

MISKOLCI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR



**NAPELEMES VILLAMOSENERGIA TERMELŐ RENDSZEREK KOMPLEX
VIZSGÁLATA ÉS ÉRTÉKELÉSÉNEK MÓDSZERTANA**

PhD értekezés tézisei

KÉSZÍTETTE

Lipták Róbert

villamosmérnök (BSc),
energetikai mérnök (MSc)

SÁLYI ISTVÁN GÉPÉSZETI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA

GÉPÉSZETI ALAPTUDOMÁNYOK TÉMATERÜLET

TRANSPORTFOLYAMATOK ÉS GÉPEIK TÉMACSOPORT

DOKTORI ISKOLA VEZETŐ

Vadászné Prof. Dr. Bognár Gabriella

DSc, egyetemi tanár

TÉMATERÜLET VEZETŐ

Prof. Dr. Páczelt István

DSc, egyetemi tanár

TÉMACSOPORT VEZETŐ

Prof. Dr. Baranyi László

DSc, egyetemi tanár

TÉMAVEZETŐ

Dr. habil. Bodnár István

egyetemi docens

**Miskolc
2024**

NAPELEMES VILLAMOSENERGIA TERMELŐ RENDSZEREK KOMPLEX VIZSGÁLATA ÉS ÉRTÉKELÉSÉNEK MÓDSZERTANA

NAPELEMES VILLAMOSENERGIA TERMELŐ RENDSZEREK KOMPLEX VIZSGÁLATA ÉS ÉRTÉKELÉSÉNEK MÓDSZERTANA

JUDGING COMMITTEE

chair:

secretary:

members:

OFFICIAL REVIEWERS

NAPELEMES VILLAMOSENERGIA TERMELŐ RENDSZEREK KOMPLEX VIZSGÁLATA ÉS ÉRTÉKELÉSÉNEK MÓDSZERTANA

TARTALOM

TARTALOM.....	1
1. BEVEZETÉS	2
2. DÖNTÉSTÁMOGATÓ ÉS DÖNTÉST HOZÓ MÓDSZEREK	4
2.1. <i>A háromszögmodell általános felépítése</i>	<i>4</i>
3. A NAPELEMES RENDSZER ENERGIAELLÁTÁS BIZTONSÁGRA GYAKOROLT HATÁSA6	6
3.1. <i>Villamos hálózattal kapcsolatos pontozási rendszer</i>	<i>6</i>
3.2. <i>A fogyasztók energiaellátásával kapcsolatos pontozási rendszer</i>	<i>6</i>
3.3. <i>Napelemes rendszer energiatároló képességének pontozási rendszere.....</i>	<i>7</i>
4. A NAPELEMES RENDSZEREK TECHNOLÓGIAI VIZSGÁLATA	8
4.1. <i>Feszültségérték változással kapcsolatos pontozási rendszer.....</i>	<i>8</i>
4.2. <i>A teljes harmonikus torzítás értékével kapcsolatos pontozási rendszer</i>	<i>9</i>
4.3. <i>Élettartam és öregedés.....</i>	<i>9</i>
5. A NAPELEMES RENDSZEREK GAZDASÁGI ELEMZÉSE	11
5.1. <i>Beruházási költségekkel kapcsolatos pontozási rendszer.....</i>	<i>11</i>
5.2. <i>Karbantartási költségekkel kapcsolatos pontozási rendszer</i>	<i>11</i>
5.3. <i>Megtérülési idővel kapcsolatos pontozási rendszer</i>	<i>12</i>
6. NAPELEMES RENDSZEREK VIZSGÁLATA HÁROMSZÖGMODELL SEGÍTSÉGÉVEL....	13
6.1. <i>Szigetüzemű napelemes rendszerek vizsgálata</i>	<i>13</i>
6.2. <i>Hálózatcsatolt rendszer vizsgálata.....</i>	<i>15</i>
6.3. <i>Hibrid napelemes rendszer vizsgálata</i>	<i>16</i>
6.4. <i>A napelemes rendszerek vizsgálatának összegzése</i>	<i>18</i>
6.4.1. <i>A vizsgált szigetüzemű rendszerek összegzése</i>	<i>18</i>
6.4.2. <i>A vizsgált hálózatcsatolt rendszerek összegzése</i>	<i>18</i>
7. TÉZISEK – ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	20
8. A KUTATÁSI TERÜLETHEZ KAPCSOLÓDÓ SAJÁT PUBLIKÁCIÓK LISTÁJA.....	23
9. A TÉZISFÜZETBEN HIVATKOZOTT IRODALOM	24

NAPELEMES VILLAMOSENERGIA TERMELŐ RENDSZEREK KOMPLEX VIZSGÁLATA ÉS ÉRTÉKELÉSÉNEK MÓDSZERTANA

1. BEVEZETÉS

Az elmúlt évtizedekben jelentősen megnövekedett a villamosenergia igény, ez egyrészt a technológiák automatizálásának, másrészt az otthonok kényelmét szolgáló elektronikai eszközök elterjedésének köszönhető. A fenntarthatóság érdekében világszerte egyre nagyobb törekvés mutatkozik azzal kapcsolatban, hogy a villamosenergia-szükségletet megújuló energiaforrások segítségével állítsák elő. Villamosenergia-előállítás szempontjából a napenergia fontos helyet foglal el a globális energia kontextusban. A napelemes rendszerek az elmúlt évtizedekben egyre fontosabb energiaforrásokká váltak. Az utóbbi években Magyarország energiapolitikája is egyértelműen a megújuló energiaforrások, azon belül is a napelemes rendszerek arányának növelésére összpontosított.

A napelemes rendszerekkel kapcsolatos jelenlegi szabályozások szigorodásának köszönhetően a jövőben sokkal fontosabb lesz a teljes villamosenergia-rendszer szabályozása és ellenőrzése. A napelemes rendszerek villamos hálózatba történő integrálásának egyre növekvő figyelembe vétele mellett továbbra is elengedhetetlen az energiabiztonság és a megbízhatóság. A Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal (MEKH) 2022-es éves adatai szerint a villamosenergia-termelés területén a megújuló források részesedése elérte a 21,4 százalékot, és ezen belül a napenergia alkotja a legnagyobb részt, 61,8 százalékot [1]. A hazai támogatási rendszer sikerei miatt a naperőmű-fejlesztések olyan mértékben felgyorsultak, hogy a tervezett 2030-as naperőmű-kapacitás már 2024 év végére megvalósult. A növekvő energiaszuverenitás és ellátásbiztonság azonban komplikációkat okozott az áramellátó rendszer egyensúlyában. A magyar villamosenergia-rendszer befogadó képessége elérte a határait. Ezért jelenleg a fókusz a villamosenergia-rendszer modernizációjára és digitalizációjára került át.

A másik stratégiai irány a megtermelt villamosenergia lehető legnagyobb arányban helyben történő felhasználására összpontosít, ebben az esetben az energiatárolás és az akkumulátorok szerepe jelentős. A jövőben az akkumulátoros tárolóval rendelkező napelemes rendszerek sokkal fontosabbak lesznek. Alkalmazásuk csökkenti a hálózat terhelését, mivel a csúcsidőben megtermelt és fel nem használt villamos energia helyben tárolható, és ezáltal redukálható a nagy távolságra történő átviteléből adódó veszteség. Az optimálisan megválasztott akkumulátorkapacitás jobb hatékonyságot nyújthat az energiarendszerek számára. Ezenkívül az akkumulátorok növelik a háztartások önfogyasztását és autonómiáját, ezáltal hozzájárulnak az energiaköltségek csökkentéséhez is.

Az utóbbi években a napelemes rendszerek telepítésére vonatkozó jogszabályok dinamikus változása nehezen tették követhetővé az előírásokat, amelyek jelentősen növelték a bizonytalanságot és a bizalmatlanságot azok körében, akik érdeklődnek a megújuló energia felhasználása iránt. Egy napelemes rendszer jelentős beruházás, amely komoly terhet róhat egy család költségvetésére, ezért fontos, hogy átlátható módon követhessük a kapcsolódó költségeket és kötelezettségeket.

NAPELEMES VILLAMOSENERGIA TERMELŐ RENDSZEREK KOMPLEX VIZSGÁLATA ÉS ÉRTÉKELÉSÉNEK MÓDSZERTANA

A megfelelő napelemes rendszer kialakításához elengedhetetlen, hogy minden szempontot figyelembe vegyünk. Egy napelemes rendszer kiválasztásánál általában a beruházási költség, valamint a megtérülési idő azon paraméterek, amelyek a vizsgálat középpontjában állnak. Ezek a számítások sok esetben csak egyszerűsített módszerrel történnek, amellyel adott esetben pontatlan eredményt adnak az adott napelemes rendszer jellemzésére, mivel nem veszik figyelembe az évek alatt bekövetkező változásokat. Annak érdekében, hogy egy napelemes rendszert teljes egészében optimalizálni tudjuk, nem csak gazdasági oldalról, hanem energiaellátás biztonsági és technológia oldalról is szükséges megvizsgálni.

Munkám célja egy olyan döntéstámogató rendszer kidolgozása volt, amely segít átfogó képet adni az egyes napelemes rendszerek átláthatóságáról. Ezek alapján felállítottam egy háromszögmodellt, amely segít az egyes napelemes rendszerek vizsgálatában három tudományterületi megközelítés szempontjából. A háromszögmodell egy optimumkeresés eljárást valósít meg.

Napelemes rendszereknél az optimális rendszer megtalálásának folyamata során számos olyan kérdés merül fel, amelyeket szükséges több oldalról is megvizsgálni. Több módszer is rendelkezésre áll, hogy egy napelemes rendszert méretezzünk és kiválasszunk, azonban sok olyan tényező nincs vizsgálva, amely adott esetben megváltoztatja a kiválasztás eredményét. Mindezek figyelembevételével célszerű az egyes rendszereket tovább vizsgálni és az egyes összefüggéseket külön-külön ellenőrizni, összehasonlítani és értelmezni. Ahhoz, hogy a döntéshozatali folyamat során minden fontos és látszólag kevésbé fontos tényező hatása és súlya felismerhető legyen, tehát egy átfogó modell alkalmazása válik indokolttá.

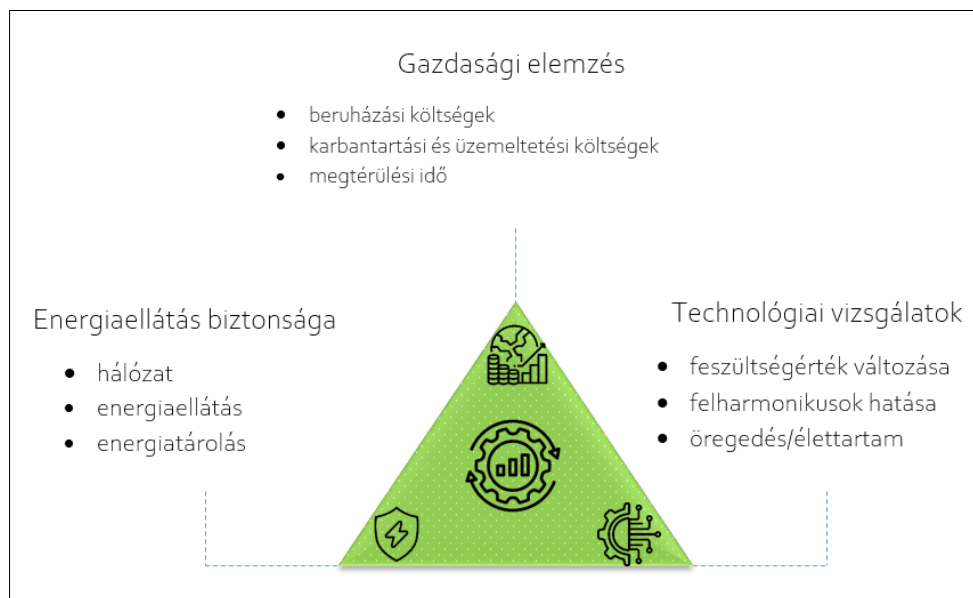
A dolgozatom felépítése az irodalmi áttekintéssel indul, amelyben a napelemek fajtáit részletezem. Ezután a napelemek működési elvének rövid bemutatását követően, a napelemes rendszerek típusait mutatom be. A szakirodalmi áttekintés után a háromszögmodellben alkalmazott pillérek felépítését taglalom részletesen. Ezt követően a háromszögmodell alkalmazását mutatom be különböző napelemes rendszerek vizsgálatával.

2. DÖNTÉSTÁMOGATÓ ÉS DÖNTÉST HOZÓ MÓDSZEREK

A napelemes rendszerek kiválasztásakor a döntéshozók általában gazdasági alapon döntenek. A beruházás megtérülése és a hosszú távú költségmegtakarítás kulcsszerepet játszik a választási folyamatban. A döntések nem csupán a kezdeti költségekre korlátozódnak, figyelembe kell venni a fenntarthatósági szempontokat is, amelyek befolyásolják a rendszerek hosszú távú teljesítményét. A következő fejezetben részletesebben bemutatom a háromszögmodellt, amely az energiaellátás biztonságát, a technológiai vizsgálatokat és a gazdasági elemzést integrálja. Ez a modell lehetőséget ad arra, hogy a döntéshozók átfogóbb képet kapjanak a napelemes rendszerek értékeléséről, figyelembe véve a költségek és előnyök alapos mérlegelését.

2.1. A háromszögmodell általános felépítése

A háromszögmodell három alappillére az energiaellátás biztonsága, a technológiai vizsgálatok és a gazdasági elemzés (1. ábra). Ezeknek a pilléreknek a mélyebb megértése érdekében három alpontot vezettem be, amelyek célja a rendszerek sajátos jellemzőinek alapos elemzése. Az értékelés egy ötfokozatú pontozási rendszeren alapul [2], amely lehetővé teszi, hogy minden rendszer az egyes alpontok szerint '0', '1', '2', '3' vagy '4' pontot kapjon. A 0-4 skála egyszerű és könnyen érthető, ami segíti a gyors és hatékony döntéshozatalt. A 0 a legrosszabb, míg a 4 a legjobb eredményt tükrözi, ezáltal objektív értékelést nyújt. A skála olyan értékelési rendszert biztosít, amely lehetővé teszi a különböző lehetőségek könnyű összehasonlítását.



1. ábra Háromszög modell elvi felépítése

Ez különösen fontos, mert segít a következetesség fenntartásában az elemzések során, így az értékelés minden esetben azonos alapelvek szerint történik. A skála elegendő mozgásteret ad a finom különbségek észlelésére, ami segít a lényeges eltérések felismerésében anélkül, hogy a

NAPELEMES VILLAMOSENERGIA TERMELŐ RENDSZEREK KOMPLEX VIZSGÁLATA ÉS ÉRTÉKELÉSÉNEK MÓDSZERTANA

rendszer túlbonyolódna. Az eddigi szakirodalomban nem találtam olyan döntéstámogató vagy döntéshozó módszert, amely egyszerre integrálja ezeket a pilléreket.

Az első pillér az energiaellátás biztonsága. Az egyik vizsgálandó terület e pilléren belül a napelemes rendszerhez tartozó villamos hálózati csatlakozás és az ahhoz tartozó egyéb bővítések. A második alpont ezen a területen a tápellátás elvesztésére vonatkozik. A felhasználók számára az energiaellátás folytonossága nem egy elhanyagolható tényező. Ez a pont azt vizsgálja, hogy a napelemes rendszerek miként tudják szerteágazóbbá tenni az energiaellátást amiatt, hogy növekedjen a fogyasztók ellátottsága és adott esetben minél kevesebb legyen az energiakiesés. A harmadik pont ezen a pilléren belül a rendszer energiatároló képességét vizsgálja. Tehát a rendszer alkalmas-e az energia tárolására vagy sem és milyen mértékben.

A második pillér a napelemes rendszerek technológiai vizsgálata. Ezen belül az egyik legfontosabb pont a feszültségérték változása. Ennek az értéknek a csökkenése és növekedése is negatívan hat a hálózatra csatlakozott eszközökre, a napelemes rendszerre, illetve magára a hálózatra is. A második vizsgált terület e pilléren belül a felharmonikusok hatása, amely szintén negatív hatással van a hálózathoz csatlakozó eszközökre, főleg abban az esetben, ha az egyes eszközök által okozott felharmonikusok egymásra is hatást gyakorolnak. A harmadik terület pedig az öregedéssel és élettartammal kapcsolatos vizsgálat.

A harmadik pillér a gazdasági elemzés. A napelemes rendszerek beszerelése egy jelentős induló költséggel jár, viszont az élettartam növelése érdekében ezeknél a rendszereknél is érdemes a karbantartásra figyelni. A rendszeres panel tisztítás elmaradása nem csak teljesítmény romlást, hanem adott esetben maradandó károkat is okozhatnak a panelekben. Mindezeket összevetve a lehető legrészletesebb számítás alapján érdemes kiszámolni a megtérülési időt az egyes napelemes rendszerekre nézve.

A háromszögmodell ezeket a területeket veszi figyelembe és ez alapján ad vissza egy mérőszámot a napelemes rendszer tulajdonságaiból, illetve egyéb felhasználói igényekből, amely segíti az egyes rendszerek összehasonlíthatóságát. A következő fejezetekben a részletes elemzés során minden alpontnál alapos magyarázatot adok az egyes pontszámok jelentését és az értékelés kritériumait illetően. A háromszögmodell célja, hogy lehetőséget adjon a napelemes rendszerek objektív összehasonlítására és rangsorolására, ahol a magasabb összpontszám egyértelműen kedvezőbb eredményt vagy a jobb rendszert jelenti.

3. A NAPELEMES RENDSZER ENERGIAELLÁTÁS BIZTONSÁGRA GYAKOROLT HATÁSA

Az energiaellátás biztonságát további három pont bevezetésével vizsgálom a napelemes rendszerek kapcsán. A villamos hálózat, a fogyasztók energiaellátása és a rendszer energiatárolási képessége [3].

3.1. Villamos hálózattal kapcsolatos pontozási rendszer

A villamos hálózat állapotának és távolságának függvényében kidolgoztam egy pontozási rendszert. A villamos hálózattal kapcsolatos értékelés pontozási rendszerét az 1. táblázat tartalmazza. Amennyiben a villamos hálózat alkalmas a napelemes rendszer befogadására bármilyen hálózati fejlesztés nélkül, abban az esetben a pontozási rendszerben maximális pontot ér el (4 pont). Minden szükséges beavatkozás a mértékétől függően rontja a pontszám értékét. Az értékelési rendszerben meghatározott 100 m-es távolság beruházási költsége (légvezeték esetén 530 ezer Ft, földkábel esetén 850 ezer Ft) azonos nagyságrendbe esik a napelemes rendszer fajlagos költségével.

1. táblázat. Villamos hálózat pontozási rendszere

Nincs villamos hálózati csatlakozás, de nincs is rá szükség a létesítményben.	0
Nincs villamos hálózati csatlakozás, a lehetséges csatlakozás 100 m-től nagyobb távolságra van a létesítménytől.	1
Nincs villamos hálózati csatlakozás, a lehetséges csatlakozás 100 m-től kisebb távolságra van a létesítménytől.	2
Van villamos hálózati csatlakozás, de korszerűsítés szükséges (fázisszám bővítést, fővezeték és a védelmek esetleges bővítése).	3
Van villamos hálózati csatlakozás és nem szükséges semmilyen bővítés.	4

3.2. A fogyasztók energiaellátásával kapcsolatos pontozási rendszer

Annak függvényében, hogy a fogyasztók igényelnek-e szünetmentes energiaellátást, különböző szempontok alapján dolgoztam ki egy pontozási rendszert. A napelemes rendszer jó alternatíva az energiaellátás biztonságának növelésére, mivel a napelemes rendszerek hozzájárulnak a villamosenergia-ellátás diverzifikálásához, amely csökkenti a hagyományos energiatermeléstől való kizárólagos függőségét. A fogyasztók energiaellátásával kapcsolatos értékelés pontozási rendszerét a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat. A fogyasztók energiaellátásával kapcsolatos pontozási rendszer

Nem releváns a villamosenergia-ellátás a létesítménynél.	0
Van energiatárolás, de nincs hálózat.	1
Van energiatárolás, van hálózati csatlakozás, de hálózatkiesés esetén a teljes rendszer lekapcsolásra kerül.	2
Van energiatárolás, van hálózati csatlakozás, de hálózatkiesés esetén dedikált fogyasztók tudnak működni.	3
Van energiatárolás, hálózatkiesés esetén a teljes rendszer tovább tud működni.	4

3.3. Napelemes rendszer energiatároló képességének pontozási rendszere

Összességében megállapítható, hogy a villamosenergia-ellátás fontos része a rendszer energiatároló képessége. Ebben a pontban nem a létesítmény energiaellátásbeli diverzitását vagy módját vizsgálom, hanem a mértékét. Fontos különbség van az alábbi esetek között. Az egyik eset amikor egy létesítmény villamos fogyasztói, egy esetleges villamosenergia-hálózat kiesés következtében biztonságosan le tudjanak állni, kisebb akkumulátor kapacitás is elegendő. A másik eset pedig az amikor egy kiesés következtében még több órán vagy adott esetben egy napon keresztül is képes legyen ellátni villamos energiával a teljes épületet vagy dedikált fogyasztókat. Ehhez mindenképpen nagyobb tárolókapacitás szükséges. A rendszer energiatároló képességével kapcsolatos értékelés pontozási rendszerét a 3. táblázat tartalmazza.

3. táblázat. A rendszer energiatároló képességével kapcsolatos pontozási rendszer

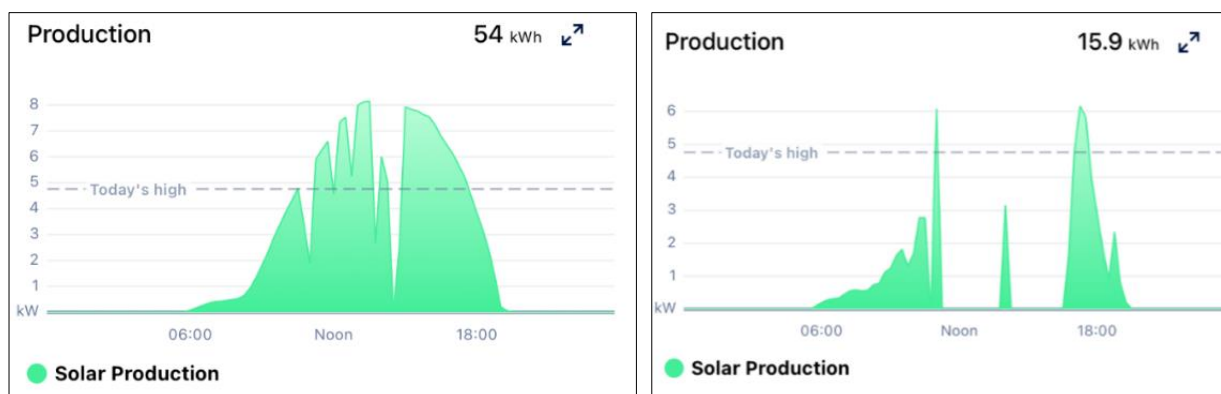
Nincs energiatárolás és nem is szükséges.	0
Nincs villamos hálózati csatlakozás, de a villamosenergia ellátás 5-10 óráig fenntartható.	1
Nincs villamos hálózati csatlakozás, de a villamosenergia ellátás 10-24 óráig fenntartható.	2
Van villamos hálózati csatlakozás, de a kiesése után 5-10 óráig fenntartható a villamos energia ellátás.	3
Van hálózati csatlakozás, de a kiesése után 10-24 óráig fenntartható a villamos energia ellátás.	4

4. A NAPELEMES RENDSZEREK TECHNOLÓGIAI VIZSGÁLATA

A háromszögmodell technológiai vizsgálatára vonatkozó pillér három alpontja közül az első a feszültségérték változása. A második alpont a harmonikus torzítás, amely fontos villamos-energiaminőségi probléma. A harmadik vizsgálati pont az alkatrészek öregedése és élettartama, mivel ezek meghatározóak a napelemes rendszerek hosszú távú működőképessége szempontjából.

4.1. Feszültségérték változással kapcsolatos pontozási rendszer

Amennyiben a napelemes rendszerek darabszáma az adott villamoshálózati szakaszon megnövekszik, olyan jelenségeket is okozhat, hogy ezen termelőegységek kimeneti feszültség értéke annyira megemeli a hálózati feszültség értékét, hogy egyes egységek inverter működésére negatívan hathatnak. Például egy olyan napszakban, amikor a rendszernek termelnie kellene, az inverter lekapcsol mivel az elfogadható (akár szabványos) tartományon kívül esik a hálózati feszültség értéke.



(a)

(b)

2. ábra (a) Napelemes termelés normál üzemállapot esetén, (b) termelés kiesése feszültségemelkedés miatt

Ez a jelenség sokkal nagyobb mértékben jelenkezik abban az esetben amikor egy napelemes rendszernél nincs önfogyasztás egy adott napszakban, hanem a hálózatra való visszatáplálás üzemállapota áll fenn. Amennyiben az épületnek van önfogyasztása, legyen az akár milyen fogyasztó vagy akkumulátortelep töltése, akkor a feszültségemelkedés mértéke kisebb. A feszültségérték változással kapcsolatos értékelés pontozási rendszerét a 4. táblázat tartalmazza. Az MSZ 447:2019 „Kisfeszültségű, közcélú elosztóhálózatra való csatlakoztatás”-ról szóló szabvány +8/-7,5% feszültségváltozást enged meg, ezért ezt vettem alapul.

4. táblázat. A feszültségérték változással kapcsolatos pontozási rendszer

Nem releváns, mert nincs hálózati csatlakozás.	0
Mindig feszültségemelkedést okoz amely 8% feletti, ha nincs önfogyasztás.	1
Mindig feszültségemelkedést okoz, de 8% alatti érték, ha nincs önfogyasztás.	2
Ha nincs önfogyasztása az épületnek, akkor feszültség növekedést okozhat, de a rendszerre kapcsolt akkumulátorkapacitás miatt ez a feltöltést követően jelentkezhetsz 8% feletti értékben.	3
Ha nincs önfogyasztása az épületnek, akkor nagyon kis eséllyel (max 8%-ig) okoz feszültség növekedést a nagy akkumulátorkapacitás miatt.	4

4.2. A teljes harmonikus torzítás értékével kapcsolatos pontozási rendszer

Egy napelemes rendszer harmonikus profiljának javítása érdekében számos módszer áll rendelkezésre. Az egyik a szűrők és szabályozók használata. Ezek lehetnek passzív vagy aktív szűrők illetve szabályozók. Továbbá a megfelelő minőségű inverterek kiválasztása és megfelelő beállítása szintén hozzájárulhat a rendszer harmonikusainak csökkentéséhez. Megfelelő kábelezés és földelőrendszer kialakítása is segít a harmonikusok negatív hatásainak csökkentésében. Akkumulátor telep alkalmazásával inverter típusától függően javíthatja a hálózat harmonikus profilját. Elektromos autók töltése általában negatívan hat a harmonikusok értékére, de fix telepítésű akkumulátor telepek esetén rendszertől függően javíthat ezen. A teljes harmonikus torzítás értékével kapcsolatos értékelés pontozási rendszerét a 5. táblázat tartalmazza. A THD értéke előre nem határozható meg hiszen a teleptési környezettől függ. Utólag méréssel igazolható. Ezért a táblázatban a tervezés során használt tapasztalat alapján határoztam meg a pontozási rendszert.

5. táblázat. A Teljes harmonikus torzítás értékével kapcsolatos pontozási rendszer

Nem releváns, mert nincs hálózati csatlakozás	0
Várhatóan magas mértékű THD-t okoz (Akkumulátor alulméretezve és szűrő nélkül).	1
Várhatóan közepes mértékű THD-t okoz (Akkumulátor túlméretezve és szűrő nélkül).	2
Várhatóan alacsony mértékű THD-t okoz (Akkumulátor alulméretezve és szűrővel).	3
Várhatóan elhanyagolható mértékű THD-t okoz (Akkumulátor túlméretezve és szűrővel).	4

4.3. Élettartam és öregedés

Egy napelemes rendszerrel a rendszerelemek kiválasztása kulcsfontosságú az élettartamot tekintve. Egy inverter, amennyiben alul van méretezve akkor a működése során előfordulhat, hogy a munkaponti tartomány felső határában sok üzemórát tölt. Ez az inverter viszonylag korai tönkremeneteléhez vezethet. Az akkumulátortelepek esetén, ha nincs jól megválasztva a méretezési alap, akkor az akkumulátor telepek korai kapacitáscsökkenéséhez vagy akár

NAPELEMES VILLAMOSENERGIA TERMELŐ RENDSZEREK KOMPLEX VIZSGÁLATA ÉS ÉRTÉKELÉSÉNEK MÓDSZERTANA

tönkremeneteléhez vezethet. Ez függ attól, hogy alul- vagy túl van méretezve. Ha alul van méretezve, akkor a túl sok töltés és kisütési ciklus lesz a káros. Ha túl van méretezve az akkumulátortelep, akkor a folyamatos “csepegtető töltés” lesz veszélyes [5, 6, 7, 8, 9]. Az öregedéssel kapcsolatos értékelés pontozási rendszerét a 6. táblázat tartalmazza.

6. táblázat. Az öregedéssel kapcsolatos pontozási rendszer

Alulméretezett inverter és alulméretezett akkumulátor.	0
Alulméretezett akkumulátor és optimálisan méretezett inverter.	1
Alulméretezett inverter és optimálisan méretezett akkumulátor.	2
Túlméretezett akkumulátor és túlméretezett inverter.	3
Optimálisan megtervezett rendszer.	4

5. A NAPELEMES RENDSZEREK GAZDASÁGI ELEMZÉSE

Napelemes rendszerek esetében mint minden beruházásnál jelentős költségek mutatkoznak. A legfontosabb és legjelentősebb költsége a beruházási költség, amely magába foglalja a tervezési, engedélyeztetési és kivitelezési költségeket. Ezen felül a rendszer üzemeltetését és karbantartását tekintve is jelentkeznek költségek a rendszer jellegétől és a rendszer méretétől függően. Továbbá fontos tényező még a megtérülési idő számítása is, amely azt hivatott megmutatni, hogy az adott beruházás gazdasági oldalról milyen mértékben és mikor térül meg a beruházónak [4, 10, 11].

5.1. Beruházási költségekkel kapcsolatos pontozási rendszer

Minden napelemes rendszer típusnak más a felépítése. Rendszertípustól függően más követelmények vonatkoznak rá villamosenergia-szolgáltatói oldalról és a beruházási költségek is eltérőek lesznek.

Egy szigetüzemű rendszer esetén nem kell engedélyeztetési eljárás tehát a tervezési és engedélyeztetési költségek nem jelentkeznek ennél a típusnál. A szigetüzemű rendszer esetén az akkumulátortelep az ami a jelentős többletköltséget adja egy hagyományos hálózatsatolt napelemes rendszerhez képest.

A hálózatsatolt napelemes rendszer esetén a korábban felsorolt tervezési és engedélyeztetési eljárás költségei fognak jelentkezni. A rendszer a fel nem használt napenergiából származó villamos energiát képes a hálózatra visszatáplálni, melyet a villamosenergia-szolgáltató az éppen aktuális jogi szabályozásoknak megfelelően átvesz.

A hibrid rendszerek a szigetüzemű és hálózatra csatolt rendszerek kombinációjaként működnek. Összehasonlítva a hálózatra kapcsolt és a hibrid rendszert, a hibrid rendszer is drágább az akkumulátorcellák beruházási költsége miatt. A beruházási költségekkel kapcsolatos értékelés pontozási rendszerét a 7. táblázat mutatja. Az optimális tervezés a fogyasztási igényekhez igazított tervezést jelenti.

7. táblázat. A beruházási költségekkel kapcsolatos pontozási rendszer

Túlméretezett panelek vagy túlméretezett akkumulátor telep	0
Hibrid rendszer akkumulátor teleppel és panelekkel (optimális méretezéssel)	1
Szigetüzemű rendszer (optimális méretezéssel)	2
Hibrid rendszer csak panelekkel (optimális méretezéssel) akkumulátor telep nélkül	3
Hálózatsatolt rendszer (optimális méretezéssel)	4

5.2. Karbantartási költségekkel kapcsolatos pontozási rendszer

A napelemes rendszerek karbantartási és üzemeltetési költségei viszonylag alacsonyak, de van néhány lehetséges költség és költségelem, amelyet figyelembe kell venni. A hatékony működés és a maximális teljesítmény fenntartásához szükség lehet a napelemek rendszeres tisztítására. Továbbá a szigetüzemű és hibrid napelemes rendszerek esetén az akkumulátoroknak csere- és

NAPELEMES VILLAMOSENERGIA TERMELŐ RENDSZEREK KOMPLEX VIZSGÁLATA ÉS ÉRTÉKELÉSÉNEK MÓDSZERTANA

karbantartási költségei lehetnek, különösen hosszabb távon, amikor az akkumulátorok kapacitása csökkenhet. A napelemes rendszer telepítése növelheti az ingatlanbiztosítás értékét. Ez is besorolható a karbantartási és üzemeltetési költségek közé. Ha a napelemes rendszer rendszeres felügyeletet igényel, a karbantartási vagy üzemeltetési költségek hozzáadhatók az éves költségvetéshez. Ez általában a nagyobb rendszerekre vonatkozik. Ráadásul, ha számvitelhez kapcsolódó adminisztrációs feladatok is felmerülnek, az is növelheti az éves költségeket [10]. A karbantartási és üzemeltetési költségekkel kapcsolatos értékelés pontozási rendszerét a 8. táblázat tartalmazza.

8. táblázat. A karbantartási költségekkel kapcsolatos pontozási rendszer

Éves tisztítás, biztosítás, akkumulátor karbantartása, rendszer felügyeleti személyzet, adminisztratív költségek (pl. elszámolás)	0
Éves tisztítás, biztosítás, akkumulátor karbantartása, rendszer felügyeleti személyzet	1
Éves tisztítás, biztosítás, akkumulátor karbantartása	2
Éves tisztítás, biztosítás	3
Éves tisztítás	4

5.3. Megtérülési idővel kapcsolatos pontozási rendszer

A megtérülési idővel kapcsolatos értékelés pontozási rendszerét a 9. táblázat tartalmazza. A megtérülési idő számításnál a 0-ás pontozás mellett kiegészült egy negatív értékkel, amely a napelem élettartamán túli megtérülési időt hivatott figyelembe venni. Amennyiben a megtérülési idő nagyobb lesz mint 30 év, akkor minden további évben -1 pontot kap az értékelésben. Tehát például 31 év esetén -1 pont, 32 év esetén -2 pont, 42 év esetén -12 pontot jelent a pontozásnál.

9. táblázat. A megtérülési idővel kapcsolatos pontozási rendszer

30 év felett minden év -1 pontot jelent	-1, -2, -3...-n
26-30 év között van a megtérülési idő	0
21-25 év között van a megtérülési idő	1
16-20 év között van a megtérülési idő	2
11-15 év között van a megtérülési idő	3
0-10 év között van a megtérülési idő	4

6. NAPELEMES RENDSZEREK VIZSGÁLATA HÁROMSZÖGMODELLEL SEGÍTSÉGÉVEL

A háromszögmodell alkalmazásával öt napelemes rendszert vizsgáltam. Szigetüzemű rendszerek esetén két különböző konfigurációt. A hálózatsatolt rendszerekből egy konfigurációt, amely akkumulátor telep nélkül működik és két konfigurációt, amely akkumulátor teleppel van ellátva. A számításoknál a villamos energia esetében 36 forintos árat vettem figyelembe véve 1 kWh-ra vonatkoztatva. Hálózatsatolt napelemes rendszerek esetén az önfogyasztás és a visszatermelés aránya jelentős hatással van egy napelemes rendszer megtérülési idejére, hiszen ezek az arányok befolyásolják, mennyi villamos energiát szükséges a hálózatról vételezni, és mennyi energiát lehet visszatáplálni. Emellett a vételezési és visszatáplálási árak közötti különbség is lényeges tényező, mivel a jelenlegi szabályozások szerint a visszatáplált energia ára jóval alacsonyabb, mint a hálózati vételezése. Ezért a fogyasztási szokások, különösen az önfogyasztás növelésére irányuló erőfeszítések, kedvezően hatnak a megtérülési időre. Egy akkumulátor nélküli, 5 kW-os napelemes rendszerben a háztartás által termelt villamos energia körülbelül 30-40%-a használható fel közvetlenül, mivel csak a termelés pillanatában érhető el. Ha egy 5 kWh-s akkumulátort is telepítünk, az önfogyasztás akár 60-70%-ra is emelkedhet, mivel a napközben megtermelt energiát este vagy éjszaka is hasznosítani lehet. Egy 10 kWh kapacitású akkumulátor beépítésével pedig az önfogyasztás aránya elérheti a 70-80%-ot, jelentősen csökkentve a villamos hálózatról való vételezést [13, 14]. A számításokban az egyes esetek felső határait vettem alapul. A valós rendszerek értékelésekor részletesebb elemzések szükségesek, mivel az egyedi fogyasztási szokások önmagukban nagymértékben befolyásolják a megtérülési időt. Az összehasonlíthatóság érdekében az elemzéseket egységes peremfeltételek mentén kell végezni.

6.1. Szigetüzemű napelemes rendszerek vizsgálata

Szigetüzemű rendszerek esetén két különböző konfigurációt vizsgáltam. Az első esetben egy 5 kWp rendszerhez egy 5 kWh kapacitású akkumulátor telepet illesztettem. A második esetben pedig ugyanehhez a rendszerhez az akkumulátor telep kapacitását kétszeresére növeltem a rendszer autonómiájának érdekében. A vizsgált szigetüzemű rendszerek beruházási költségeit a 10. táblázat, a megtérüléssel kapcsolatos adatokat pedig a 11. táblázat tartalmazza. Az egyes rendszerelemek beruházási költségei a 2023. decemberben elérhető fogyasztói árak átlagolásából adódik. A szigetüzemű rendszer függetlenül tud működni a villamos hálózattól. Tehát abban az esetben, ha a létesítmény nagyon távol helyezkedik el a lehetséges villamos hálózat csatlakozási ponttól, akkor nyújt megfelelő megoldást az épület villamos táplálására.

NAPELEMES VILLAMOSENERGIA TERMELŐ RENDSZEREK KOMPLEX VIZSGÁLATA ÉS ÉRTÉKELÉSÉNEK MÓDSZERTANA

10. táblázat. A vizsgált szigetüzemű rendszerek beruházási költségei

Konfiguráció	Beruházási tételek	Megjegyzés	Mennyiség	Egységár (HUF)	Teljes ár (HUF)	Összesen (HUF)
Szigetüzem (1. eset)	Napelem panelek	450 Wp/db	11	60 000	660 000	2 660 000
	Inverter + Töltésvezérlő	5 kW	1	500 000	500 000	
	Kábelek, kiegészítők, telepítés, tartószerkezet				600 000	
	Akkumulátorok	5 kWh	1	900 000	900 000	
Szigetüzem (2. eset)	Napelem panelek	450 Wp/db	11	60 000	660 000	3 560 000
	Inverter + Töltésvezérlő	5 kW	1	500 000	500 000	
	Kábelek, kiegészítők, telepítés, tartószerkezet				600 000	
	Akkumulátorok	5 kWh	2	900 000	1 800 000	

11. táblázat. A vizsgált szigetüzemű rendszerek megtérülési ideje

Konfiguráció	Egyszerűsített megtérülés	Összetett megtérülés
Szigetüzem (1. eset)	~ 12 év	~ 25 év
Szigetüzem (2. eset)	~ 16 év	~ 31 év

A háromszögmodell pontozási eredményét a szigetüzemű rendszerek esetén a 12. táblázat tartalmazza. Ez alapján az első konfiguráció 10 pontot kapott. A második esetben az összpontszám 6-os értékre adódott. Ez az érték abból adódik, hogy a megtérülési idő nagyon megnövekedett az akkumulátorok beruházási költsége miatt (31 évre emelkedett), ez a pontozási rendszerből adódóan nem 0, hanem -1 értékelést kap (a 30 év feletti megtérülési idő értelmében). Az akkumulátor telepet a második konfigurációnál dupla kapacitással méreteztem. Tehát amennyiben a rendszer autonómiáját szeretnénk növelni az akkumulátor telep bővítésével, abban az esetben a megtérülési idő drasztikusan megnövekszik. Ezeket az értékeket lehet csökkenteni, amennyiben releváns pályázatot vagy támogatást is beleszámolunk és redukálni tudjuk a beruházási költségeket.

NAPELEMES VILLAMOSENERGIA TERMELŐ RENDSZEREK KOMPLEX VIZSGÁLATA ÉS ÉRTÉKELÉSÉNEK MÓDSZERTANA

12. táblázat. A háromszögmodell pontozási eredményei a vizsgált szigetüzemű rendszerek esetén

Vizsgált kategória		Szigetüzemű rendszer 1	Szigetüzemű rendszer 2
Energiaellátás biztonsága	Villamos hálózati csatlakozás és egyéb bővítések	0	0
	Fogyasztók energiaellátása	0	0
	A rendszer energiatároló képessége	1	2
Részpontszám		1	2
Technológiai vizsgálatok	Feszültségváltozás problémái	0	0
	Felharmonikusok hatása	0	0
	Élettartam és öregedés	4	3
Részpontszám		4	3
Gazdasági elemzések	Beruházási költségek	2	0
	Karbantartási és üzemeltetési költségek	2	2
	Megtérülési idő	1	-1
Részpontszám		5	1
Összpontszám		10	6

6.2. Hálózatsatolt rendszer vizsgálata

Gazdasági oldalról vizsgálva mindhárom alpontban nagyon jó értékelést kapott ez a típusú rendszer, ami érthető is abból a szempontból, hogy a napelem paneleken és az inverteren kívül, más, meghatározó berendezést nem tartalmaz a rendszer, amely komolyabb költséget jelentene a többi napelemes rendszerrel összehasonlítva. Azonban a szigetüzemű rendszerhez képest még beruházási költségként megjelenik a tervezési és egyéb engedélyeztetési költség. Az összesítést a 13. táblázat tartalmazza.

13. táblázat. A vizsgált hálózatsatolt rendszer beruházási költségei

Konfiguráció	Beruházási tételek	Megjegyzés	Mennyiség	Egységár (HUF)	Teljes ár (HUF)	Összesen (HUF)
Hálózatsatolt rendszer	Napelem panelek	450 Wp/db	11	60 000	660 000	2 490 000
	Inverter	5 kW	1	730 000	730 000	
	Tervezés, engedélyek, tartószerkezet, telepítés				1 100 000	

14. táblázat. A vizsgált hálózatsatolt rendszer megtérülési ideje

Konfiguráció	Egyszerűsített megtérülés	Összetett megtérülés
Hálózatsatolt napelemes rendszer	~ 11,1 év	~ 25 év

A vizsgált hálózatsatolt rendszer megtérülési idejét a 14. táblázat tartalmazza. Szükséges megjegyezni azt, hogy az összetett megtérülési idő számítás alapján 25 év a rendszer megtérülési ideje. Az egyszerűsített megtérülési számítás alapján ez az érték 11,1 év amely igencsak pontatlannak mondható. Ez minden rendszer számítása esetén elmondható, hogy az egyszerűsített megtérülési számítás jóval kisebb értéket hozott, mint az összetett megtérülési számítás.

15. táblázat. A háromszögmodell pontozási eredményei a vizsgált hálózatsatolt rendszer esetén

Vizsgált kategória		Hálózatsatolt rendszer
Energiaellátás biztonsága	Villamos hálózati csatlakozás és egyéb bővítések	3
	Fogyasztók energiaellátása	0
	A rendszer energiatároló képessége	0
Részpontoszám		3
Technológiai vizsgálatok	Feszültségváltozás problémái	2
	Felharmonikusok hatása	2
	Élettartam és öregedés	4
Részpontoszám		8
Gazdasági elemzések	Beruházási költségek	4
	Karbantartási és üzemeltetési költségek	3
	Megtérülési idő	1
Részpontoszám		8
Összpontoszám		19

A hálózatsatolt rendszer értékeléséből az látszik, hogy az energiaellátás-biztonság szempontjából jobb értékelést kapott, mint a szigetüzemű rendszerek viszont magas pontszámot ez a rendszer sem ért el ebben az alpontban. A gazdasági elemzések alapján ez a rendszer bizonyult a leggazdaságosabb konfigurációnak. Ez a rendszer a háromszög modell értékelése alapján 19 pontot kapott. Az összesítést a 15. táblázat tartalmazza.

6.3. Hibrid napelemes rendszer vizsgálata

Hibrid rendszerek esetén is két különböző konfigurációt vizsgáltam, hasonlóan a szigetüzemű rendszerekhez. Az első esetben egy 5 kWp rendszerhez egy 5 kWh kapacitású akkumulátor telepet illesztettem. A második esetben pedig ugyanehhez a rendszerhez az akkumulátor telep kapacitását

NAPELEMES VILLAMOSENERGIA TERMELŐ RENDSZEREK KOMPLEX VIZSGÁLATA ÉS ÉRTÉKELÉSÉNEK MÓDSZERTANA

kétszeresére növeltem a rendszer autonómiájának érdekében, tehát 10 kWh kapacitású akkumulátor teleppel vizsgáltam.

16. táblázat. A hibrid rendszerek beruházási költségei

Konfiguráció	Beruházási tételek	Megjegyzés	Mennyiség	Egységár (HUF)	Teljes ár (HUF)	Összesen (HUF)
Hibrid (1. eset)	Napelem panelek	450 Wp/db	11	60 000	660 000	3 510 000
	Inverter	5 kW	1	750 000	750 000	
	Tervezés, engedélyek, tartószerkezet, telepítés				1 100 000	
	Akkumulátor	5 kWh	1	1 000 000	1 000 000	
Hibrid (2. eset)	Napelem panelek	450 Wp/db	11	60 000	660 000	4 510 000
	Inverter	5 kW	1	750 000	750 000	
	Tervezés, engedélyek, tartószerkezet, telepítés				1 100 000	
	Akkumulátor	5 kWh	2	1 000 000	2 000 000	

17. táblázat. Megtérülési idő hibrid rendszerek esetén

Konfiguráció	Egyszerűsített megtérülés	Összetett megtérülés
Hibrid (1. eset)	~ 15,7 év	~ 29 év
Hibrid (2. eset)	~ 20 év	~ 34 év

A vizsgált hibrid napelemes rendszerek beruházási költségeit a 16. táblázat, valamint a megtérülési időket a 17. táblázat tartalmazza. Az összetett megtérülési idő számítás az első esetben 29 év, a második konfiguráció esetében pedig 34 év. Ebben az esetben az akkumulátor telepet dupla kapacitással illesztettem, így a napelemes rendszer képes a fogyasztók hosszabb ideig tartó ellátására, egy esetleges villamos hálózat kiesés következtében. Azonban a rendszer megtérülési ideje a szigetüzemű rendszerhez hasonlóan drasztikusan megnövekszik. Ezeket az értékeket pályázat vagy támogatás igénybevételel lehet csökkenteni.

A háromszög modell pontozása a hibrid rendszerek esetén a 18. táblázatban látható. Ez alapján az első konfiguráció kapta a legmagasabb pontszámot, amely 22. Viszont a második esetben a megtérülési idő nagyon megnövekedett, ami 30 év felé emelkedett, ez a megtérülési idő pontozási rendszeréből adódóan nem 0, hanem -4 értékelést kapott, így összpontszámban ez a hibrid napelemes rendszer 19 pontot kapott.

18. táblázat. A háromszögmodell pontozási eredményei a vizsgált hibrid rendszer esetén

Vizsgált kategória		Hibrid rendszer 1	Hibrid rendszer 2
Energiaellátás biztonsága	Villamos hálózati csatlakozás és egyéb bővítések	3	3
	Fogyasztók energiaellátása	3	3
	A rendszer energiatároló képessége	3	4
Részpontszám		9	10
Technológiai vizsgálatok	Feszültségváltozás problémái	3	3
	Felharmonikusok hatása	3	3
	Élettartam és öregedés	4	4
Részpontszám		10	10
Gazdasági elemzések	Beruházási költségek	1	1
	Karbantartási és üzemeltetési költségek	2	2
	Megtérülési idő	0	-4
Részpontszám		3	-1
Összpontszám		22	19

6.4. A napelemes rendszerek vizsgálatának összegzése

6.4.1. A vizsgált szigetüzemű rendszerek összegzése

Szigetüzemű rendszerek esetén nincs hálózati csatlakozás, emiatt több vizsgálati pont nem releváns a háromszög modellben ezen rendszereknél. Ebből az okból kifolyólag érdemes ezeket a rendszereket külön vizsgálni, és nem összehasonlítani a hálózatcsatolt rendszerekkel. Mivel itt az energiellátás biztonsága csak és kizárólag a napelemes rendszertől függ. Tehát a létesítmény sokkal inkább önmagára van utalva és több más létesítménnyel nem tud közös kooperációban működni egy hálózaton. A két szigetüzemű rendszer esetében az első konfiguráció kapott magasabb pontszámot az összegzésben, amely 10 pont. Bár Energiaellátás biztonság szempontjából alacsonyabb értéket kapott, de a második konfiguráció esetében a megtérülési idő drasztikusan megnövekedett, így összpontszámot tekintve 6 pont az eredmény.

6.4.2. A vizsgált hálózatcsatolt rendszerek összegzése

Az akkumulátor telep nélküli és a két hibrid rendszert lehetséges közös elemzésnek alávetni, mivel a hálózati csatlakozás miatt nem lesznek irreleváns pontok a háromszögmodellben a szigetüzemű rendszerrel ellentétben. A hálózatcsatolt rendszerek esetén megfigyelhető, hogy a leggazdaságosabb konfiguráció az, amely nem tartalmaz akkumulátort, de energiaellátás biztonsági szempontból lényegesen rosszabb a hibrid napelemes rendszerhez képest. Az eredmények alapján, amennyiben csak a gazdasági oldalt vizsgáljuk a hibrid rendszer szinte

NAPELEMES VILLAMOSENERGIA TERMELŐ RENDSZEREK KOMPLEX VIZSGÁLATA ÉS ÉRTÉKELÉSÉNEK MÓDSZERTANA

minden esetben rosszabb értékelést kapott, azonban, ha figyelembe vesszük az energiaellátás-biztonságot és technológiai vizsgálatokat, akkor az látható, hogy ez a típusú napelemes rendszer magasabb összpontszámot kapott a háromszögmodell értékelése szerint. Viszont fontos szem előtt tartani a megtérülési időt. Ha a beruházási és egyéb költségek nagyon megnövekednek, akkor a megtérülési idő drasztikusan megnövekszik, amely negatívan befolyásolja a fenntarthatóságot.

7. TÉZISEK – ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

- T1. Az általam kidolgozott döntéstámogató-értékelő módszer – az ún. háromszögmodell - segítségével megállapítottam, hogy háztartási méretű napelemes rendszerek esetében az 5 kWp teljesítményű és 5 kWh akkumulátorkapacitású hibrid rendszer magasabb összpontszámot ért el az akkumulátor telep nélkül hálózatsatolt rendszerhez képest, tehát alkalmazása előnyösebb. Ha az akkumulátor telep kapacitását duplájára növeljük, akkor gazdaságilag, pályázati támogatás nélkül nem térül meg.**

Háttérmagyarázat: Kidolgoztam egy döntéstámogató-értékelő módszert a fogyasztói igényeknek megfelelő optimális napelemes rendszer kiválasztása céljából, amelyet háromszögmodellnek neveztem el és alkalmazhatóságát különböző kialakítású 5 kWp teljesítményű háztartási méretű kiserőművek segítségével teszteltem. Ha a napelemes rendszer kiválasztásakor csak a gazdasági szempontokat vesszük figyelembe, akkor egyértelműen a hagyományos napelemes rendszer kapja a legnagyobb értéket (8 pont). Amennyiben a másik két pillérrel (Energiallátás biztonsága és Technológiai vizsgálatok) is kibővítjük a vizsgálatot, az összpontszámokat tekintve az 5 kWp hibrid napelemes rendszer 5 kWh kapacitású akkumulátor teleppel éri el a legmagasabb pontszámot (22 pont). Abban az esetben, ha az 5 kWp hibrid napelemes rendszerhez 10 kWh kapacitású akkumulátor telepet választunk, akkor a gazdasági elemzés értéke -1 pont (a megtérülési idő miatt) és az összpontszámot tekintve az érték 19 pontra esik.

A T1 tézishoz kapcsolódó saját publikációk: [S1], [S2], [S3], [S5], [S6], [S13]

Az értekezés kapcsolódó fejezetei: 3, 4.1.3, 4.2.2, 4.3.2, 5.1.4, 5.2.5, 5.3, 6.1, 6.2, 6.2, 7

- T2. Megállapítottam, hogy lakossági fogyasztók esetében 1 kWp napelemes rendszerhez viszonyítva 1 szeres és 3 szoros érték között található a kWh-ban meghatározott optimális akkumulátor kapacitása, amely az egyedi napi fogyasztási igények (trendek) alapján pontosítható.**

Háttérmagyarázat: Hibrid napelemes rendszereknél a helyes akkumulátorkapacitás meghatározás összetett feladat. Az elvégzett vizsgálatokból megállapítottam, hogy a lakossági felhasználású, háztartási méretű kiserőművek esetén 1 kWp napelemes rendszerhez viszonyítva az 1 szeres tárolási kapacitás nem elegendő a fogyasztási igények ellátására, a be- és kitárolási igények kielégítésére. Háromszoros tároló kapacitástól felfelé túlméretezés valósul meg a nyári időszakban.

A T2 tézishoz kapcsolódó saját publikációk: [S1], [S6], [S13]

Az értekezés kapcsolódó fejezetei: 4.3.1

- T3. Megállapítottam, hogy a szakadási hiba kivételével minden vizsgált egyenáramú hibánál lokális és globális munkapontok alakulnak ki a feszültség-áram és a feszültség-teljesítmény jelleggörbén. A napelem panelek darabszámának kiesésével egyenes arányban csökken a rendszer teljesítménye, mindaddig, amíg a kiesett panelek darabszáma el nem éri a kritikus értéket, amely az inverter lekapcsolásához vezet. A kritikus érték az inverter minimális bemeneti feszültségértékétől függ.**

Háttérmagyarázat: A napelemes rendszereknél az egyenáramú oldali hibák bizonyos típusai, például a szakadási hiba vagy a zárlat bármilyen formája tűzveszélyt jelenthet, e hibákat (pl.: átívelés) a korszerű inverterek észlelik és azonnal lekapcsolnak, ugyanakkor a nem drasztikus egyenáramú hibáknál elmondható, hogy azok fellépte termelés-csökkenési problémákat okoznak. Az egyenáramú oldali hibák, amelyeket vizsgáltam a szakadási hiba, rövidzárási hiba, földzárlati hiba, árnyékolási hiba és a bypass dióda hiba. Az elvégzett mérésekből és szimulációkból egyértelműen kiderül, hogy a DC oldalon a munkapont értéke csökken mind feszültség, mind áramerősség szempontjából, amennyiben a vizsgált hibák legalább egyike fellép.

A T3 tézishoz kapcsolódó saját publikáció: [S7]

Az értekezés kapcsolódó fejezetei: 5.1.2

- T4. Megállapítottam, hogy a napelem sztringben bekövetkező hibák számának növekedésével egyre alacsonyabb környezeti hőmérsékleten képes tartani az inverter a hálózat által igényelt feszültség-szintet, amely a működéshez és a hálózatra való visszatápláláshoz szükséges. A meghibásodott/kiesett panelek számának növekedésével az inverter visszatáplálási képessége csökken. A kritikus panel számra történő csökkenést követően az inverter működéséhez szükséges feszültségérték nem áll rendelkezésre, és ezért üresjáratú állapotba kapcsol.**

Háttérmagyarázat: Az inverterre kapcsolt napelemek optimális darabszámának meghatározása a hőmérsékleti együtthatók okozta változások mellett az inverter névleges teljesítményének együtteséből következik. Az inverter névleges teljesítményének legalább 80%-ával, maximum 120%-ával terhelhető. A választott inverternél a minimális panelszám 16 db, a névleges 20 db, a maximum pedig 24 db. Tehát, ha 20 db panel van és 1 db esik ki, akkor a DC oldalon 25%-os változást hoz létre. Azaz ennyivel csökken az aktuális és a minimális feszültség közötti különbség. 2 db panel kiesése esetén ez már 50%. 4 panel kiesésekor már a minimumra esik a feszültség. Ha melegszik az idő, akkor ez tovább csökken és az inverter lekapcsol, mert nem tud tovább szabályozni ahhoz, hogy az AC oldalon biztosan meglegyen a szükséges feszültség. Mindezek az okai annak, hogy napjainkban már a panelek számát túlméretezik az inverternél előírtakhoz képest, így csak a túlméretezés és a minimális közötti panelszám okoz változást.

A T4 tézishoz kapcsolódó saját publikációk: [S4], [S7]

Az értekezés kapcsolódó fejezetei: 5.1.3

- T5. Megállapítottam, hogy azonos besugárzási szint mellett jelentős eltérések léphetnek fel a harmonikus torzítás mértékében, különösen dinamikus környezeti változások, többek között felhőátvonulások miatt, amelyek hatására a torzítás mértéke akár a szabványos határértékeket is meghaladhatja.**

Háttérmagyarázat: Az inverterek működésük közben felharmonikusokat termelnek. A felharmonikus-termelés mértékét a környezeti hatások befolyásolják. Statikus környezeti hatás változások esetén az inverter beavatkozója kevésbé szabályoz, ezáltal a felharmonikus termelés szabványos érték alatt marad viszont egy esetleges felhőátvonulás miatt az inverternek dinamikusan kell szabályozni. További befolyásoló tényező a környezeti hőmérséklet, valamint a panelek hőmérséklete. A mérésekből és szimulációkból az látszik, hogy az inverter áramának THD értékét különböző napsugárzási szintek befolyásolják. Míg a reggeli órákban a mért áram harmonikus torzítás értéke 3-4% között mozog, a déli órákban a felhőátvonulások miatt ez az érték 14-16%-ra emelkedett, meghaladva a szabványos határértékeket. Mindkét esetben a besugárzás intenzitása 350 W/m^2 volt. Ezek az eredmények mutatják, hogy a harmonikus torzítás mértéke szorosan összefügg a környezeti tényezőkkel és az inverterek szabályozási dinamikájával, még azonos besugárzási körülmények között is.

A T5 tézishoz kapcsolódó saját publikáció: [S5], [S13]

Az értekezés kapcsolódó fejezetei: 5.2.3., 5.2.4.

- T6. A vizsgálatok alapján megállapítottam, hogy a háromszögmodellben a gazdasági pilléren belül a megtérülési idő számítása bír a legnagyobb befolyásoló erővel. A döntéshozatali folyamat során ez a pillér kiemelkedő jelentőségű, mivel két különböző rendszer összehasonlítása esetén ez hozza létre a legnagyobb pontszámkülönbségeket. Alapvető fontosságú, hogy az összehasonlítás során egységes gazdasági számítási módszereket alkalmazzunk, annak érdekében, hogy az eredmények összevethetőek legyenek és a döntések megalapozottak maradjanak.**

Háttérmagyarázat: A villamos energia ára közvetlen hatást gyakorol arra, hogy egy beruházás gazdaságilag megtérül-e, miközben a hálózati csatlakozás szintén meghatározó tényező. Ha a csatlakozási pont nagyobb távolságra található, az jelentősen növeli a beruházás költségeit, ami tovább befolyásolja a projekt megtérülési idejét. A gazdasági pillér egy másik fontos szempontja, hogy a beruházás saját forrásból finanszírozható-e, vagy szükség van-e külső támogatások, vagy hitelek igénybevételére. Ezek a tényezők együttesen határozzák meg, hogy egy projekt pénzügyi szempontból fenntartható-e, avagy sem. Különböző rendszerek összehasonlításakor elengedhetetlen, hogy azonos gazdasági számítási módszereket alkalmazzunk a valós összevethetőség érdekében. A háromszögmodell figyelembe veszi az összes releváns tényezőt, és képes kezelni a nulla értékeket is, amelyek egyes esetekben felmerülhetnek. Ha egy adott tényező nem releváns az adott rendszer számára, a modell ennek megfelelően kezeli azt, így biztosítva a pontos és kiegyensúlyozott elemzést.

A T6 tézishoz kapcsolódó saját publikációk: [S1], [S6], [S13]

Az értekezés kapcsolódó fejezetei: 6.3, 7.1, 7.2, 7.3, 7.4

8. A KUTATÁSI TERÜLETHEZ KAPCSOLÓDÓ SAJÁT PUBLIKÁCIÓK LISTÁJA

A disszertációhoz köthető minőségi publikációk:

- [S1] R. Lipták, I. Bodnár, *Optimal sizing of battery storage for photovoltaic systems*, in Proceedings of the 2023 24th International Carpathian Control Conference (ICCC), 2023, pp. 236–241., (**SCOPUS és Web of Science**)
- [S2] G. Kozsely, I. Bodnar, D. Matusz-Kalász, R. Lipták, *Determination of Solar Panel's Characteristics by Flash Testing*, 2022 23rd International Carpathian Control Conference (ICCC), pp. 233-238, 2022, (**SCOPUS és Web of Science**)
- [S3] I. Bodnár, D. Matusz-Kalász, R.R. Boros, R. Lipták, *Condition Assessment of Solar Modules by Flash Test and Electroluminescence Test*, Coatings, vol. 11, no. 11, 1361, 2021, (**SCOPUS, Q2, IF: 2.881**)
- [S4] R. Lipták, I. Bodnár, *Control Problems of Solar Power Plants*, in 22nd International Carpathian Control Conference (ICCC 2021), 2021, pp. 1–5. (**SCOPUS és Web of Science**)

A disszertációhoz köthető egyéb publikációk:

- [S5] R. Lipták, I. Bodnár, *Effects of photovoltaic systems on the behavior of harmonic components in low voltage network*, *Analecta Technica Szegedinensia*, vol. 2, no. 17, pp. 32–47, 2023.
- [S6] R. Lipták, *Comperative analysis of different types of photovoltaic systems from the technical and economic*, in *Elektrotechnikai és Elektronikai Szeminárium 2022: konferencia előadások publikációi*, 2022, pp. 82–97.
- [S7] R. Lipták, I. Bodnár, *Simulation of fault detection in photovoltaic arrays*, *Analecta Technica Szegedinensia*, vol. 15, no. 2, pp. 31–40, 2021.
- [S8] R. Lipták, T. Hadházi, *A villamosenergia-felhasználás változása*, *Multidiszciplináris Tudományok: A Miskolci Egyetem Közleménye*, vol. 11, no. 3, pp. 167–174, 2021.
- [S9] R. Lipták, P. Balázs, *Cellaoptimalizált napelemek*, *Multidiszciplináris Tudományok: A Miskolci Egyetem Közleménye*, vol. 11, no. 3, pp. 161–166, 2021.
- [S10] D. Matusz-Kalász, R. Lipták, and P. Tóth, *Napelemek tönkremenetele*, *Multidiszciplináris Tudományok: A Miskolci Egyetem Közleménye*, vol. 11, no. 3, pp. 94–101, 2021.
- [S11] R. Lipták, I. Bodnár, *Microgrid hálózatok felépítése*, *Multidiszciplináris Tudományok: A Miskolci Egyetem Közleménye*, vol. 11, no. 4, pp. 188–197, 2021.
- [S12] R. Lipták, I. Bodnár, *Napelemes villamosenergia-termelő rendszerek*, *Multidiszciplináris Tudományok: A Miskolci Egyetem Közleménye*, vol. 10, no. 4, pp. 434–443, 2020.
- [S13] R. Lipták, I. Bodnár, *Analysis of Photovoltaic Systems from Energy Supply Security, Technological and Economic Aspects*, XXXIX. Kandó Konferencia 2023 Kiadvány kötet, ISBN: 978-963-449-357-0, 2024

9. A TÉZISFÜZETBEN HIVATKOZOTT IRODALOM

- [1] MEKH, *Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal*, 2022. [Online]. Available: <http://www.mekh.hu/energiastatisztika-riport>
- [2] I. Bodnár, D. Matusz-Kalász, Statistical Comparison Between Experimental and Numerical Simulation Results of The Solar Cell, 2021 22nd International Carpathian Control Conference (ICCC), <https://doi.org/10.1109/ICCC51557.2021.9454650>
- [3] EON Hungária Zrt. *Csatlakozási díjak KIF/KÖF hálózatra* (2023)
- [4] S. Bozsik, J. Szemán, G. Süveges, *Vállalati pénzügyek*, ISBN 978-615 5216-39-8. Miskolc. 2017
- [5] S. Oh, B.W. Figgis, S. Rashkeev, *Effect of thermophoresis on dust accumulation on solar panels*, Solar Energy Volume 211, 15 November 2020, Pages 412-417. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.09.053>
- [6] M.U. Ali, S. Saleem, H. Masood, K.D. Kallu, M. Masud, M.J. Alvi, A. Zafar, *Early hotspot detection in photovoltaic modules using color image descriptors: An infrared thermography study*, Int. J. Energy Res. 2021, 45, 1–12. <https://doi.org/10.1002/er.7201>
- [7] J. Weniger, T. Tjaden, V. Quaschnig, *Sizing of residential PV battery systems*, Energy Procedia Volume 46, 2014, Pages 78-87, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.160>
- [8] Y. Wu, Z. Liu, J. Liu, H. Xiao, R. Liu, L. Zhang, *Optimal battery capacity of grid-connected PV-battery systems considering battery degradation* Renewable Energy Volume 181, January 2022, Pages 10-23, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.09.036>
- [9] A. S. Hassan, L. Cipcigan, N. Jenkins, *Optimal battery storage operation for PV systems with tariff incentives*, Applied Energy Volume 203, 1 October 2017, Pages 422-441, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.06.043>
- [10] J. Somogyiné Dr. Molnár, *Gazdasági Aspektusok*, Előadás, Department of Electrical Engineering and Electronics, University of Miskolc, Miskolc, 2022.
- [11] J. Somogyiné Molnár, D. Szanlanczi, *Napelemes Rendszerek Megtérülési idejének vizsgálata*, Elektrotechnikai és Elektronikai Szeminárium 2022.; Miskolc, 2022; ISBN 978-963-358-279-4
- [12] B. Zsótér, *Vállalati gazdaságtan és pénzügyi ismeretek mérnököknek*. Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, Szeged, 2019.
- [13] S. Quoilin, K. Kavvadias, A. Mercier, I. Pappone, A. Zucker, *Quantifying self-consumption linked to solar home battery systems: Statistical analysis and economic assessment*, Applied Energy, Volume 182, 2016, Pages 58-67, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.08.077>.
- [14] C.J. Sarasa-Maestro, R. Dufo-López, J.L Bernal-Agustín, *Analysis of Photovoltaic Self-Consumption Systems*. Energies 2016, 9, 681. <https://doi.org/10.3390/en9090681>