<i>Hő- vagy hidrogéntárolás, amely kombinálható akkumulátortároló rendszerrel</i>

1.4.1. Fogyasztóoldali befolyásolás

Az energiarendszer rugalmas erőforrásainak, például a napelemes (fotovoltaikus) energiatermelésnek, a tárolásnak és a keresletszabályozásnak a használata egyedülálló megoldást kínálhat a teljes energiarendszer biztonságának és stabilitásának növelésére, gazdasági előnyökkel járhat, és lehetővé teheti az alacsony szén-dioxid-kibocsátású átmenet megvalósítását.

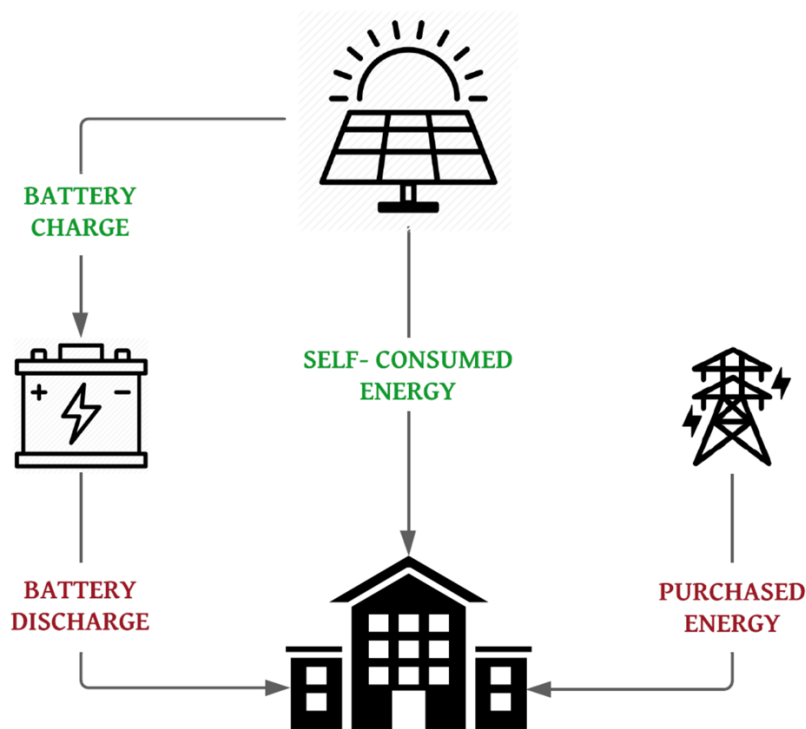
A fogyasztóoldali befolyásolás (DSM) a fogyasztók energiahatékonyságának hosszú távú növelésére szolgáló proaktív módszer, amely csökkentheti mind a villamosenergia-csúcsteljesítményigényt (kW), mind a villamosenergia-fogyasztást (kWh). A legjelentősebb DSM-módszerek közé tartozik a csúcsterhelés csökkentése (peak clipping vagy peak shaving), a terhelés csúcsidőszakról csúcsidőszakra kívülré való áthelyezése (load-shifting), a terhelés rugalmasságának növelése (flexible load shape) és az energiafogyasztás általános csökkentése (stratégiai takarékoság). [3] [12] [14]

1.4.2. Akkumulátoros tárolás

Az akkumulátoros megvalósításra ugyanaz a jogi keret vonatkozik, mint a hagyományos önfogyasztásra, az egyetlen különbség az, hogy az energiát honnan veszik fel (közvetlenül az akkumulátorból vagy a fotovoltaikus rendszerből), és mivel hálózatba való betáplálás nem megengedett, így napelemes rendszer által megtermelt de a fel nem használt villamos energiát eltárolják az akkumulátorban. Én az akkumulátorok esetében csak egyféle megvalósítási módot veszek figyelembe: az energiát tárolják, amint rendelkezésre áll (amikor a PV-termelés többletet mutat), majd "azonnal" felhasználják, amikor a fogyasztó fogyasztási igényeit ki kell elégíteni. Mivel a tárolókapacitás korlátozott, a töltöttségi állapot

(SOC) dinamikusan változik a napelemek töltése vagy a fogyasztói felhasználás miatti kisütés miatt és amint az akkumulátor eléri a maximális töltöttségi állapotát és még mindig van többlet, azt visszawatt veszteségként kell könyvelni.

Ebben a konstrukcióban az akkumulátor csak a fotovoltaikus rendszerhez van csatlakoztatva, és soha nem cserél energiát a közüzemi hálózattal. A technológia hozzáadásával a rendszer megvalósítása és az energiaáramlás a 7. ábrán látható módon történik.



7.ábra: A rendszer sematikus ábrája [5]

Ahogy a 7. ábra is mutatja, a napelemes-akkumulátoros hibrid rendszer egy PV rendszerből és akkumulátorbankból áll, amelyek bár a hálózatra vannak csatlakoztatva, oda nem táplálhatnak vissza. A naperőmű kimenő teljesítménye közvetlenül a fogyasztók igényeit táplálja. Ha a kereslet kisebb, mint a PV teljesítménye, akkor a felesleges PV-teljesítményt az akkumulátorbankba töltik. Ha a kereslet nagyobb, mint a PV teljesítménye, a hiányos teljesítményt az akkumulátor vagy a hálózat fedezi. A hálózat fontos szerepet játszik a hibrid rendszerben a fogyasztók közvetlen villamosenergia-ellátása szempontjából. A hálózat közvetlenül szolgáltat villamos energiát, ha a fogyasztói igényt a napelem és az akkumulátor nem tudja kielégíteni. A hibrid rendszerben a feszültség és az áram összehangolásához több átalakítóra, például egyenáram/váltóáram (DC/AC) vagy DC/DC átalakítóra van szükség. [5]

2. Napelemes kiserőmű méretezése és gazdasági elemzés

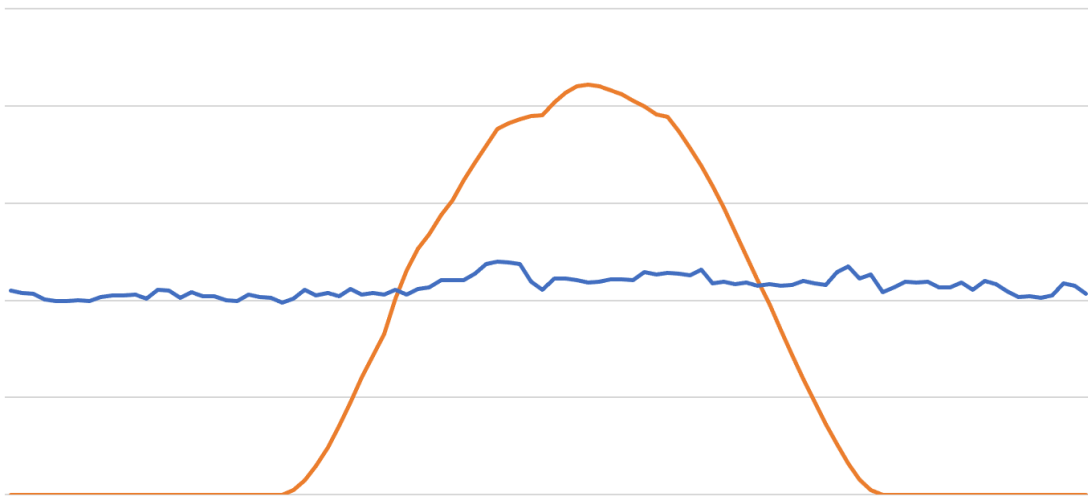
Dolgozatom második felében megvizsgálom egy konkrét logisztikai központ hálózatból történő villamos energia fogyasztásának csökkentésének lehetőségét visszawatt védelemmel ellátott napelemes kiserőművel. Továbbá vizsgálom a fogyasztóoldali befolyásolás és akkumulátoros tároló lehetőségét. A vizsgált lehetőségeket gazdasági elemzéssel zárom.

2.1. Napelemes kiserőmű méretezése

Napelemes kiserőmű méretezésének első lépéseként meg kell határozni a napelemek szükséges teljesítményét, amely a tervezett energiaigényhez igazodik. Ezt a fajlagos energiatermelés azaz Y [kWh/kWp], valamint az adott fogyasztási adatok alapján lehet meghatározni, a következő képlet segítségével:

$$P_{PV} = \frac{E_{igény}}{Y}$$

ahol P_{PV} a szükséges napelem teljesítmény, $E_{igény}$ a hálózatról vételezett tervezetten a napelemes rendszerrel kiváltandó villamos energia, és Y a fajlagos energiatermelés értéke. Ahhoz, hogy megfelelően méretezzük a napelemes kiserőművet, továbbá figyelembe kell venni, a visszawatt védelem miatti veszteségeket, tehát a naperőmű karakterisztikáját a fogyasztási szokásokkal kell összevetni. [25]



8. ábra: Logisztikai központ fogyasztási és napelemek termelési görbéje

Az 8. ábrán látható, hogy a logisztikai központ fogyasztási adataiban nincsenek nagy napi kilengések. A napelemek teljesítményének kiválasztásakor nagyjából 20%-os visszawatt veszteséggel $P_{PV} = 1250$ kW teljesítményt határoztam meg. A napelemek kiválasztásánál fontos figyelembe venni a rendelkezésre álló területet és azokat a paramétereket, amelyek a tervezett rendszer teljesítményigényének megfelelnek.

Nekem a Risen Solar Technology RSM40-8-400M típusú 400 W teljesítményű napelem panelekre esett a választásom, mert korábban a munkám során találkoztam ezzel a típusú panellel, valamint Magyarországon nagyszámú forgalmazóval rendelkezik. A napelemek darabszámának meghatározásához a szükséges napelem DC teljesítményt kell elosztani az adott panel teljesítményével. [25]

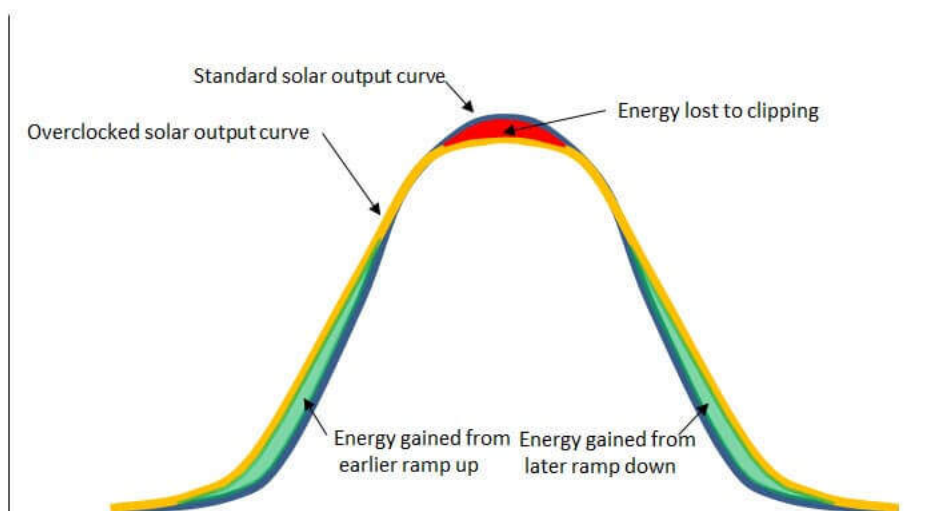
$$N_{PV} = \frac{P_{PV}}{P_{panel}} = \frac{1\,250\,000\,W}{400\,W} = 3125\,db$$

ahol N_{PV} a panelek darabszáma, P_{PV} a szükséges beépített napelem (DC) teljesítmény, P_{panel} pedig egy darab panel teljesítménye.

A következő lépés az inverter kiválasztása, amely a napelemek által termelt DC energiát alakítja AC energiává. Az inverter teljesítményét (P_{inv}) a tervezett napelem teljesítmény (P_{PV}) és az inverter méretezési tényező (Sizing Factor, azaz SF) szorzataként lehet meghatározni. Az SF általában kisebb, mint 1, és az AC/DC oldali névleges teljesítmény arányát jelenti. A megfelelő SF-érték kiválasztása kulcsfontosságú a rendszer hatékonysága és megbízhatósága szempontjából. [25]

$$P_{inv} = P_{PV} \cdot SF = 1\,250\,kW \cdot 0,8 = 1\,000\,kW$$

Az általam választott SF=0,8 így az inverter teljesítménye 1000 kW. Ahogyan az a 9. ábrán is látszik, az inverter alulméretezése azért is fontos, mert így a görbe alatti terület nagyobb, tehát a napelemes rendszer által termelt energia számunkra kedvezőbb lesz.



9. ábra: inverter alulméretezésének kedvező hatása [7]

A sztringek kiosztásának meghatározásakor figyelembe kell venni technikai paramétereket, mint például a maximális megengedhető üresjárás feszültség, a maximális

MPP követési feszültség és a minimális MPP követési feszültség. Ezek a paraméterek segítenek optimalizálni a sztringek számát és elrendezését a rendszerben. [25]

Végül, a rendszer teljes visszaellenőrzése és értékelése kulcsfontosságú a megbízható működés biztosításához. Itt ellenőrizzük, hogy a kiválasztott napelemek, inverter és sztringek megfelelnek-e a tervezési követelményeknek, és hogy a rendszerkomponensek megfelelően vannak összekapcsolva és telepítve.

2.1.1. Akkumulátoros tároló

A visszawatt veszteségek csökkentése érdekében a napelemes rendszerhez akkumulátoros tárolót célszerű telepíteni. A SunSys HES L akkumulátorrendszerre esett a választásom, amely 186 kWh energia tárolására alkalmas, valamint 90% hatásfoka révén minimalizálja az energiaveszteségeket a töltési és kisütési folyamat során, így élettartama alatt költséghatékony. A SUNSYS HES L egy kültéri energiatároló rendszer, amely a hálózatra kapcsolt energiatárolásra alkalmas, mind a termelési, mind az elosztói oldal tekintetében. Támogatja az olyan célzott alkalmazásokat, mint például a fotovoltaikus rendszerek és az önfogyasztás optimalizálása, a peak shaving és a tartalék energiaellátás kereskedelmi és ipari épületek, valamint az elektromos járművek töltőinfrastrukturái számára. [20]



10.ábra: SUNSYS HES L kültéri akkumulátoros tároló [20]

A megoldás ideális hálózatra nem csatlakozó létesítményekhez is, ahol elektromos áramkimaradás esetén energiatartalékot biztosít, és a generátorok helyett a nem villamosított

területeket is képes ellátni energiával. A termék egyik kiemelkedő jellemzője a nagy energiasűrűség, amely jelentős mennyiségű energiátárolást tesz lehetővé viszonylag kompakt és könnyű kivitelben.

2.2. Gazdasági elemzés

Megtérülés számítása kritikus fontosságú a beruházások során, és számos okból nélkülözhetetlen. Először is, pénzügyi tervezési szempontból a megtérülési számítások esszenciálisak. Ez a folyamat segít előre jelezni, hogy mennyi idő alatt térül vissza egy beruházás, és milyen jövedelmet hoz hosszú távon. Ez a folyamat elengedhetetlen a költségvetés összeállításában, a szükséges finanszírozás megszerzésében és a gazdasági stabilitás fenntartásában.

A megtérülési számítások továbbá segítik a döntéshozatal folyamatát. Amikor több beruházási lehetőség közül kell választani, a megtérülési ráta lehetővé teszi az összehasonlítást, hogy melyik projekt hozhatja a legnagyobb hozamot, és így könnyebbé teszi a döntéshozatalt.

Ezen felül, a megtérülési számítások hozzájárulnak a kockázatok értékeléséhez. A projekt során felmerülő bizonytalanságokat és kockázatokat is be kell építeni az értékelésbe. A megtérülési számítások segítenek a beruházás kockázati szintjének felmérésében és a kockázatok kezelésének megtalálásában.

Végül, a megtérülési számítások lehetővé teszik a beruházások eredményeinek nyomon követését és értékelését a tényleges teljesítmény és a tervezett eredmények közötti különbségek azonosítására. Ez segít a projekt a tervek szerinti haladásában és az esetleges eltérések időben történő kezelésében.

Ezen okok miatt kiemelkedően fontos a megtérülés számítása a beruházások során, mivel segít a pénzügyi tervezésben, a döntéshozatalban, a kockázatok értékelésében, a hosszú távú fenntarthatóság biztosításában, a környezeti és társadalmi hatások figyelembevételében, valamint a projekt nyomon követésében és értékelésében. Ezek a számítások hozzájárulnak a hatékony és sikeres beruházásokhoz.

A beruházások gazdaságossági számításai két csoportba sorokhatóak. Ezek közül a statikus számítások nem veszik figyelembe a pénz időértékét, szemben a dinamikus számításokkal, amelyek igen. Az alábbi gazdaságossági számításaim során először kiszámolom a rendszer statikus megtérülését, majd dinamikus gazdaságossági számításaimat mutatom be, mint a nettó jelenérték, belső megtérülési ráta (IRR) vagy a diszkontált megtérülési idő. [21]

2.2.1. Napelemes rendszer statikus megtérülése tároló nélkül

Logisztikai központra telepített visszawatt védelemmel ellátott napelemes rendszer beépítésével $C_{vill} = 70,1039$ Ft/kWh értékű villamosenergia-vásárlást válthatunk ki, az MVM által közölt adatok alapján. A napelemes kiserőmű fajlagos beruházási költsége $B_{PV} = 300\,000$ Ft/kW, a O&M költségük havi 150 000 Ft, illetve az előző fejezetben bemutatott méretezésből adódóan a rendszer $P_{PV} = 1\,000$ kW teljesítményű. Az alábbi összefüggés alapján kiszámítható, hogy éves szinten milyen villamos energia költséget takaríthatunk meg. [24]

$$C_{megtakarított} = E_{PV(felhasznált)} \cdot C_{vill}$$

ahol $C_{megtakarított}$ a napelemes rendszer által kiváltott villamos energiával megtakarított költség, $E_{PV(felhasznált)}$ a napelemes rendszer által termelt és fel is használt energia, C_{vill} pedig a hálózathoz vételezett villamosenergia ára. Így tehát az éves szinten megtakarított költség:

$$C_{megtakarított} = 1\,414\,929,14 \frac{\text{KWh}}{\text{év}} \cdot 70,1039 \frac{\text{Ft}}{\text{kWh}} = 99\,192\,051,10 \frac{\text{Ft}}{\text{év}}$$

További többlet költségként tekinthetünk az O&M azaz az üzemeltetési és karbantartási költségekre, mint OPEX költségekre. Ez átlagosan 150 000 Ft/ hónap tehát éves szinten $C_{O\&M} = 1\,800\,000$ Ft. A megtérülési időt az alábbi összefüggéssel számíthatjuk ki:

$$\tau_{PV \text{ megtérülés}} = \frac{P_{PV} \cdot B_{PV}}{C_{megtakarított} - C_{O\&M}} = \frac{1\,000 \text{ kW} \cdot 300\,000 \frac{\text{Ft}}{\text{kW}}}{99\,192\,051,10 \frac{\text{Ft}}{\text{év}} - 1\,800\,000 \text{ Ft}} = 3,08 \text{ év}$$

ahol $\tau_{PV \text{ megtérülés}}$ a megtérülési idő, P_{PV} a beépített AC teljesítmény, B_{PV} a napelemes rendszer fajlagos beruházási költsége, $C_{megtakarított}$ a napelemes rendszer által megtakarított költség, $C_{O\&M}$ pedig az éves üzemeltetési költség.[26]

A napelemes rendszer megtérülése 3,08 év, viszont mivel a napelemes kiserőmű visszawatt védelemmel van ellátva, így a megtérülésnél nem számolhattam a naperőmű által termelt energia teljes mennyiségével, hiszen figyelembe kell venni azt a visszawatt veszteséget, melyet a visszatáplálás hiánya miatt elszenved a rendszer. Ez további költséget jelenthet, ami miatt további vizsgálatok szükségesek.

2.2.2. Tároló statikus megtérülése

A visszawatt veszteségek csökkentésére beépítendő akkumulátoros tároló rendszer megtérülése kulcsfontosságú, hiszen a napelemes rendszer önmagában csökkentené a logisztikai központ környezeti lábnyomát és villamos energiára fordított költségeit, de a visszawatt veszteségek figyelembevételével és az akkumulátorok jelenleg még magas árával a fent bemutatott 3,08 évet csökkenteni és növelni is tudja.

$$C_{\text{megtakarított}} = E_{\text{megtakarított}} \cdot C_{\text{vill}} = 67\,890 \frac{\text{kWh}}{\text{év}} \cdot 70,1039 \frac{\text{Ft}}{\text{kWh}} = 4\,759\,353,77 \frac{\text{Ft}}{\text{év}}$$

ahol, $C_{\text{megtakarított}}$ a tároló által kiváltott visszavatt veszteségen megtakarított költség, $E_{\text{megtakarított}}$ a tároló által megtakarított energia, C_{vill} pedig a hálózatról vételezett villamosenergia ára.

A fenti költséget és az akkumulátoros rendszerek átlagos $B_{\text{akku}} = 222\,533$ Ft/kWh-ás fajlagos beruházási költségét figyelembevéve a tároló megtérülési ideje:

$$\tau_{\text{akku megtérülés}} = \frac{K_{\text{akku}} \cdot B_{\text{akku}}}{C_{\text{megtakarított}}} = \frac{186 \text{ kWh} \cdot 222\,533 \frac{\text{Ft}}{\text{kWh}}}{4\,759\,353,77 \frac{\text{Ft}}{\text{év}}} = 8,70 \text{ év}$$

ahol $\tau_{\text{akkumegtérülés}}$ a megtérülési idő, K_{akku} az akkumulátor kapacitása, B_{akku} az akkumulátoros tároló rendszer fajlagos beruházási költsége, $C_{\text{megtakarított}}$ a napelemes rendszer által megtakarított költség

Ám ezek a megtérülési időtartamok nem reprezentálják megfelelően a rendszer egészére vonatkoztatott megtérülési időt, tehát a fenti számításokat elvégeztem a napelemes-tárolós rendszer egészére vonatkozóan is.

$$\begin{aligned} C_{\text{összmegtakarított}} &= E_{\text{összmegtakarított}} \cdot C_{\text{vill}} = 67\,890 \frac{\text{kWh}}{\text{év}} \cdot 70,1039 \frac{\text{Ft}}{\text{kWh}} = \\ &= 103\,951\,404,87 \frac{\text{Ft}}{\text{év}} \end{aligned}$$

ahol $C_{\text{összmegtakarított}}$ a napelemes-tárolós rendszer által kiváltott villamos energiával megtakarított költség, az $E_{\text{összmegtakarított}}$ a napelemes-tárolós rendszer által megtakarított energia, C_{vill} pedig a hálózatról vételezett villamosenergia ára.

$$\begin{aligned} \tau_{\text{rendszer megt.}} &= \frac{P_{\text{PV}} \cdot B_{\text{PV}} + K_{\text{akku}} \cdot B_{\text{akku}}}{C_{\text{összmegtakarított}} - C_{\text{O\&M}}} = \\ &= \frac{1\,000 \text{ kW} \cdot 300\,000 \frac{\text{Ft}}{\text{kW}} + 186 \text{ kWh} \cdot 222\,533 \frac{\text{Ft}}{\text{kWh}}}{103\,951\,404,87 \frac{\text{Ft}}{\text{év}} - 1\,800\,000 \frac{\text{Ft}}{\text{év}}} = 3,34 \text{ év} \end{aligned}$$

ahol $\tau_{\text{akkumegtérülés}}$ a megtérülési idő, K_{akku} az akkumulátor kapacitása, B_{akku} az akkumulátoros tároló rendszer fajlagos beruházási költsége, $C_{\text{megtakarított}}$ a napelemes rendszer által megtakarított költség

Így tehát az akkumulátoros beruházással az napelemes-tárolós rendszer rendszer megtérülési ideje 3,34 év, amely 3 hónappal hosszabb, mintha csak a napelemes rendszerbe ruháztak volna be. Mindazonáltal, ha a vállalkozásnak a környezeti lábnyomának

csökkentése a cél, az napelemes-tárolós berendezéssel több hálózathoz vételezett energiát tud kiváltani és a veszteségek szempontjából is kedvezőbb. [26]

2.2.3. Dinamikus számítások, diszkontált megtérülési idő

A diszkontfaktor egy jövőbeli pénzösszeg jelenértékének kiszámítására szolgál. A pénz időértékét tükrözi, ami azt jelenti, hogy egy jövőben kapott dollár kevesebbet ér, mint egy ma kapott dollár. A diszkont tényezőt annak számszerűsítésére használják, hogy egy jövőbeli pénzáramlás mennyivel kevesebbet ér mai értékben. [22]

$$DF = \frac{1}{(1+r)^t}$$

ahol DF a diszkontfaktor, r a diszkontráta, amit a hasonló kockázatú beruházásoktól a piacon általában elvárt hozamként határoztam meg, t pedig a beruházás óta eltelt időt jelzi.

A jelenérték (PV) számítás megmutatja, hogy egy jövőbeli pénzáramlás mennyit ér mai dollárban kifejezve. Úgy tudjuk kiszámolni, hogy a jövőbeli értéket a diszkontráta segítségével diszkontáljuk. Minél nagyobb a diszkontráta vagy minél hosszabb az időszak, annál alacsonyabb lesz a jelenérték, mivel a jövőbeli pénzáramlások jelenértékben kevesebbet érnek.

$$\text{Jelenérték} = PV = DF \cdot C_{\text{megtakarított}} = \frac{C_{\text{megtakarított}}}{(1+r)^t}$$

ahol PV a jelenérték, DF a diszkontfaktor, $C_{\text{megtakarított}}$ a rendszer által kiváltott villamos energiával megtakarított költség, r a diszkontráta, t pedig a beruházás óta eltelt idő.

$$NPV = -\text{Beruházás} + PV = -C + \frac{C_{\text{megtakarított}}}{(1+r)^t}$$

ahol C a beruházás költsége $C_{\text{megtakarított}}$ a rendszer által kiváltott villamos energiával megtakarított költség, r a diszkontráta, t pedig a beruházás óta eltelt idő

Az IRR a belső megtérülési ráta (Internal Rate of Return) rövidítése, és egy olyan pénzügyi mérőszám, amelyet egy beruházás vagy projekt potenciális jövedelmezőségének értékelésére használnak. A belső megtérülési ráta egy százalékos érték, amely egy befektetés várható éves megtérülési rátáját mutatja, feltételezve egy adott jövőbeli pénzáramlást és figyelembevéve a pénz időbeliségét. [21],[22]

Az IRR az a diszkontráta, amely mellett a beruházásból származó összes várható jövőbeli pénzáram nettó jelenértéke (NPV) nullává válik. Más szóval, ez az a kamatláb vagy diszkontráta, amely a pénzbevételek jelenértékének összegét a pénzkiáramlások jelenértékével teszi egyenlővé. Matematikailag az IRR a következőképpen fejezhető ki:

$$NPV = 0 = C + \sum_{i=1}^t \frac{C_i}{(1+r)^i}$$

2. táblázat: A napelemes-tárolós beruházás belső megtérülési rátája és nettó jelenértéke

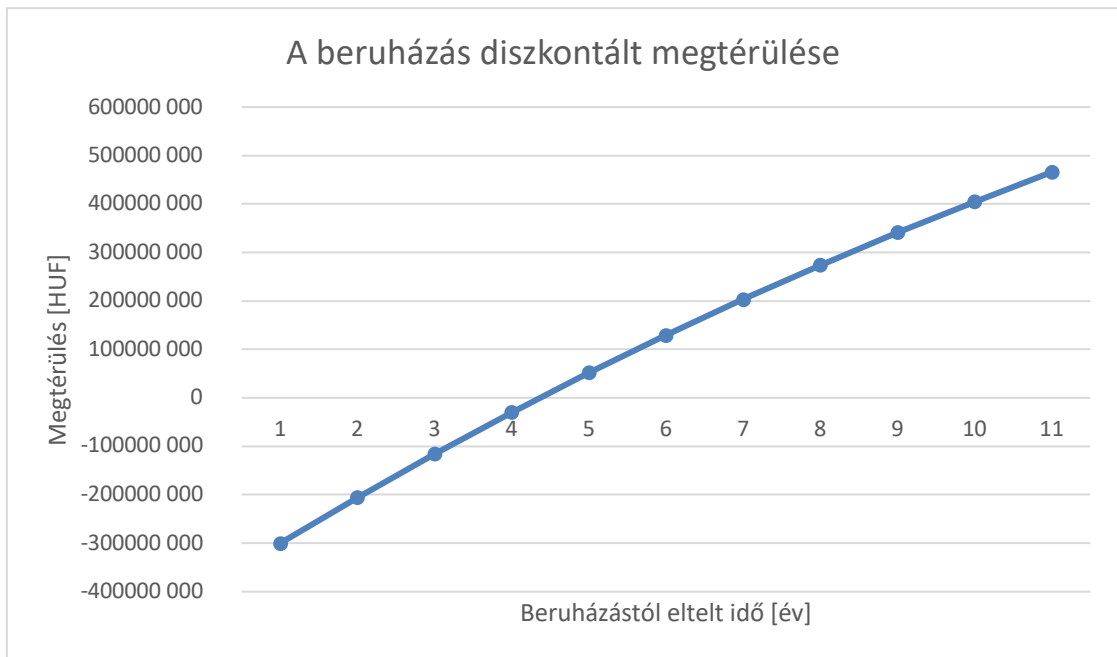
t [év]	C	PV _C
0	- 341 391 138 HUF	- 341 391 138 HUF
1	103 951 405 HUF	99 001 338 HUF
2	103 951 405 HUF	94 286 989 HUF
3	103 951 405 HUF	89 797 132 HUF
4	103 951 405 HUF	85 521 078 HUF
5	103 951 405 HUF	81 448 646 HUF
6	103 951 405 HUF	77 570 139 HUF
7	103 951 405 HUF	73 876 323 HUF
8	103 951 405 HUF	70 358 403 HUF
9	103 951 405 HUF	67 008 002 HUF
10	103 951 405 HUF	63 817 145 HUF
NPV		461 294 056 HUF
IRR	28%	

ahol t a beruházástól eltelt idő, C a pénzáramlások alakulása, PVC a pénzáramlások jelenértéke, IRR a belső megtérülési ráta, NPV pedig a nettó jelenérték az időszakra vonatkoztatva. A táblázatból tehát leolvasható, hogy a beruházás nettó jelenértéke 461 294 056 Ft, a belső megtérülési rátája pedig 28% az fenti 10 éves időszakban. [21],[22] A diszkontált megtérülési idő kiszámításához a következő képletet használhatjuk:

$$C + \sum_{i=1}^t \frac{C_i}{(1+r)^i} = 0$$

ahol C a kezdő pénzáramlás, azaz a beruházás költsége, C_i pénzáramlás-sorozat elemei, r a diszkontráta, t pedig a diszkontált megtérülési idő. [21],[22]

A számítások Excelben történt elvégzése után a diszkontált megtérülési idő t = 4,68 év. Ennek a megtérülési periódusnak az alakulását a 11. ábra szemlélteti.



11. ábra: A beruházás diszkontált megtérülése

Ahogy azt a számítások és ábra is mutatja a beruházás az 5. évtől jövedelmezik, így a 10. év végére már meghaladja a 400 000 000 forintot a rendszer által kiváltott villamos energia megtakarított költsége.

Összefoglalás

Magyarországon a jelenlegi energiapolitikai helyzetben a napelemes rendszerek önfogyasztásának vizsgálata rendkívül releváns. A fogyasztóoldali befolyásolás és az akkumulátoros tárolók integrálása kulcsfontosságú lehet a napelemes rendszerek megtérülését tekintve.

Dolgozatom irodalmi áttekintésében bemutattam a világ országaiban fennálló energiapolitikai helyzetet, majd bemutattam az önfogyasztás növelését befolyásoló tényezőket, a leggyakrabban használt eszközöket. Ezt követően egy konkrét logisztikai központ meglévő fogyasztási adatai alapján javaslatot tettem egy napelemes-tárolós hibrid rendszerre. Végül munkám zárásaként gazdaságossági számításokat végeztem.

Az általam bemutatott napelemes rendszer diszkontált megtérülési ideje, mely a pénz időértékét is figyelembe veszi 4,68 év. Mely alapvetően hosszabb időtáv, melyet a vállalkozások az általuk elfogadott beruházásaiknál maximalizálnak, ám a ezen gazdasági számítások nem veszik figyelembe a cégek környezetvédelmi és energiafüggetlenségi célkitűzéseiket, amik nem elenyészőek a döntési folyamatok mérlegén. Összességében a napelemes önfogyasztás akkumulátorokkal költségmegtakarítást, környezeti előnyöket és energiaügyi rugalmasságot kínál, így a vállalkozások számára gazdaságilag potenciális választás.

Irodalomjegyzék

- [1] Al-Sorour, A., Fazeli, M., Monfared, M., Fahmy, A., Searle, J. R., & Lewis, R. P. (2022). Enhancing PV Self-Consumption Within an Energy Community Using MILP-Based P2P Trading. *IEEE Access*, *10*, 93760–93772. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3202649>
- [2] Bertsch, V., Geldermann, J., & Lühn, T. (2017). What drives the profitability of household PV investments, self-consumption and self-sufficiency? *Applied Energy*, *204*, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.06.055>
- [3] Castillo-Cagigal, M., Caamaño-Martín, E., Matallanas, E., Masa-Bote, D., Gutiérrez, A., Monasterio-Huelin, F., & Jiménez-Leube, J. (2011). PV self-consumption optimization with storage and Active DSM for the residential sector. *Solar Energy*, *85*(9), 2338–2348. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.06.028>
- [4] Chiaroni, D., Chiesa, V., Colasanti, L., Cucchiella, F., D'Adamo, I., & Frattini, F. (2014). Evaluating solar energy profitability: A focus on the role of self-consumption. *Energy Conversion and Management*, *88*, 317–331. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.08.044>
- [5] dos Santos Castilho, C., N. Torres, J. P., Ferreira Fernandes, C. A., & Marques Lameirinhas, R. A. (2021). Study on the Implementation of a Solar Photovoltaic System with Self-Consumption in an Educational Building. *Energies*, *14*(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/en14082214>
- [6] Gudmunds, D., Nyholm, E., Taljegard, M., & Odenberger, M. (2020). Self-consumption and self-sufficiency for household solar producers when introducing an electric vehicle. *Renewable Energy*, *148*, 1200–1215. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.030>
- [7] Jeff Sykes. (2023. október 29). *Solar inverter sizing to improve solar panel efficiency*. <https://www.solarchoice.net.au/blog/optimizing-solar-panel-system-efficiency-through-inverter-sizing/>
- [8] Kiss Ernő MNNSZ elnök. (é. n.). *Napelemes beruházások jelenlegi jogszabályi lehetőségei*. Budapest nappal hajtva. https://budapest.hu/Documents/Kornyezetvedelem/szolarkonferencia/Budapest_nappal_hajtva_konferencia_Kiss_Erno_apr5.pdf
- [9] Luthander, R., Widén, J., Nilsson, D., & Palm, J. (2015). Photovoltaic self-consumption in buildings: A review. *Applied Energy*, *142*, 80–94. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.12.028>
- [10] Mbuwir, B. V., Massip, E., Thoelen, K., & Deconinck, G. (2020). Applying reinforcement learning to maximise photovoltaic self-consumption for electric vehicle charging. *CIREN 2020 Berlin Workshop (CIREN 2020)*, *2020*, 285–288. <https://doi.org/10.1049/oap-cired.2021.0036>
- [11] McKenna, E., Pless, J., & Darby, S. J. (2018). Solar photovoltaic self-consumption in the UK residential sector: New estimates from a smart grid demonstration project. *Energy Policy*, *118*, 482–491. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.04.006>
- [12] *Model Predictive Controller for Active Demand Side Management with PV self-consumption in an intelligent building*. (é. n.). Elérés 2023. szeptember 26., forrás <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6465618/>

- [13] Roberts, M. B., Bruce, A., & MacGill, I. (2019). A comparison of arrangements for increasing self-consumption and maximising the value of distributed photovoltaics on apartment buildings. *Solar Energy*, 193, 372–386. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.09.067>
- [14] Saffari, M., De Gracia, A., Fernández, C., Belusko, M., Boer, D., & Cabeza, L. F. (2018). Optimized demand side management (DSM) of peak electricity demand by coupling low temperature thermal energy storage (TES) and solar PV. *Applied Energy*, 211, 604–616. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.11.063>
- [15] Somogyiné Molnár, J. (2023). Szigetüzemű háztartási méretű kiserőmű (HMKE) megtérülési idejének elemzése. *Jelenkori Társadalmi és Gazdasági Folyamatok*, 18(Különszám), 445–465. <https://doi.org/10.14232/jtgf.2023.kulonszam.445-465>
- [16] Talavera, D. L., Muñoz-Rodríguez, F. J., Jimenez-Castillo, G., & Rus-Casas, C. (2019). A new approach to sizing the photovoltaic generator in self-consumption systems based on cost-competitiveness, maximizing direct self-consumption. *Renewable Energy*, 130, 1021–1035. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.06.088>
- [17] Tongsopit, S., Junlakarn, S., Wibulpolprasert, W., Chaianong, A., Kokchang, P., & Hoang, N. V. (2019). The economics of solar PV self-consumption in Thailand. *Renewable Energy*, 138, 395–408. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.01.087>
- [18] Wu, Z., Tazvinga, H., & Xia, X. (2015). Demand side management of photovoltaic-battery hybrid system. *Applied Energy*, 148, 294–304. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.03.109>
- [19] REN21. (é. n.). *Renewables in Energy Supply*. https://www.ren21.net/gsr-2023/modules/energy_supply/02_market_developments/07_solarpv/
- [20] SUNSYS HES L Catalogue. (é. n.). <https://www.solar365.nl/producten/sunsys-hes-l-66A4AEAC.html>
- [21] Kosztopulosz Andreász. (é. n.). A beruházási döntések: A beruházás gazdaságossági számítások és döntési kritériumok: Statikus mutatók. http://eta.bibl.u-szeged.hu/2570/8/5_2%20olvasólecke%20A%20beruházás%20gazdaságossági%20zám%C3%ADtások%20és%20döntési%20kritériumok%20-%20statikus%20mutatók.pdf
- [22] BME Villamos Energetika Tanszék. (é. n.). Smart grid technológiák és alkalmazások tantárgy jegyzetei.
- [23] MAVIR honlapja. (2023. október 29). <https://www.mavir.hu/web/mavir/home>.
- [24] MVM csoport honlapja. (2023. október 29). <https://mvm.hu>.
- [25] BME Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék. (é. n.). Napenergia és geotermia hasznosítása tantárgy órai jegyzetei.
- [26] Orbán Tibor. (é. n.). Hőellátás tantárgy órai jegyzetei.