

HÁZTARTÁSI NAPELEMES RENDSZEREK GAZDASÁGI ÉS KÖRNYEZETI VIZSGÁLATA

ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF HOUSEHOLD SOLAR SYSTEMS

Bozsik Nándor^{0000-0002-6798-3844* 1}, Takács István^{0000-0002-0847-3844 2}

¹ Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola, Magyarország

² Óbudai Egyetem Keleti Károly Gazdasági Kar, Magyarország

<https://doi.org/10.47833/2025.1.ENG.005>

Kulcsszavak:

állami támogatás
napelemes-rendszerek
kibocsátás
megtérülés

Keywords:

state aid
solar-panel systems
emissions
return on investment

Cikktörténet:

Beérkezett 2024. december 15.
Átdolgozva 2025. február 15.
Elfogadva 2025. február 18.

Összefoglalás

A cikkben a Magyar Állam napelemes támogatási rendszerének feltételeit kielégítő tizenkét darab napelemes konstrukció került elemzésre. Az összehasonlító elemzés az egyes konstrukciók bekerülési költségeire, fajlagos szén-dioxid-kibocsátására és a konstrukciók megtérülésére terjedt ki. A támogatás Napenergia Plusz Program nevet viseli. A program 5 millió forintig nyújt vissza nem térítendő támogatást, ami a beruházás összköltségének maximum 66%-ig terjedhet ki. A pályázóknak a költségek legalább 34%-át saját forrásból kell biztosítaniuk, és minden többletköltséget önerőből kell fedezniük, ha a projekt során költségnövekedés lépne fel.

Abstract

In this article, twelve solar panel schemes that meet the conditions of the Hungarian State's solar subsidy scheme were analysed. The comparative analysis covered the cost of entry, the specific carbon dioxide emissions and the return on investment of each scheme. The scheme is called the Solar Plus Programme. The scheme provides non-repayable grants of up to HUF 5 million, which can cover up to 66% of the total cost of the investment. Applicants must provide at least 34% of the costs from their own resources and must cover any additional costs from their own resources if the project would lead to cost increases.

1. Bevezetés

A megújulóknak gyors növekedése miatt az időjárásfüggő áramtermelők – főleg a napelemes rendszerek – komoly kihívások elé állították a hálózatüzemeltetőket és a rendszerirányítókat Magyarországon [1]. A 2022-es háromszázhoz képest 2023-ban már több, mint ezer negyedórás intervallumban volt 400 megawattot meghaladó kiegyenlítetlenség a villamos hálózatban. Eközben a hazai áramtözsdén egyre gyakoribbá váltak a nulla vagy negatív áras órák száma. Ilyen eseményből 2023-ban 96 volt, több, mint az azt megelőző tíz évben összesen [2]. Ennek kezelésére számos lehetőség van. Az egyik, a hálózat rugalmasságának fejlesztése, ami lehetővé teszi a napelemes energiatermelés ingadozásainak kiegyenlítését. Ezek szabályozható termelőket-

* Kapcsolattartó szerző.

E-mail cím: bozsik.nandor@uni-obuda.hu

fogyasztókat, illetve nagy kapacitású tárolók megvalósítását igénylik. Ilyen szabályozható termelők a gázerőművek vagy a korlátozható betáplálású kistermelők. A rugalmasságban nagy szerepet kaphatnak a szivattyús tárolók és az akkumulátor telepek. Egyre nagyobb jelentőséggel bírnak a "smart" eszközök, amelyek segítenek a termelés és a fogyasztás összehangolásában. Ezek a berendezések különösen a termelési- és fogyasztási csúcsok-völgyek kiegyenlítésére szolgálnak [3].

2. Anyag és módszer

2.1. Rendszerelemek és konfigurációk

A számítások és szimulációk 12 db különböző összetételű napelemes rendszerre készültek. Az összeállított napelemes rendszerek különböző típusú fotovoltaiikus (PV) modulokat, invertereket és akkumulátorokat tartalmaznak. Az 1. táblázat a 2024. szeptember 25-i legkedvezőbb magyarországi árakat tükrözi.

1. táblázat A rendszer konfigurációk költségei

konfig. sz.	PV			inverter			akkumulátor			egyéb ktg. eFt	munka- díj (30%) eFt	beruhá- zási ktg. eFt
	típus	telj. kWp	ktg. eFt	típus	telj. kW	ktg. eFt	típus	telj. kWh	ktg. eFt			
1.	Spo	4,15	367,0	Deye	5	788,6	LVFU	10	1187,1	678,2	1294,7	4315,6
2.	Spo	4,98	440,4	Deye	5	788,6	LVFU	10	1187,1	694,6	1333,2	4443,9
3.	Spo	5,81	513,8	Deye	5	788,6	LVFU	10	1187,1	711,0	1371,7	4572,2
4.	Joly	5,81	567,2	Deye	5	788,6	LVFU	10	1187,1	1031,0	1531,7	5105,6
5.	Spo	4,565	403,7	Huawei	4	409,0	Huawei	10	2021,0	800,0	1557,3	5191,0
6.	Joly	4,565	445,6	Huawei	4	409,0	Huawei	10	2021,0	1095,9	1702,1	5673,6
7.	Spo	5,81	513,8	Huawei	5	475,0	Huawei	10	2021,0	819,7	1641,3	5470,8
8.	Joly	5,81	567,2	Huawei	5	475,0	Huawei	10	2021,0	1228,7	1839,4	6131,2
9.	Spo	4,565	403,7	Fronius	4	801,7	BYD	8	1658,3	1103,2	1700,1	5667,0
10.	Joly	4,565	445,6	Fronius	4	801,7	BYD	8	1658,3	1461,3	1871,5	6238,5
11.	Spo	5,81	513,8	Fronius	5	844,0	BYD	10	2340,2	1144,9	2075,6	6918,5
12.	Joly	5,81	567,2	Fronius	5	844,0	BYD	10	2340,2	1549,4	2271,8	7572,6

Spo: Spolar, Joly: Jollywood

A napelemek, az inverterek és az akkumulátorok mellett két fő költségcsoport még az „egyéb” és a „munkadíj” oszlopban megjelenő összegek. Az egyéb oszlop tartalmazza segédanyagok, mint a szerelési eszközök, a tűzvédelem, a tartók, a védelmek, az informatikai segédeszközök és a projektábra költségeit. A „munkadíj” oszlop a bért és a hozzá kapcsolódó járulékokat tartalmazza, ami a beruházási költség maximum 30%-a lehet. Ez tartalmazza a telepítéssel járó külső - megbízások – munkával járó költségeket is [4].

2.2. HOMER Grid

A HOMER Grid – továbbiakban csak HOMER – a decentralizált energiatermelési rendszerek (Distributed Generation, DG) tervezését teszi lehetővé. A decentralizált energiatermelés egyre gyakrabban jelenik meg a fenntartható energiatermelési megoldások között, mivel ez lehetővé teszi, hogy a felhasználók meghatározó tényezői legyenek – a fogyasztásuk és termelésük révén – a költségeik csökkentésében [5].

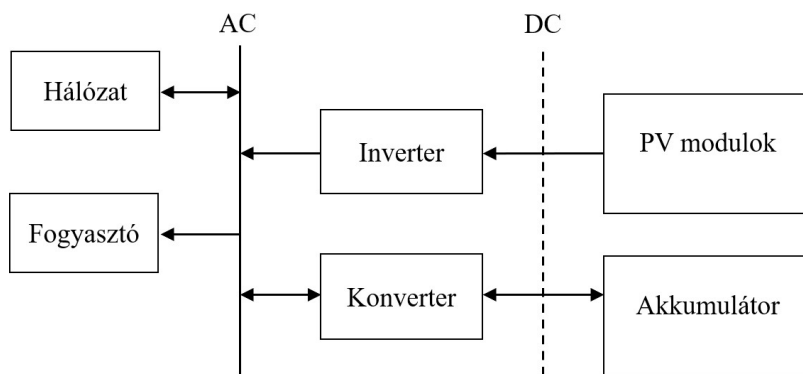
A HOMER program az optimalizációs és érzékenységvizsgálati elemeinek segítségével a tervezés során figyelembe lehet venni a költségek változásait, az energiaforrások rendelkezésre

állását. Ezek segítségével ki tudjuk választani az optimális rendszer konfigurációt. A HOMER program három fő részből áll: a szimulációból, az optimalizációból és az érzékenység vizsgálatból. Ez a hármas egymással összhangban működik és segíti a felhasználót abban, hogy rentábilis és műszaki szempontok alapján is életképes energiarendszert tervezzen meg [6].

2.2.1. Szimuláció

A HOMER program elsődleges funkciója a szimuláció, amely segítségével lehetőség van különböző rendszer konfigurációk vizsgálatára eltérő körülmények között. A szimuláció funkció képes az összes szóba jöhető rendszer állapotot létrehozni, lefuttatni és kiértékelni azokat.

A szimuláció tudja kezelni a megújuló energiaforrásokat, tárolókat és kiegészítő energiatermelő rendszerelemeket, mint például generátorokat vagy egyéb hálózati kapcsolódásokat. (1. ábra)



1. ábra Rendszer séma

2.2.2. Optimalizáció

A HOMER programban a szimuláció után az optimalizáció a következők. A program a rendszer variánsok eredményeit kiértékeli, szűri és sorrendet állít fel a megadott kritériumok alapján [7]. Az optimalizációja célja, hogy a felhasználó által kijelölt paraméterek alapján megtalálja a leggyakorlatosabb megoldást. A gazdaságosság a leggyakrabban megadott kiválasztási paraméter, de emellett figyelembe vehetők egyéb kritériumok is, mint például károsanyag-kibocsátás csökkentés, üzemanyag-felhasználás minimalizálás stb. [8].

2.2.3. Érzékenységvizsgálat

Az érzékenységvizsgálat nem szükséges, de sok esetben hasznos lépés lehet, amely lehetővé teszi a különböző külső változók – például a napfény intenzitás, a szélesebbesség, az árak –, vagy belső – például rendszerelem paraméter változás – hatásainak modellezését. Az érzékenységvizsgálat segíti a felhasználónak megérteni, hogyan módosulnak a rendszer teljesítménymutatói a környezeti paraméterek és egyéb változók függvényében. Az ilyen fajta elemzés rámutat arra is, hogy mik a rendszer legérzékenyebb változói.

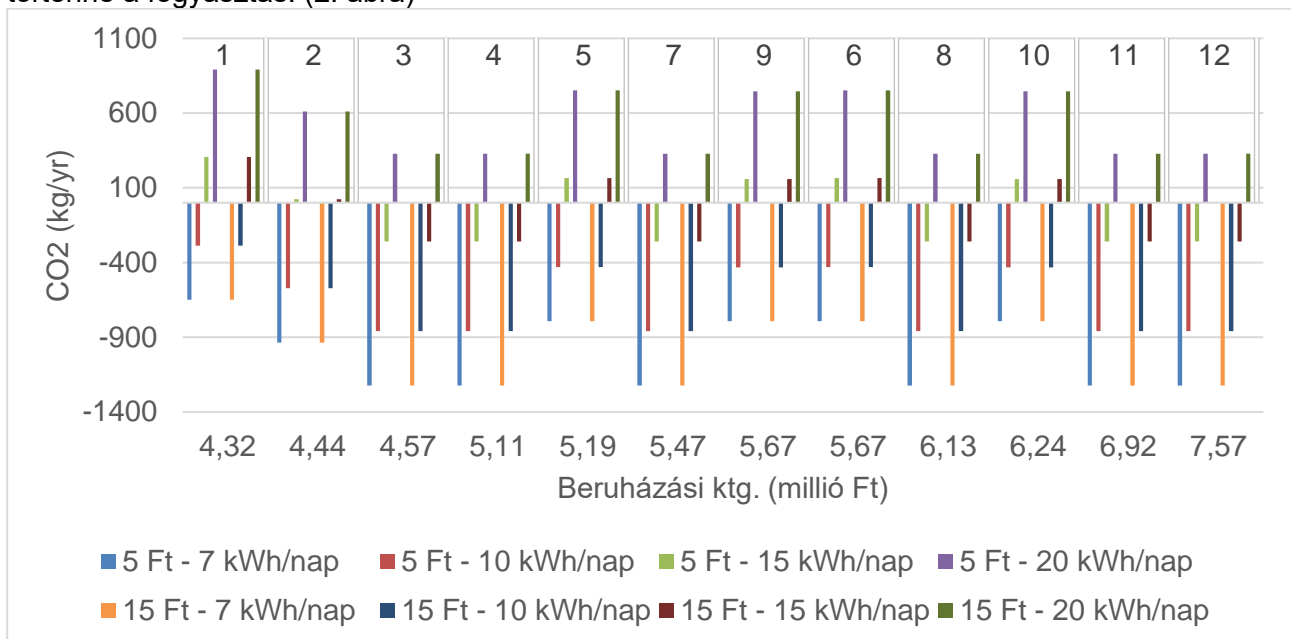
A HOMER program előbbi három fő funkciójának együttese lehetővé teszi, hogy a rendszereket technikai, gazdasági és környezeti szempontok figyelembevételével tervezzük meg. Ez igen hasznos lehet a megújuló energiaforrások elterjedésében, mivel segít optimalizálni az energiaigényeket az elérhető technológiai lehetőségek függvényében, fokozva ezzel a globális klíma- és környezetvédelmi célok elérését [5].

3. Eredmények

3.1. Szén-dioxid-kibocsátás

A cikkben elemzésre került az egyes napelemes konstrukciók szén-dioxid-kibocsátásra gyakorolt hatása különböző fogyasztási szinteken (7, 10, 15, és 20 kWh) és két visszatáplálási ár (5 Ft és 15 Ft) függvényében. A szén-dioxid-értékekből – ami lehet negatív előjelű is – lehet következtetni, hogy a rendszer mennyi szén-dioxid-kibocsátással terheli a környezetét. A negatív

előjel esetén pedig mennyivel mentesíti a környezetét, ahhoz képest mintha csak a hálózatról történne a fogyasztás. (2. ábra)



2. ábra Az éves széndioxid-kibocsátás alakulása – különböző átvételi árak és napi átlagfogyasztások mellett – a beruházási költségek függvényében, /a felső vízszintes számozás a konstrukciók sorszáma az 1. táblázat alapján/

A szén-dioxid-megtakarítás mértéke nagyban függ a napi átlagfogyasztástól. Az alacsonyabb fogyasztású rendszerek esetén a legtöbb konstrukció jelentős szén-dioxid csökkentést ér el, míg magasabb fogyasztási szint mellett a kibocsátási értékek nőnek. Például a 3. és 4. konstrukció esetében 7 kWh napi átlagfogyasztásnál -1222,35 kg/év szén-dioxid megtakarítást érnek el, addig 20 kWh napi átlagfogyasztásnál 328,09 kg/év kibocsátás történik.

Az visszatáplálási árak mértéke nem befolyásolja a szén-dioxid megtakarítást, mivel a szén-dioxid kibocsátás értékek mindkét ár mellett azonosak minden egyes rendszer konfigurációknál. Ez azt jelzi, hogy a visszatáplálási ár változása a gazdasági mutatókat érinti, nem pedig a környezetre gyakorol hatást.

A legkedvezőbb szén-dioxid-kibocsátás csökkentést a 3., 4., 7., 8., 11., és 12. konstrukciók érik el, amelyek minden fogyasztási szinten azonos szén-dioxid megtakarítási értékeket mutatnak. Ezek a rendszerek -1222,35 kg/év szén-dioxid megtakarítást biztosítanak 7 kWh/nap fogyasztás mellett, és -259,57 kg/év kibocsátást 15 kWh/nap fogyasztásnál. A kevésbé hatékony rendszerek, mint például az 1., 2., 5., és 6. konstrukciók, alacsonyabb széndioxid megtakarítást érnek el, de még mindig kedvezőbb, mint ha a villamosenergia teljes mennyisége a hálózatról származna.

Összegezve a szén-dioxid kibocsátás szempontjából a legkedvezőbb eredményeket az alacsonyabb napi átlagfogyasztású 3., 4., 7., 8., 11., és 12. konstrukciók érik el. Ezek a rendszerek biztosítják a legnagyobb mértékű szén-dioxid megtakarítást. A visszatáplálási ár nem befolyásolja a szén-dioxid megtakarítás, illetve kibocsátás mértékét.

3.2. Megtérülés

A 2. táblázat a különböző rendszer konfigurációk – nominális és diszkontált – megtérülési idejét mutatja különböző napi átlagfogyasztási szintek (10, 15, 20 kWh) és különböző visszatáplálási árak (5 Ft és 15 Ft) mellett. A 2. táblázatban a sötétebb zöld szín jelzi a rövidebb megtérülést.

Az elemzés rávilágít arra, hogy a 15 Ft-os visszatáplálási ár mellett a megtérülési idők rövidebbek, mint az 5 Ft-os ár esetén. Ez azt mutatja, hogy a magasabb visszatáplálási ár javítja a napelemes rendszerek gazdaságosságát, és így felgyorsítja a befektetés megtérülését. Ezen túl, a napi fogyasztás szintje is fontos szerepet játszik a megtérülésben. Az alacsonyabb napi átlagfogyasztás esetén a megtérülési idő hosszabb, míg magasabb napi átlagfogyasztásnál rövidebb időtartamú. Ez arra utal, hogy a nagyobb energiaigény mellett a napelemes rendszerek

jobban kihasználhatók, ami gyorsabb megtérülést eredményez. Fontos megjegyezni, hogy a 7 kWh-s napi átlagfogyasztás mellett nincs belátható időtávon belüli megtérülés!

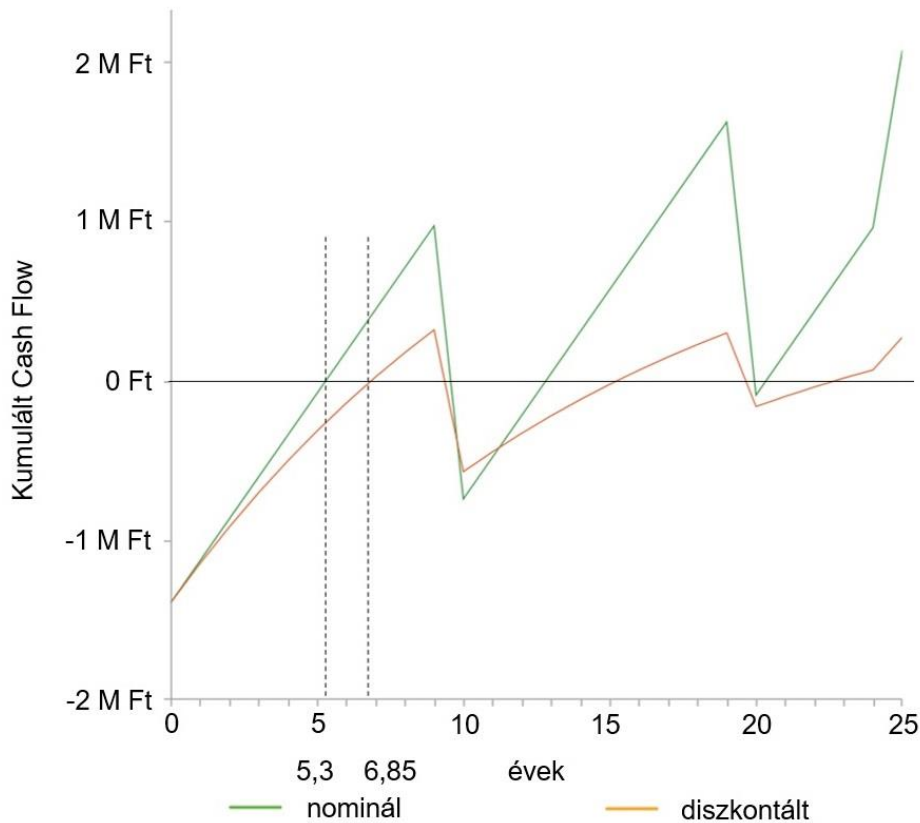
A megtérülés típusainál különbséget kell tenni az nominális megtérülési idő és a - általában hosszabb – diszkontált megtérülési idő között, az utóbbi figyelembe veszi a pénz időértékét, így hosszabb időt számol a beruházás megtérülésére.

A rendszer konfigurációk bekerülési költségei szintén befolyásolják a megtérülési időt: az alacsonyabb bekerülési költségű rendszerek (például az 1-4. konstrukciók) gyorsabb megtérülést mutatnak, míg a magasabb bekerülési költségűeknél (például a 10-12. konstrukciók) hosszabb a megtérülési idő. A leghatékonyabb megtérülést a alacsony-közepes költségű rendszerek érik el, ha magasabb napi átlagfogyasztás és nagyobb visszatáplálási ár mellett üzemelnek.

2. táblázat A rendszer konfigurációk megtérülésülése években

visszatáplálási ár			5 Ft				15 Ft				
megtérülés típusa			nominális		diszkontált		nominális			diszkontált	
napi átlagfogyasztás			15 kWh	20 kWh	15 kWh	20 kWh	10 kWh	15 kWh	20 kWh	15 kWh	20 kWh
rendszer konstrukció sorszáma/ bekerülési költség, millió Ft	1.	4,32	6,09	4,98	8,21	6,34	8,57	5,85	4,88	7,80	6,18
	2.	4,44	5,90	4,76	7,88	5,99	8,01	5,54	4,58	7,25	5,72
	3.	4,57	5,79	4,62	7,68	5,78	7,56	5,30	4,37	6,85	5,41
	4.	5,11	6,45	5,15	8,88	6,62	8,43	5,90	4,87	7,88	6,17
	5.	5,19	7,00	5,68		7,49		6,65	5,52		7,22
	7.	5,47	6,86	5,48		7,15	8,96	6,28	5,18	8,56	6,67
	9.	5,67	8,00	6,51		8,98		7,50	6,26		8,53
	6.	5,67	7,65	6,20		8,42		7,27	6,03		8,10
	8.	6,13	7,67	6,13		8,30		7,03	5,80		7,71
	10.	6,24	8,79	7,15				8,24	6,88		
	11.	6,92	8,70	6,95				7,97	6,58		
	12.	7,57		7,60				8,71	7,19		

A megtérülési idő tehát akkor a legkedvezőbb, ha magasabb visszatáplálási árral, nagyobb energiafogyasztással, és alacsony-közepes bekerülési költségű rendszerekkel számolunk. Azt is fontos szem előtt kell tartani, hogy ezek a napelemes rendszerek tartalmaznak olyan magas költségű elemeket, amelyek 10-12 évenként – az igénybevételtől függően – cserére szorulnak. Ezért a 2. táblázat csak az „első megtérülés” idő tartamát mutatja. Ezek azok a pontok a 3. ábrán, ahol a nominális, illetve diszkontált megtérülés egyenesei először lépik át a „kumulált cash flow = 0” egyenest. Az egyenes letörései a fentebb már említett rendszerelem cseréjének következményei. Ezek a letörések újra visszavetik a megtérülés időbeli hosszát, így negatívan hatnak a megtérülésre. A letörések mértéke jelentősen függ a jövőbeni csere elemek áráról – ami az akkumulátorok esetén jelentős is lehet – és az állam esetleges újabb jövőbeni támogatásától. A jelenlegi pályázat alapján az állami támogatás csak a beruházás indulásakor jelent segítséget. A támogatás a későbbi rendszerelemek cseréjére már nem vonatkozik, azokat a felhasználónak már teljes áron kell beszereznie.



3. ábra A 3. rendszer konstrukció nominális- és diszkontált megtérülés görbéi

A rendszer konfiguráció között egyes napi átlagfogyasztás és visszavételi ár mellett előfordul, hogy sem a nominális sem pedig a diszkontált görbe nem lépi át az előbb említett „kumulált cash flow = 0” egyenest. Ez azt jelenti, hogy a rendszer a tervezett 25 éve alatt sosem térül meg, magyarul nem lesz „pluszos” a beruházás. Számos esetben a költségesebb rendszeres elemek, mint az inverter és az akkumulátor cseréje visszaveti a megtérülést. Jelentős hatással van az ilyen hosszú távú „befektetésekre” a diszkontráta és infláció alakulása is. Ez utóbbi kettő adja a reál diszkontráta értéket. Ennek értéke hét százalékra lett beállítva a szimulációs programban a Regionális Energiagazdasági Kutatóközpont (REKK) tanulmánya alapján [9].

4. Következtetések és javaslatok

A szén-dioxid-kibocsátás szoros kapcsolatban áll a fogyasztási szinttel és a választott konstrukcióval. Az alacsony fogyasztású háztartások esetén jelentős a szén-dioxid megtakarítás. A magasabb fogyasztás esetén már kibocsátás jelentkezik, de még mindig alatta marad a tisztán hálózati villamosenergia vételezéshez képest. Amennyiben a magas fogyasztású háztartások számára fontos a környezetvédelmi szempont, akkor érdemes energiahatékony, energiatakarékos megoldások alkalmazása. A visszatáplálási ár nem befolyásolja a szén-dioxid kibocsátást, mivel az kizárólag a gazdasági tényezőket érinti.

Az elemzés alapján megállapítható, hogy a megtérülési idő gyorsabban csökken magasabb visszatáplálási ár mellett, különösen a nagyobb fogyasztású háztartások számára. Az egyszerű megtérülési idő rövidebb, mint a diszkontált, mivel utóbbi a pénz időértékét is figyelembe veszi. A kisebb bekerülési költségű rendszerek gyorsabb megtérülést biztosítanak, különösen magasabb fogyasztás és visszatáplálási ár mellett.

Összefoglalva az eredményeket megállapítható, hogy a napelemes rendszerek gazdaságossága, környezeti hatása és megtérülési ideje szoros összefüggésben áll a napi energiafogyasztás mértékével, a visszatáplálási árral, valamint a rendszer konfiguráció bekerülési költségével.

Irodalomjegyzék

- [1] Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal". Elérés: 2024. szeptember 25. [Online]. Elérhető: <https://mekh.hu/eves-adatok>
- [2] Így termelt áramot Magyarország 2023-ban - Villanyautók". Elérés: 2024. szeptember 25. [Online]. Elérhető: <https://villanyautosok.hu/2024/02/17/igy-termelt-aramot-magyarorszag-2023-ban/>
- [3] S. Shahzad és E. Jasińska, „Renewable Revolution: A Review of Strategic Flexibility in Future Power Systems”, Sustainability 2024, Vol. 16, Page 5454, köt. 16, sz. 13, o. 5454, jún. 2024, <https://doi.org/10.3390/SU16135454>.
- [4] Napenergia Plusz Program 2. számú módosítás, NFFŰ Zrt., (2024. augusztus 6.). Elérés: 2024. szeptember 25. [Online]. Elérhető: https://napenergiaplus.nffku.hu/files/01_Felhivas_lakossagi_PV_2_szamu_modositasa_240806_.pdf
- [5] S. C. Bhattacharyya, „Energy economics: Concepts, issues, markets and governance, 2nd ed. 2019”, Energy Economics: Concepts, Issues, Markets and Governance, 2nd ed. 2019, o. 1–849, jan. 2019, <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-7468-4/COVER>.
- [6] T. Lambert, P. Gilman, és P. Lilienthal, „Micropower System Modeling with Homer”, Integration of Alternative Sources of Energy, o. 379–418, ápr. 2006, <https://doi.org/10.1002/0471755621.CH15>.
- [7] D. Connolly, H. Lund, B. V. Mathiesen, és M. Leahy, „A review of computer tools for analysing the integration of renewable energy into various energy systems”, Appl Energy, köt. 87, sz. 4, o. 1059–1082, ápr. 2010, <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2009.09.026>.
- [8] M. R. Islam, S. Mekhilef, és R. Saidur, „Progress and recent trends of wind energy technology”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, köt. 21, o. 456–468, máj. 2013, <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2013.01.007>.
- [9] A. Diallo, A. Mezősi, és A. Selei, „A SZÉLENERGIA MAGYARORSZÁGI BŐVÍTÉSÉNEK MODELLEZÉSE” Elérés: 2024. szeptember 25. [Online]. Elérhető: https://energiaklub.hu/files/study/REKK_Szel_final.pdf