



ÓBUDAI EGYETEM

Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Automatizálási és Energiarendszerek Intézet

SZAKDOLGOZAT

ÓE-KVK

2023.

Hallgató neve:

Kendernay Zsolt

Hallgató törzskönyvi száma:

T010561/FI12904/K



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Villamosenergetikai Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Kendernay Zsolt

Szkdolgozat száma: SZD2310251240273704

Törzskönyvi száma: T010561/FI12904/K

Neptun kódja:

Szak: Napeleemes rendszerek létesítése (szakmérnök)

Specializáció:

A dolgozat címe: Egyedi megoldású napeleemes rendszer alkalmazása a távközlésben

A dolgozat címe angolul: Application of unique solar system in telecommunications

A feladat részletezése: 1. Meglévő áramellátó rendszer ismertetése

2. Napeleemes rendszer tervezése

3. Létesítés

4. Telepítés előtti vizsgálatok, telepítés utáni mérések

5. Energiamérleg, megtérülés

Intézményi konzulens neve: Dr. Holcsik Péter

Külső konzulens neve: Papp András

Munkahelye:

A kiadott téma elévülési határideje: 2025. 12. 15.

Beadási határidő: 2023. 12. 15.

A szkdolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Budapest, 2023. 12. 07.

P.H

.....
Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom:

.....
belső konzulens

.....
külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM

Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült szakdolgozatban található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Budapest, 2023. december 08.


hallgató aláírása

TARTALOMJEGYZÉK

Bevezetés	3
1. Meglévő áramellátó rendszer bemutatása	4
1.1. Előzmények, kiindulási adatok	4
1.2. AC/DC egyenirányító, töltő	5
1.3. DC/AC inverter	8
1.4. Akkumulátortelepek	8
1.5. Fogyasztók bemutatása	9
1.6. Távfelügyeleti megoldás bemutatása	9
2. Napelemes rendszer tervezése	12
2.1. Energia szükséglet számítása, tárolás megoldása	12
2.2. Tájolás, földrajzi elhelyezkedés	12
2.3. Optimális napelem teljesítményének meghatározása	14
2.4. Napelem típusának, darabszámának megválasztása	14
2.5. Napelemes DC oldal villamos tervezése	17
2.6. DC/DC napelemes inverter (converter) kiválasztása	17
2.7. Villamos kialakítás megtervezésének leírása	22
2.8. Villámvédelem ismertetése	22
2.9. Tűzvédelem ismertetése	22
2.10. Egyvonalas kapcsolási rajz	22
2.11. Napelemes tartószerkezet tervezése	24
3. Létesítés	27
3.1. Napelemes tartószerkezet telepítése	27
3.2. A megvalósult napelemek látképe	29
3.3. DC/DC napelemes converter telepítése, integrálás a meglévő rendszerbe	30
3.3. Kábelezés, terminálás	32
4. Telepítés előtti vizsgálatok, telepítés utáni mérések	34
4.1. Előzmények, kiindulási adatok	34
4.1.1. Túlfeszültségvédelem, földelési ellenállás, ÉV mérés ellenőrzése	34
4.1.2. Teszt napelem tábla és napelemsor	35
4.1.3. Hálózati converter teszt példánya	42

4.1.4.	Tesztelésre használt napelemes converter modul.	43
4.1.5.	Meglévő 48V DC áramellátó rendszerhez illesztéslehetőségeinek műszaki vizsgálata. .	45
4.2.	VRLA és Lithium-ion akkumulátoros működés összehasonlítása.	45
4.2.1.	VRLA akkumulátorok.....	45
4.2.2.	Lithium-ion akkumulátorok.....	45
4.2.3.	VRLA és Lithium-ion akkumulátorok párhuzamos üzeme	46
4.3.	Előzetes működési modellezés teszt berendezésekkel.	47
4.3.1.	Teszt napelem tábla U-I görbéjének felvétele.	47
4.3.2.	Tesztelésre használt napelemes converter paramétereinek vizsgálata.	49
4.3.3.	Teszt áramellátók összekapcsolása és együttműködése.....	51
4.3.4.	Villamos létesítés előkészítése, teszt mérések elvégzése.....	53
4.4.	Műszaki átadás, ellenőrző mérések.....	54
4.4.1.	Napelem sztring műszeres vizsgálatok	55
4.4.2.	„A” állomás mérési eredményei	61
	Fény/hő mérés	61
	Uoc/Isc mérése	62
	Panel I/V mérés, karakterisztika vizsgálat	64
	Panel mérés	69
4.4.4.	„B” állomás mérési eredményei	70
	Fény/hő mérés	70
	Uoc/Isc mérése	71
	Panel I/V mérés, karakterisztika vizsgálat	73
	Panel mérés	78
4.4.5.	Hőkamerás vizsgálatok	79
5.	Energiamérleg, megtérülés	83
5.1.	Napelemes energiatermelés prognosztizálása.....	83
5.2.	Egy év üzem termelési eredményei.....	86
5.3.	Megtérülés számítás nagyvállalati környezetben, SLA értelmezés más megvilágításban.....	87
	ÖSSZEFOGLALÓ	90
	SUMMARY	91
	ALKALMAZOTT SZABVÁNYOK ÚTMUTATÓK, ADATLAPOK	92
	ÁBRAJEGYZÉK	93

BEVEZETÉS

Az MVM NET Zrt. az MVM vállalatcsoport tagjaként, kimagasló megbízhatóságú hálózatán kritikus rendelkezésre állást igénylő távközlési szolgáltatásokat biztosít elsősorban az MVM Csoporton belüli, valamint állami, és illetve nagykereskedelmi ügyfelei számára. Megfelelve a kor követelményeinek és a nemzeti energiahatékonysági célkitűzéssel összhangban szervezeti célul tűzte ki, hogy csökkenti az ökológiai lábnyomát, az energia-felhasználás hatékonyságára és éves szinten energiamegtakarítás elérésére törekszik a villamosenergia felhasználásának területén is. Az elképzelés számos gépészeti megoldásának megvalósítását követően tovább folytatódik a távközlési berendezések energiaszükségletének alternatív ellátásában is, melynek egyik gyakorlati megvalósítási eleme a zsinóráram felhasználás csökkentése, az arra műszakilag alkalmas távközlési állomásain. A csökkentés egyik alternatív megoldásaként lett kiválasztva a részben napelemmel történő energia ellátás, ennek is azon változata, mely hálózati visszatáplálás nélkül, közvetlen a fogyasztó berendezésekben történő energiahasznosítást tesz lehetővé. Első lépésként 2021-ben az elképzelések kerültek asztalra, majd a különböző alternatívák felsorakoztatása után, megvitatva az előnyök és hátrányok sokaságát, egy kompromisszumos megoldásként az elméletből gyakorlatba ültethető változat körvonalazódott. Megkezdődtek a szükséges tesztelések, tervezések, majd 2022-ben a terveket kivitelezési munkálatok követték, melyek eredménye képpen két állomáson PILOT rendszer kiépítése valósult meg. A PILOT rendszerek üzemeltetési tapasztalatait és termelési mutatóit felhasználva a jövőben további következtetések vonhatóak le a hatékonysági mutatók növelése, valamint a megoldás működésének értékelése, illetve szélesebb körben történő alkalmazhatóságának érdekében. A szakdolgozatban a két PILOT állomás „A” és „B” állomás megnevezéssel kerül említésre. A PILOT rendszer műszaki átadása és a szakdolgozat készítése között pont egy év telt el, így az eredmények kiértékelése egy évre alapoznak.

A részben sziget üzemű rendszerek a zöldítés mellett egyben, a távközlési állomások energia ellátási stabilitását is növelik, mely SLA (Service Level Agreement) üzemeltetés biztonsági növekedést is eredményeznek. A megoldás előnyei és hátrányait az alábbiakban foglalom össze:

- + Könnyen integrálható,
 - + egyszerűen bővíthető,
 - + gyorsan, DSO áramszolgáltató engedélye nélkül telepíthető,
 - + gazdaságos üzemeltetés,
 - + nincs hálózatra táplálás, relatíve nem okoz betáplálással járó elosztási, termelési problémákat, nem kapcsol le az inverter
 - + hálózati rátáplálás műszaki követelményeit nem kell teljesíteni, mert nincs,
 - + nincs kiépítendő energiatárolás, mert már van,
 - + áramszünet esetén is termel, SLA erősítés.
-
- Kismértékű rendszer kihasználatlanság csúcstermelés idején,
 - meghatározott fogyasztásnál optimális, változó terhelésnél változnak a megtérülési, működési mutatók,
 - relatív kis rendszer létesíthető, ami elosztott decentralizáltsága miatt alacsonyabb szumma hatásfokban jellemezhető, mint egy nagy rendszer,
 - létesítésben a sok „kicsi” elosztott rendszer, sok „nagy” feladatot jelent.

1. MEGLÉVŐ ÁRAMELLÁTÓ RENDSZER BEMUTATÁSA

1.1. Előzmények, kiindulási adatok

Az alapfeladat ellátásához energetikai szempontból minden állomáson megfelelő mennyiségű készülékredundanciát, valamint minimálisan 4 óra akkumulátoros rendelkezésre állási áthidalási időt szükséges biztosítani az esetleges meghibásodások, áramszünetek okozta problémák, készülék leállások elkerülése érdekében. Ez pontosan meghatározott akkumulátor kapacitás mennyiséget és gyenge, valamint erősáramú technológiát kíván meg. A technológia, különböző energia elosztók, inverterek, vezérlő berendezések és távfelügyeleti megoldásokat jelent, melyet fix telepítésű akkumulátorok segítenek az áthidalási idő biztosításában. Hosszabb idejű áramszünet esetében elsősorban robbanómotoros áramfejlesztők kerülnek csatlakoztatásra, melyek a hálózati zsinóráram helyett képesek az állomás működését zavartalanul biztosítani. A technológiai berendezések állomásonként autonóm módon, de egységes rendszerként üzemelnek, melyhez a célkitűzés szerinti napelemes energiaellátást hozzá kell integrálni. Ennek eredménye képen az állomások a napelemből történő energiaellátással együtt bizonyos feltételek megléte esetén (pl.: elegendő napsütés) képesek az áthidalási időt megnövelni, mely áramszünet, vagy részleges meghibásodás esetén egyben hosszabb beavatkozási időt is eredményez, esetlegesen szükségtelenné is teszi azt, mely így további energia és OPEX felhasználást takarít meg (kivonuló személyzet, jármű üzemanyagfelhasználása stb.).

Az állomásokon 2022-ben és 2023-ban az 1-es és 2-es táblázat szerinti távközlő berendezés fogyasztási értékeket mértem. Az adatokból látható, hogy az „A” állomás fogyasztása a PILOT kezdetétől számítva 500W-al felfelé változott, melyet, egy év közbeni eszköz bővítés eredményezett. Továbbá a „B” állomás fogyasztása jellemzőek kisebb az „A” állomásénak (megközelítőleg annak csak a 66%-a).

A távközlési állomáson található berendezések villamos energiaigényei az alábbiak szerint alakulnak. A táblázatban feltüntetett értékek kézi lakatfogós méréssel, annak mérési pontatlanságával, illetve a távfelügyeleti rendszerből kiolvasott pillanatnyi értékeket is tartalmazza, ebből adódóan kismértékű eltéréseket mutat.

	Állomás A	Állomás B
Fogyasztó 1 áram [A]	10,75	11,41
Fogyasztó 2 áram [A]	14,71	15,46
Fogyasztó 3 áram [A]	8,63	9,61
Fogyasztó 4 áram [A]	9,34	0,49
Fogyasztó 5 áram [A]	4,26	0,25
Fogyasztó 6 áram [A]	0,25	
Összes fogyasztó árama [A]	47,94	37,22
Töltő áram [A]	48,25	37,4
Rendszer feszültség [V]	54,05	54,03
Összes teljesítmény [W]	2591	2010

1. ábra 2022-es kiinduló fogyasztási adatok¹

¹ Készítette: Kendernay Zsolt

	Állomás A	Állomás B
Fogyasztó 1 áram [A]	11,89	11,89
Fogyasztó 2 áram [A]	21,4	16,46
Fogyasztó 3 áram [A]	8,63	10,31
Fogyasztó 4 áram [A]	10,34	0,48
Fogyasztó 5 áram [A]	5,06	0,25
Fogyasztó 6 áram [A]	0,25	
Összes fogyasztó árama [A]	57,57	39,39
Töltő áram [A]	57,8	38,6
Rendszer feszültség [V]	54,05	54,03
Összes teljesítmény [W]	3113	2075

2. ábra 2023-as fogyasztási adatok ²

A konténerekben a környezeti paraméterek (hőmérséklet, páratartalom) állandó szinten tartásához 230V-os inverteres klíma berendezés, illetve kiegészítő elektromos fűtőtest, valamint mindezt összetett automatizálással ellátott átszellőztető berendezés van telepítve. Ezeknek a berendezéseknek a PILOT állomásokon nincsen szünetmentesített energia biztosítva, ezért a napelemes rendszerből semmilyen módon nem táplálható, így a tervezés során sem lett figyelembe véve. A PILOT kizárólag -48VDC energiával üzemelő berendezésekre fókuszál.

1.2. AC/DC egyenirányító, töltő

Mindkét állomáson ELTEK AC/DC áramellátó rendszer üzemel. Az „A” állomáson újabb, a „B” állomáson egy régebbi sasszéval rendelkező modell található. A két áramellátó rendszer azonos villamos paraméterekkel rendelkezik, a vezérlésükben és a fizikai kialakításukban kis mértékben térnek el egymástól. Mindkét állomáson az alábbi 2db töltőfiók található.

² Készítette: Kendernay Zsolt

Flatpack2 48V HE Rectifiers ELTEK

A Delta Group Company

Model		48V / 3000W HE
Part number		241119.105
INPUT DATA		
Voltage (nominal)		176 - 277 V _{AC}
Voltage (range)		85 - 305 V _{AC}
Frequency		45 - 66 Hz
Current (maximum) @ nominal input, full load		19.2 A _{RMS}
Protection		Fuse in both lines Varistor for transient protection Disconnect above 305 V _{AC}
OUTPUT DATA		
Voltage (default)		53.5 V _{DC}
Voltage (adjustable range)		43.2 - 58 ²⁾ V _{DC}
Power (maximum)		3000 W
Power @ 85 V _{AC}		1380 W
Current (maximum) @ nominal input, full load		62.5 A
Ripple, 30MHz bandwidth		< 150 mV _{pp}
Psophometric noise		< 2 mV _{RMS}
Static Voltage regulation		±0.5% for 10 - 100% load
Dynamic Voltage regulation		±5.0% for 10-90% or 90-10% load variation, regulation time < 50ms
Protection		Fuse, Short circuit proof, High temperature protection, Hot plug-in inrush current limiting
OTHER SPECIFICATIONS		
Efficiency @ nominal input		96 %
Isolation		5.0 kV _{DC} - input to output, 2.5 kV _{DC} - input to earth, 710 V _{DC} - output to earth
Operating temperature		-40 to +75°C (-40 to +167°F) ⁴⁾ , humidity 5 - 95% RH non-condensing
Temperature de-rating		>55°C ³⁾ (131°F), 2100W @ 75°C (167°F) ⁴⁾

3. ábra Az állomásokon alkalmazott ELTEK töltőfiókok paramétereiről³

Mindkét rendszer 1+1 redundáns kialakításban üzemel, két AC 230V-os hálózati fázisról, valamint két DC akkumulátor csatlakozással rendelkezik. A rendszerekben jelenleg 1db Eltek Smartpack 2 saszé van egy 19"-os rack szekrénybe beépítve. Amelyben van 1db vezérlőmodul és 2db 3000W-os 48VDC

³ <https://www.eltek.com/globalassets/imported-documents/open/datasheet-flatpack2-48v-he-rectifiers-ds---24111x.105.ds3---1---7---1.pdf> (utolsó megtekintés: 2023.11.27)

töltő modul párhuzamos üzemben így biztosítva a redundanciát. A 48VDC sínre (töltő kimenete) csatlakoznak a DC fogyasztók, az akkumulátor telep (2x4db 12V 100Ah front terminálos akkumulátor) és egy TSI inverter, amelynek a bementét a 48VDC sínről tápláljuk, a kimenté pedig 230VAC. Az inverter kimenetére csatlakoznak az AC fogyasztók. Az 1+1 redundáns üzemmód fenntartása mellett a maximálisan, biztonsággal kivethető folyamatos áramerősség -48V-on 62,5A. Ennél nagyobb áram igény esetén további töltőfiókokat kellene üzembe helyezni. Mindkét állomás esetében a fogyasztás 62,5A alatti értékű, ezért a beépített áramellátók bővítése nem szükséges.



4. ábra „A” állomás energiaellátója a fogyasztói leágazásokkal⁴



5. ábra „B” állomás energiaellátója⁵

⁴ Fényképezte: Kendernay Zsolt

⁵ Fényképezte: Kendernay Zsolt

1.3. DC/AC inverter

Az állomásokon praktikussági és gazdasági okokból a rendelkezésre álló -48V-ból kerül előállításra szünetmentesített 230V AC energia. Ezt a CE+T Power TSI NOVA fantázia nevű moduláris DC/AC inverterével oldjuk meg az 1.2. pontban vázoltak szerint.



6. ábra TSI NOVA inverter⁶

1.4. Akkumulátortelepek

Mindkét állomáson 2x4db FIAMM 12FIT151 VRLA AGM (Valve Regulated Lead Acid, Absorbent Glass Mat) szelepvezérelt abszorbens üvegaplan ólom akkumulátorok üzemelnek.

BATTERY TYPE	NOMINAL VOLTAGE (V)	CAPACITY (Ah) 10 H to 1.8 VPC at 20°C	SHORT CIRCUIT CURRENT (A) IEC 60896 21-22	INTERNAL RESISTANCE (mOhm) IEC 60896 21-22	NOMINAL DIMENSIONS (mm)			TYPICAL WEIGHT (kg)
					Length	Width	Height	
12FIT151	12	150	2600	4.8	110	531	316	49

7. ábra Az alkalmazott akkumulátortípus paramétereit⁷

A kiépítés redundáns, 2x48V/150Ah, melyek állomásonként nominálisan 2x7,2 kWh villamos energiatároló kapacitást jelentenek. Az állomások áramfelvétele a PILOT kezdetekor 2022 novemberében -48V-on 48A és 37A volt, mely maximálisan 6,25 óra illetve 8,1 óra áthidalási időt tudott biztosítani. Azonban az eltelt egy év alatt a fogyasztási adatok kissé megváltoztak, így 2023 novemberében már az állomások aktuális áramfelvétele alapján a számított áthidalási idő -48V-on 59A és 39A figyelembevételével történt, ami így maximálisan 5,08 óra illetve 7,69 óra időre csökkent. Látható, hogy egy akkumulátor csomag meghibásodása esetén az idő felezése mellett a rendszer már sehol nem képes az előírt minimálisan 4 órás áthidalási időt biztosítani.

⁶ https://cdn.cet-power.com/uploads/2021/03/CET-Modular-Inverter-Datasheet-Nova-TSI-48Vdc_230Vac_750VA-EN-v1.3.pdf (utolsó megtekintés: 2023.11.27)

⁷ https://www.fiamm.com/fileadmin//user_upload/FIT_FOLDER_EMEA_ENG.pdf (utolsó megtekintés: 2023.11.27)



8. ábra „A” állomás egyik akkumulátortelep csoportja⁸

1.5. Fogyasztók bemutatása

Mindkét állomás távközlési csomópontként funkcionál, mely alapvetően optikai kapcsolatokra épülő WDM és IP alapú technológiák berendezéseivel valósít meg összeköttetéseket a TSO és DSO között. Az áramfelvételek az 1-es és 2-es táblázat szerint alakulnak.

Az -48V-on történő egyenárammal ellátott berendezések

- Alcatel WDM
- Juniper router
- TSI DC/AC inverter
- Egyéb, infrastruktúra felügyeleti berendezések (vagyonvédelem, akkumulátorfelügyelet, aktív és passzív eszköz felügyelet)

1.6. Távfelügyeleti megoldás bemutatása

Az állomásokon két féle energiaellátási távfelügyelet üzemel egymást kiegészítve. Az egyik az ELTEK töltő beépített vezérlőjének távfelügyeleti megoldása, a másik kimondottan az akkumulátorok paramétereit figyelő IMSB távfelügyeleti megoldás, ami a VKI Kft. fejlesztésében valósult meg. Mindkét rendszer IP alapú távfelügyeleti megoldást biztosít WEB, SSH, Telnet és SNMP, mint leggyakrabban alkalmazott kommunikációs protokollokkal.

⁸ Fényképezte: Kendernay Zsolt



9. ábra Intelligens Akkumulátor Felügyeleti Rendszer – IMSB⁹

A töltő távfelügyeleti felületén sematikus állapotmegjelenítéssel, figyelemmel kísérhetők a fontosabb rendszer paraméterek, valamint grafikus diagramm formában figyelemmel kísérhetők a DC rendszerfeszültség, áram és hőmérséklet értékek, melyeket a rendszer LOG formájában is tárol, valamint hibás értékek esetén riasztást generál a távfelügyeleti központ felé.



10. ábra ELTEK töltő web felülete, sematikus rendszerábrával¹⁰

Intelligens Akkumulátor Felügyeleti Rendszer - IMSB

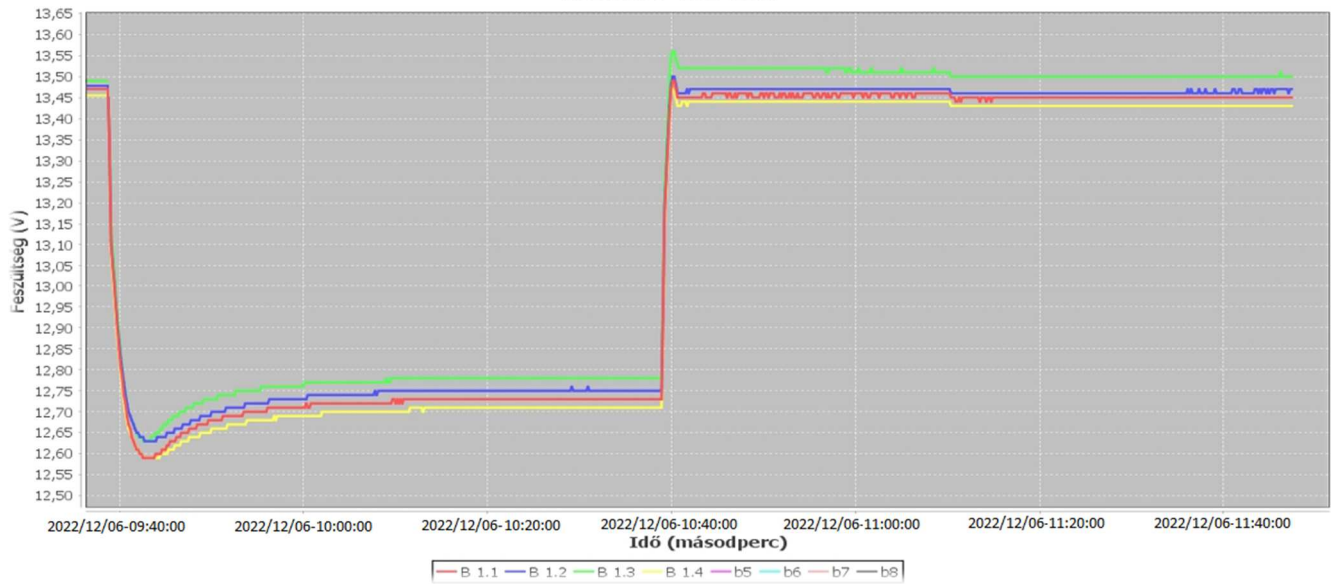
A szünetmentes áramellátó rendszerek egyik fő alkotóeleme a hátténergiát biztosító akkumulátortelep illetve telepcsoport, ezért kiemelt fontosságú feladat az akkumulátorok minőségének, állapotának folyamatos felügyelete. A nem megfelelő akkumulátortelep kritikus helyzetekben, amikor valójában szükség van az eltárolt energia kinyerésére, veszélyezteti a szünetmentes áramellátást. Egy hibás telep miatt összeomolhat a teljes szünetmentes áramellátó rendszer.¹¹

⁹ Fényképezte: Kendernay Zsolt

¹⁰ Képkivágás: Kendernay Zsolt

¹¹ <https://www.vkibt.hu/akkumulatorfelugyelet/> (utolsó megtekintés: 2023.11.27)

20221206 - 20221206



11. ábra IMSB akkumulátor távfelügyeleti rendszer akkumulátortesztelés közben¹²

Az IMSB készülék alapvetően a beépített akkumulátorok paramétereit hivatott 7/24 órában monitorozni, LOG-olni, a kívánt paraméterektől eltérő értékek esetén riasztási jelzést küldeni a távfelügyeleti központ felé. A fenti diagramm kisütési tesztelés közben a feszültségszinteket mutatja.

¹² Képkivágást készítette: Kendernay Zsolt

2. NAPELEMES RENDSZER TERVEZÉSE

2.1. Energia szükséglet számítása, tárolás megoldása

A két állomás energiaszükséglete -48V-on 37A és 48A körül alakul (2022-ben). Ehhez az áram értékhez azonos nagyságrendben kerestem megoldást, amely már 90%-os napsütés intenzitása esetén képes az állomást az igényelt árammal ellátni, de a nyári hónapokban dominánsan jelentkező teljes napsütés esetén sem keletkezik még olyan nagy mennyiségű energia többlet, melyet a rendszer nem képes kiaknázni. Elsődleges cél a teljes termelési idő, napi 24h alatt elérhető energia azonnali felhasználása a helyi fogyasztókban, továbbá igény esetén hálózathoz kiegészíteni a szükséges mértékig.

Teljes napsütés esetén 10%-os elméleti teljesítmény többlet keletkezhet ugyan, melyet klasszikusan célszerű lenne eltárolni és kisebb napsütéses, vagy éjszakai időszakban felhasználni. Azonban, az előzetes megtérülési számítások, valamint az akkumulátor élettartam paramétereknek figyelembevételével az a döntés született, hogy sem műszakilag, sem gazdaságilag nem racionális az időnként 10%-os többlet energia mennyiség kapcsán annak a felhasználásában gondolkodni. Ugyanis a jelen technológiai lehetőségek mellett nagyobb környezetszennyezéssel járna a teljes élettartam alatt számítva (kb. 25 év) a töltés-kisütés ciklusok alacsony értéke miatt (kb.: maximum 300-400) a viszonylag gyakran cserére szoruló akkumulátorok miatt. Az állomáson alkalmazott VRLA akkumulátorok nem ilyen felhasználásra optimalizáltak, a kicserélésük több töltés-sütés ciklust elviselő munkaakkumulátorokra esetleg későbbi időpontban megfontolásra kerülhet. Azonban addigra feltehetően már lítium alapú akkumulátor technológia jönne számításba, melynek a bekerülési költsége jelenleg még irreálisan magas, és a távközléshez jelen időpontig nincs még olyan elterjedt megoldás kifejlesztve, amilyen a gépjárművekben terjedőben van. Vagyis, ami a napi szinten megjelenő energiát képes eltárolni, és 24 órán belül leadni, mindezt legalább 2-4000 ciklus során is, ami legalább 5-10 üzemévben mérhető.

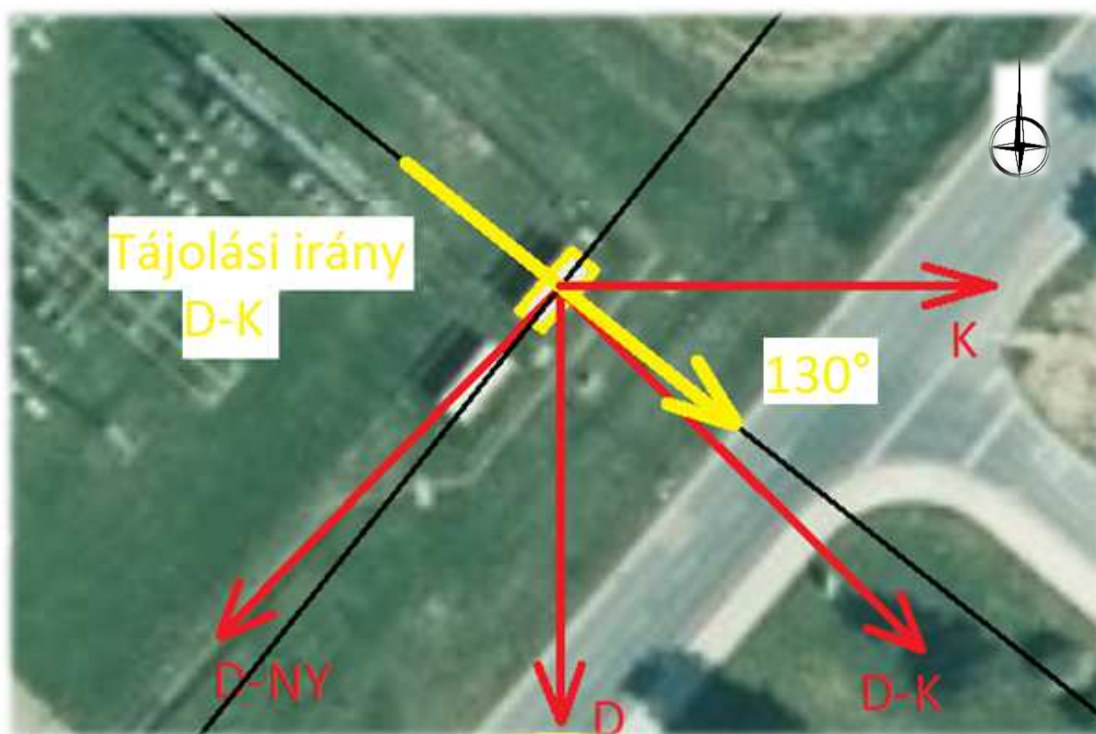
Fentiek ismeretében az állomásokon változatlanul beépítve maradnak az eredeti puffer üzemű akkumulátorok.

2.2. Tájolás, földrajzi elhelyezkedés

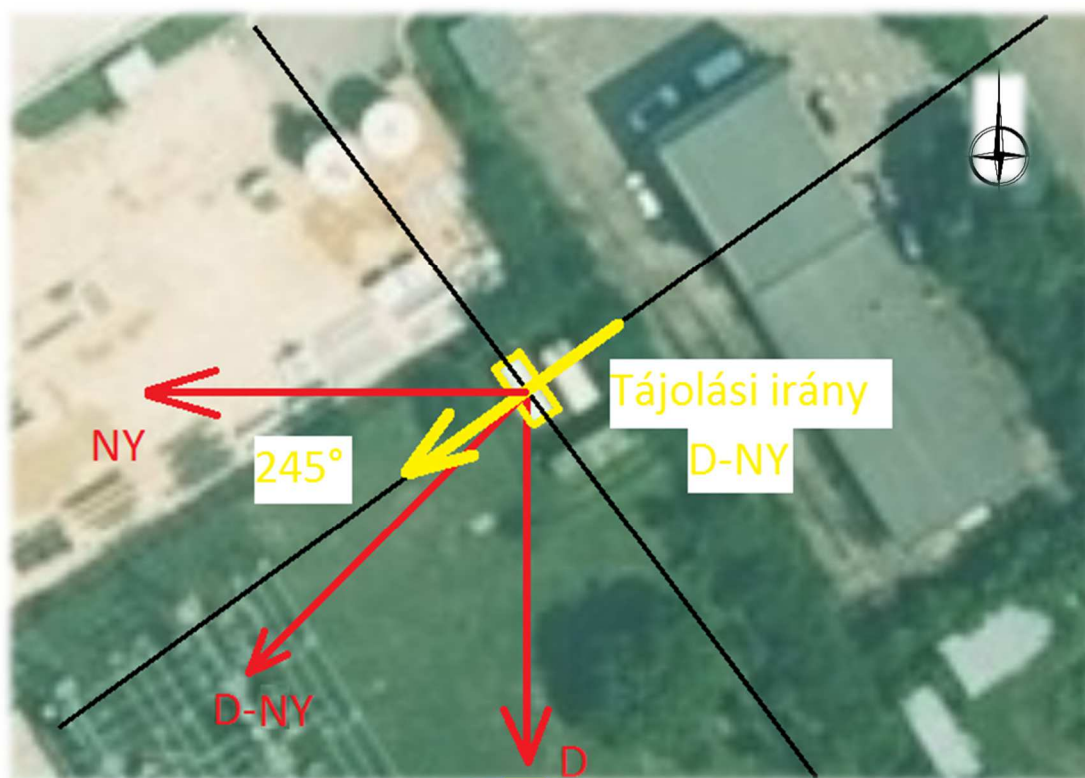
Az állomásokra telepített napelemek igazodnak a helyi elhelyezési adottságokhoz, mely „A” állomás esetében D-K (dél-keleti) irányt és 130° , „B” állomás esetében pedig D-Ny (dél-nyugati) irányt és 245° eredményezett.

A földrajzi elhelyezésben a két állomás tájolása között 115° szögeltérés van. Azonos fogyasztási értékek esetén a különbségből származó termelési mutatók megfigyelhetőek lennének az idő múlásával, azonban az eltérő fogyasztási értékek mellett abszolút értékeket nem fogunk kapni.

Mindkét állomás esetében napkeltétől-napnyugtáig teljesen árnyékmentes elhelyezésű a rendszer.



12. ábra „A” állomás tájolása¹³



13. ábra „B” állomás tájolása¹⁴

¹³ Készítette: Kendernay Zsolt

¹⁴ Készítette: Kendernay Zsolt

2.3. Optimális napelem teljesítményének meghatározása

Az állomásokon a redundáns DC töltő rendszer 62,5A áramot tud biztosítani, ezért ennek az 1,1 szerezésénél (az 1,1 szerezés érték egy tapasztalati úton megválasztott szorzó, mely mellett még egyszeres töltő meghibásodás esetén biztonsággal kivehető energia a rendszerből) 68,75A-nál nagyobb áramot napelem táblában sem szükséges biztosítani ($68,75A \cdot 54V = 3712W$). Itt, eltekintettem a DC/DC konverziók veszteségi hatásfokától és a különböző egyéb (vezeték) veszteségektől, mert az értékük elenyészően csekély ahhoz, hogy érdemben befolyásolják a rendszer működését. Az állomások fogyasztási értékeit az alábbiak szerint kerekítjük.

- A állomás állandó fogyasztásának árama $38A \rightarrow 51A \rightarrow 2754W$
- B állomás állandó fogyasztásának árama $48 \rightarrow 64A \rightarrow 3456W$
- töltő árama $62,5A \rightarrow 3375W$
- töltőrendszer maximális árama $68,75A \rightarrow 3712W$

A berendezések (tervezési fázisban 2022-ben) kerekítve 40A és 50A áramot vesznek fel -48V-on (ami a valóságban -54V). Az áram értéket 33%-al megnövelve (itt az 33%-os szorzó a fogyasztók várható illetve változó teljesítménynövekedését prognosztizálja) 63-64A-es maximális áramot kapunk. Ez $64A \cdot 54V = 3456W$ a biztonsági szorzóval ($50A \cdot 54V \cdot 1,33 = 3591W$). Ebből, illetve az előző pontban részletezett eltárolási korlátozottságból adódik, hogy 3591W-nál nagyobb mennyiségű napelem táblát telepíteni célszerűtlen lenne. Az optimális érték a 2700W és 3591W között elfogadható.

2.4. Napelem típusának, darabszámának megválasztása

A napelem tábla kiválasztását a mechanikai és villamos paraméterek figyelembevétele mellett leginkább a piaci elérhetőség befolyásolta (a beszerzési időszak egybeesett azzal, mely során, a piacon elérhető kínálat erősen visszaesett 2022. év szeptember-október). Így a kiválasztott tábla egy középkategóriás színvonalat képvisel, mely 12-25 éves minimális üzemévből garantált az adatlap szerinti paraméterekre. A tábla mérete $1,8m^2$, ezért 8db tábla $14,4m^2$ felületet eredményez, amely a tervezési adatok szerint pont elfér a tartón. A csúcsteljesítmény nominális értéke táblánként $375W_p$, melyből 9db már $3375W_p$ lenne, de nem férne el. Így, az elégségesnek bizonyuló $8 \cdot 375W_p = 3kW_p$ lett választva, ami a megfelelő 2700-3591W közötti értéknek. A várható DC oldali legnagyobb feszültség a tábla paraméterei alapján így 330V, legnagyobb áramerősség 11,6A. Természetesen STC alapértékeket vettem figyelembe, mely paraméterek tényleges értékei a megvilágítástól függően akár nagyobbak is lehetnek. A kiválasztott tábla $206W/m^2$ hatásfokkal (20,6%) bír, ugyanakkora méretben $250W/m^2$ (25%) lenne a kívánatos ahhoz, hogy $14,4m^2$ -re el lehessen helyezni a maximális teljesítményt, de ilyen hatásfokú napelem táblát a tervezés fázisában elfogadható ár/érték arányban nem lehetett a piacon elérni. Mivel a 8db tábla 3000W-os összteljesítménye is kielégíti a $>2700W$ -os értéket, ezért megfelelő.

A munkapontban a rendszer várhatóan maximálisan $8 \cdot 34,6V \cdot 10,84A = 3kW_p$ teljesítmény leadására képes. Optimális hőmérsékleti viszonyok mellett, teljes besugárzás esetén ez várhatóan valamivel nagyobb értéket is eredményezhet amennyiben a megvilágítás értéke meghaladja az STC $1000W/m^2$ értéket.

A kiválasztott napelem tábla a LONGI alábbi típusa lett: LR4-60HPH-375M

Hi-MO 4_m

LR4-60HPH

365~385M

- Suitable for distributed projects
- Advanced module technology delivers superior module efficiency
 - M6 Gallium-doped Wafer
 - 9-busbar Half-cut Cell
- Excellent outdoor power generation performance
- High module quality ensures long-term reliability



12-year Warranty for Materials and Processing



25-year Warranty for Extra Linear Power Output

Complete System and Product Certifications

IEC 61215, IEC 61730, UL 61730

ISO9001:2015: ISO Quality Management System

ISO14001:2015: ISO Environment Management System

ISO45001:2018: Occupational Health and Safety

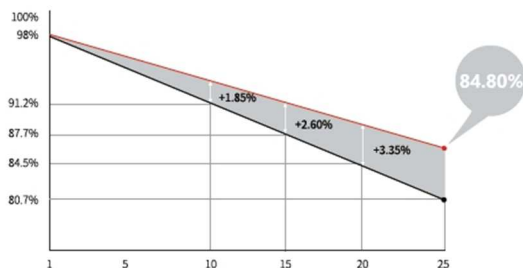
IEC62941: Guideline for module design qualification and type approval

LONGi

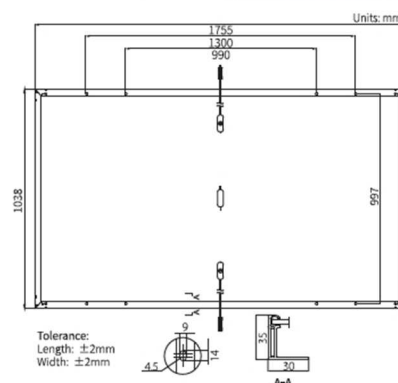
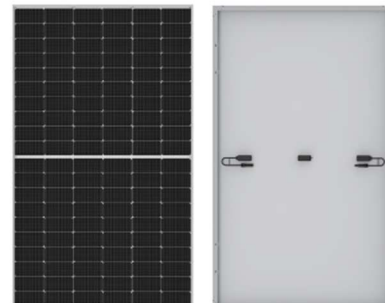


14. ábra Gyártói adatlap¹⁵

¹⁵ https://static.longi.com/Hi_MO_4m_LR_4_60_HPH_365_385_M_2f4a758369.pdf

Hi-MO 4_m**LR4-60HPH 365~385M****21.1%**
MAX MODULE
EFFICIENCY**0~3%**
POWER
TOLERANCE**<2%**
FIRST YEAR
POWER DEGRADATION**0.55%**
YEAR 2-25
POWER DEGRADATION**HALF-CELL**
Lower operating temperature**Additional Value****25-Year Power Warranty****Mechanical Parameters**

Cell Orientation	120 (6×20)
Junction Box	IP68, three diodes
Output Cable	4mm ² , +400, -200mm/±1200mm length can be customized
Glass	Single glass, 3.2mm coated tempered glass
Frame	Anodized aluminum alloy frame
Weight	19.5kg
Dimension	1755×1038×35mm
Packaging	30pcs per pallet / 180pcs per 20' GP / 780pcs per 40' HC

**Electrical Characteristics**STC : AM1.5 1000W/m² 25°CNOCT : AM1.5 800W/m² 20°C 1m/sTest uncertainty for P_{max}: ±3%

Module Type	LR4-60HPH-365M		LR4-60HPH-370M		LR4-60HPH-375M		LR4-60HPH-380M		LR4-60HPH-385M	
Testing Condition	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (P _{max} /W)	365	274.2	370	277.9	375	281.7	380	285.5	385	289.2
Open Circuit Voltage (V _{oc} /V)	40.7	38.3	40.9	38.5	41.1	38.6	41.3	38.8	41.5	39.0
Short Circuit Current (I _{sc} /A)	11.43	9.27	11.52	9.34	11.60	9.41	11.69	9.48	11.77	9.54
Voltage at Maximum Power (V _{mp} /V)	34.2	31.8	34.4	32.0	34.6	32.2	34.8	32.4	35.0	32.6
Current at Maximum Power (I _{mp} /A)	10.68	8.61	10.76	8.68	10.84	8.75	10.92	8.81	11.00	8.88
Module Efficiency(%)	20.0		20.3		20.6		20.9		21.1	

Operating Parameters

Operational Temperature	-40°C ~ +85°C
Power Output Tolerance	0 ~ 3%
V _{oc} and I _{sc} Tolerance	±3%
Maximum System Voltage	DC1500V (IEC/UL)
Maximum Series Fuse Rating	20A
Nominal Operating Cell Temperature	45±2°C
Protection Class	Class II
Fire Rating	UL type 1 or 2 IEC Class C

Mechanical Loading

Front Side Maximum Static Loading	5400Pa
Rear Side Maximum Static Loading	2400Pa
Hailstone Test	25mm Hailstone at the speed of 23m/s

Temperature Ratings (STC)

Temperature Coefficient of I _{sc}	+0.050%/°C
Temperature Coefficient of V _{oc}	-0.265%/°C
Temperature Coefficient of P _{max}	-0.340%/°C

LONGi

No.8369 Shangyuan Road, Xi'an Economic And
Technological Development Zone, Xi'an, Shaanxi, China.
Web: www.longi.com

Specifications included in this datasheet
are subject to change without notice.
LONGi reserves the right of final
interpretation. (20220810V16)

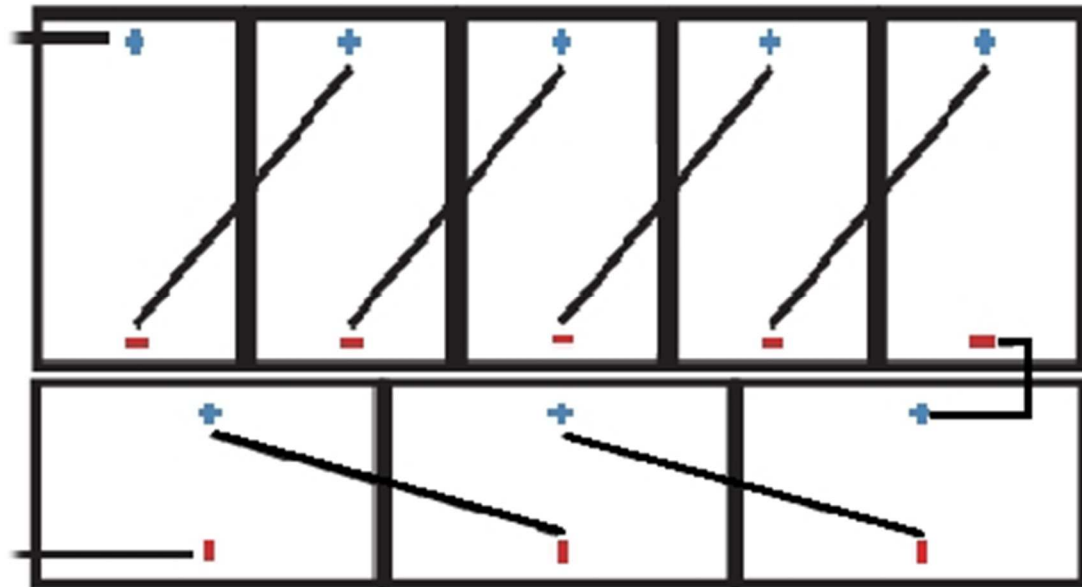
15. ábra Gyártói adatlap paramétere¹⁶

¹⁶ https://static.longi.com/Hi_MO_4m_LR_4_60_HPH_365_385_M_2f4a758369.pdf (utolsó megtekintés: 2023.11.27)

2.5. Napelemes DC oldal villamos tervezése

A tartószerkezetre szerelt napelem táblák összekötési lehetőségeire, a gyártó, a telepítési útmutatójában¹⁷ különböző megoldásokat ajánl, de ettől eltérő elrendezést is lehetne alkalmazni. Cél, hogy a kábelezés megoldható legyen közvetlen összekötésekkel, a gyári bekötővezetékek toldása nélkül.

A tervezés során az alábbi elrendezést alakítottam ki, melyet a telepítés során követni kell.



16. ábra Összekötési elrendezés¹⁸

2.6. DC/DC napelemes inverter (converter) kiválasztása

Az állomásokon a berendezések szabványos ISO konténerekben vannak elhelyezve, melyek tetejére telepítendő tartószerkezeten kerül elhelyezésre a 8db 375W-os napelem tábla. A táblák egy sztringet alkotnak, mely 3000W_p teljesítményt képes leadni. Ehhez mérten kerestem teljesítményben azonos képességű 1 Rack unit magasságba beépíthető DC/DC converter megoldást, mely közvetlen -48V DC kimenettel rendelkezik, valamint IP-n menedzselhető. Bemeneti oldalon 1-1 sztring elegendő a feladat ellátására.

A hálózati töltőket gyártó ELTEK rendelkezik olyan áramellátó rendszerrel, mely a hálózati és a napelemes termelés energiáját egy készülékben is kezelni tudja, azonban ennek felhasználása a teljes rendszer leállításával és kicserélésével járna. Olyan megoldást kerestem, mely a rendszerbe, leállítás nélkül, kényelmesen beintegrálható, és e mellett költséghatékonyan telepíthető és gazdaságosan üzemeltethető.

A választás az enetek gyártó napelemes solar töltő megoldására esett, mely a fenti követelményeknek megfelel, illetve önálló IP alapú távfelügyelettel is rendelkezik.

¹⁷ 18.-Manual-de-Instalacion-Longi.-EN.pdf (utolsó megtekintés: 2023.11.27)

¹⁸ Készítette: Kendernay Zsolt

A megoldás nem a legideálisabb a DC oldali töltés szabályozása szempontjából, mivel a két töltő rendszer nem kommunikál egymással, azonban PILOT megoldás lévén elfogadhatók a kompromisszumok.



SMU01

Smart Monitoring Unit



ETS+ 3248

Efficient : Trusted : Sustainable

PRODUCT DESCRIPTION

The fully Digital Controlled ETS+ 3248 Solar Converter module is designed with MPPT algorithm, provides real time power tracking and efficiency above 97% for renewable Power in telecom and the other industries.

The modularity design, coupled with its cost effectiveness package, power density and reliability, ensures the overall availability of the system solution.

KEY FEATURES

- **MPPT**
Maximum Power point Tracking
- **Highly Efficient @ >97%**
Reduces losses and lowers operating costs
- **Excellent EMC Performance**
Lower interference and excellent susceptibility
- **Wide Input Voltage Range**
Support High String Voltage up to 430Vdc
- **Wide Temperature Range**
Applications in harsh climatic conditions
- **Compliant with Global Standards**
Delivers quality, performance and reliability in power solutions

17. ábra enetek controller és converter¹⁹

¹⁹ <https://www.enetek-power.com/wp-content/uploads/2023/09/ETS3248-392010.200-Solar-Converter-Module-Rev.1.0.pdf> (utolsó megtekintés: 2023.11.27)

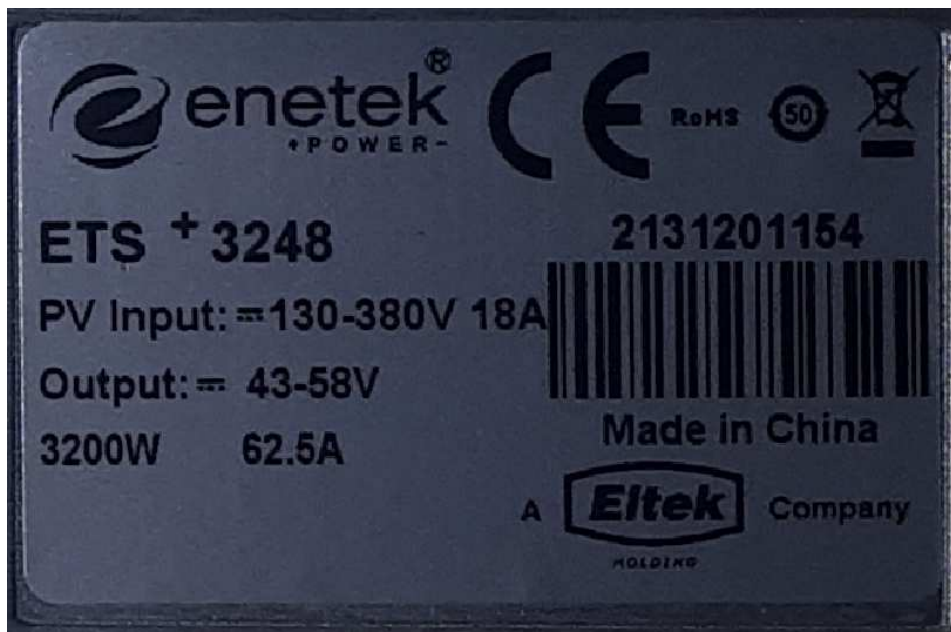
TECHNICAL SPECIFICATIONS

MODEL		SMU01
Compatibility	Enetek's range of rectifier solutions	
SPECIFICATIONS		
Input Voltage Range / Power	18Vdc to 60Vdc @ 27W	
Display	1.5" LCD	
User Interface	3 x LED, 4 x user buttons	
Communication Interface	USB, RS485, TCP/IP (Modbus), SNMP	
Operating Temperature Range	-40 to +75°C	
Storage Temperature Range	-40 to +85°C	
Relative Humidity	Operating: 0%-95% non-condensing; Storage: 0%-99% non-condensing	
MTBF	>300,000hrs (Ambient temp of 25°C)	
Weight	< 0.5kg	
Dimensions	108(W) x 220(D) x 43(H) mm	

MODEL		ETS ⁺ 3248
Capacity	3200W	
DC INPUT		
Voltage Range	85Vdc to 430Vdc (Nominal @ 210Vdc to 360Vdc)	
MPPT Range	100Vdc to 380Vdc	
Voltage Startup	120Vdc	
Input Protection	Varistors for transient protection, reverse Polarity	
	Low Voltage and high voltage Shutdown with hysteresis	
DC OUTPUT		
Output Voltage	53.5Vdc (adjustable 43Vdc to 58Vdc)	
Output Power (Maximum)	3200W @ nominal input	
Output Current (Maximum)	62.5A @ 51.2Vdc with nominal input	
Peak Efficiency	97%	
Current Sharing	<= ±5% of max current from 20% to 100% load	
Static Voltage Regulation	±0.6% from 10% to 100% load	
Dynamic Voltage Regulation	±5% for 10%-90% or 90%-10% load variation, regulation time <50ms	
Hold Up Time	>20ms; output voltage >43.5Vdc @ 1500W	
Ripple and Noise	<150mVp-p, 20MHz bandwidth	
	<2mVrms psophometric	
Output Protection	Overvoltage shutdown; hot plug-in, inrush current limiting; high temperature protection; short circuit proof	
OTHER SPECIFICATIONS		
Isolation	Input to Output: 4.2kVdc, Input to Earth: 2.1kVdc, Output to Earth: 0.7kVdc	
Cooling	Fan-cooled, front to back airflow	
Fan Speed	Regulated by temperature and output power	
MTBF	> 300,000 hrs @ 25°C	
ENVIRONMENTAL		
Operating Temperature Range	-40°C to +75°C (de-rates above 45°C)	
Storage Temperature Range	-40°C to +85°C	
Relative Humidity	Operating: 5% to 95% RH non-condensing	
	Storage: 0% to 99% RH non-condensing	
Acoustic Noise	<58dB @ full load, 25°C	

18. ábra Fontosabb paraméterek²⁰

²⁰ <https://www.enetek-power.com/wp-content/uploads/2023/09/ETS3248-392010.200-Solar-Converter-Module-Rev.1.0.pdf> (utolsó megtekintés: 2023.11.27)



19. ábra enetek címke 18A-es áram maximum²¹



20. ábra Az enetek készülék²²

Az adatlap és a címkén feltüntetett paraméterekből kiolvasható, hogy egy darab converter és vezérlő főkből kialakítható DC/DC converter megoldás a napelemes oldalon maximálisan 18A-es sztring áramot tud kezelni 180V-380V tartományban. Ezt ismerve, illetve ismerve a napelem táblák paramétereit megállapítható, hogy a töltő maximális áramát és feszültségét nem lépjük túl. A napelemes sztring maximális munkaponti árama 10,84A, valamint a maximális munkaponti sztring feszültség $34,6V \cdot 8 = 276,8V$ aminek meglehetősen a következő munkaponti maximális teljesítmény lesz kivehető 48V-os oldalon a napelemes converterből: $10,84A \cdot 276,8V = 3000W - 3\% = 2910W$

Ebből következik, hogy az converterből kivehető maximális áram -48V-os rendszerben → $2910W / 54V = 53,9A$ lesz. Ez az állomás fogyasztóinak kezdeti (2022-es) áram értékeinél kissé meghaladja az „A” állomás fogyasztását (ami 48A). A 2023-as állapotban azonban már nem haladja meg, hanem alatta marad (58A).

További converter modulokkal történő bővítés (2db) esetén a napelemes oldalon megnő a kezelhető áram, ekkor azonos típusú párhuzamosan kapcsolt panelekből kiépített sztringeket lehet illeszteni a rendszerhez, mely eredményeképpen a 48V-os oldalon is megnő a kivehető áramerősség, illetve redundancia is kialakítható megfelelő túláramvédelem mellett.

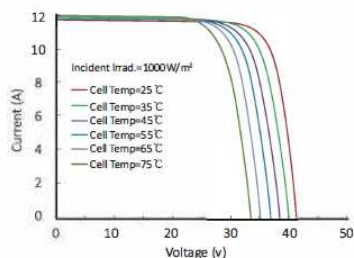
²¹ Fényképezte: Kendernay Zsolt

²² Fényképezte: Kendernay Zsolt

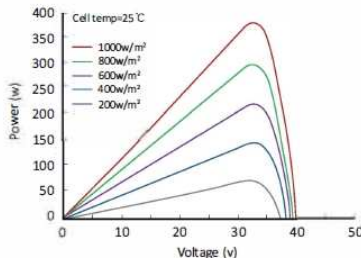
Mivel a napelemes töltő MPP indulási feszültsége 180V, és a rendszer a napelem táblához kötött alábbi I-V paraméterek alapján minimum $8 \times 36V = 288V$ -nál elkezdi termelni, az alsó feszültség értéktartománnyal nem kell foglalkozni.

I-V Curve

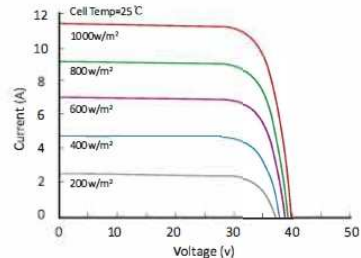
Current-Voltage Curve (LR4-60HPH-370M)



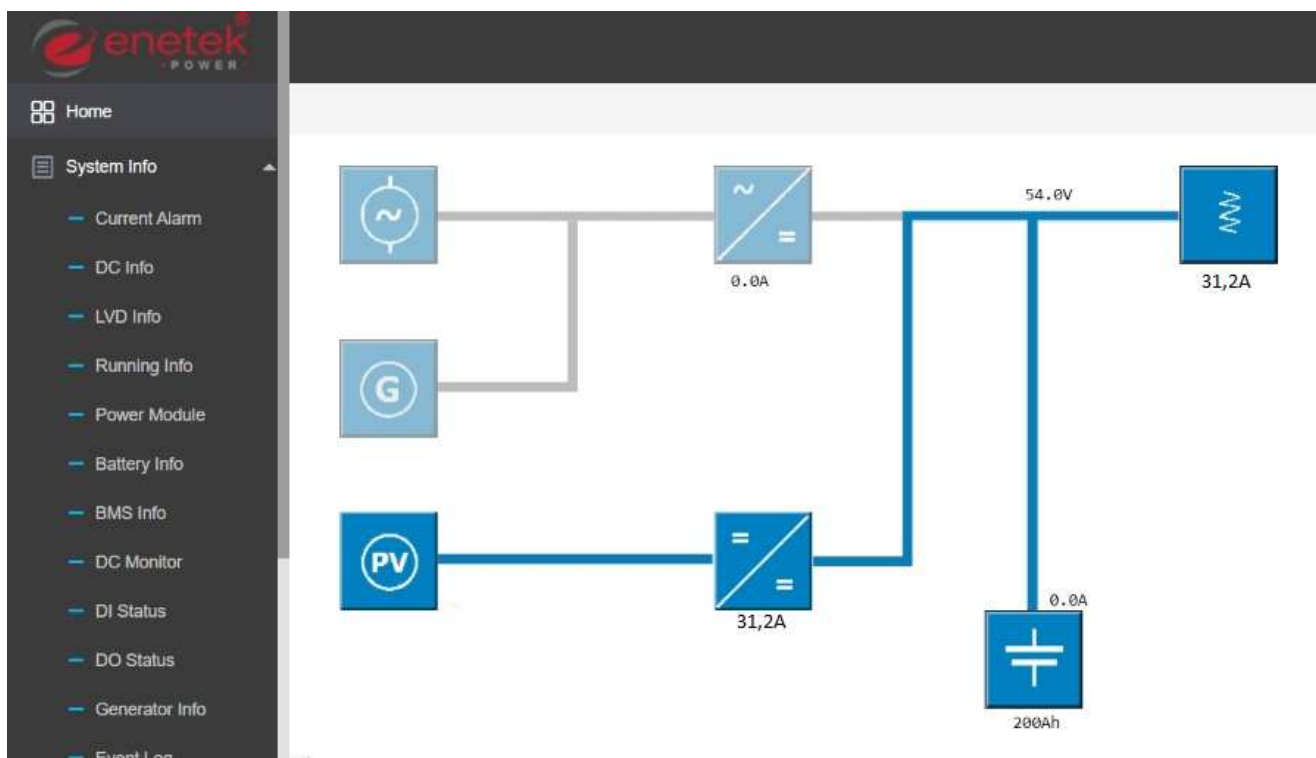
Power-Voltage Curve (LR4-60HPH-370M)



Current-Voltage Curve (LR4-60HPH-370M)



21. ábra Longi modul I-V görbék²³



22. ábra enetek converter webfelülete²⁴

²³ <https://s3-ap-southeast-2.amazonaws.com/solarbrain/uploads/attachment/file/635/e9ce578a8b696128dc65522f2f5c2cbb.pdf> (utolsó megtekintés: 2023.11.27)

²⁴ Képkivágás: Kendernay Zsolt

2.7. Villamos kialakítás megtervezésének leírása

Az ELTEK töltő rendszerhez a napelemes enetek convertert illeszteni szükséges. Az illesztés során meg kell valósítani, hogy a két berendezés között áramkorlátozó legyen kialakítva, beépítve, valamint napsütés esetén a napelemes converterből folyjon az áram a fogyasztók felé, ne pedig az ELTEK rendszeréből.

Az előzetes laboratóriumi tesztek alapján (4. fejezet) legkézenfekvőbb megoldásnak az bizonyul, hogy az ELTEK töltő egy szabad 63A-es fogyasztói leágazásának kismegszakítójába kerül bekötésre az enetek napelemes converterre, valamint ezzel együtt az enetek converter feszültségét szoftveresen 0,5V-al az ELTEK rendszerfeszültsége fölé kell konfigurálni. Így biztosítva, hogy az energia elsődlegesen a napelemes rendszerből kerüljön felhasználásra.

A konkrét megvalósítás részletes tervezési adatait a villamos kiviteli terv tartalmazza, mely szerzői jogok hiányában és terjedelme miatt nem része a szakdolgozatnak.

2.8. Villámvédelem ismertetése

Az érvényes villámvédelmi felülvizsgálat szerint az állomás megfelelő.

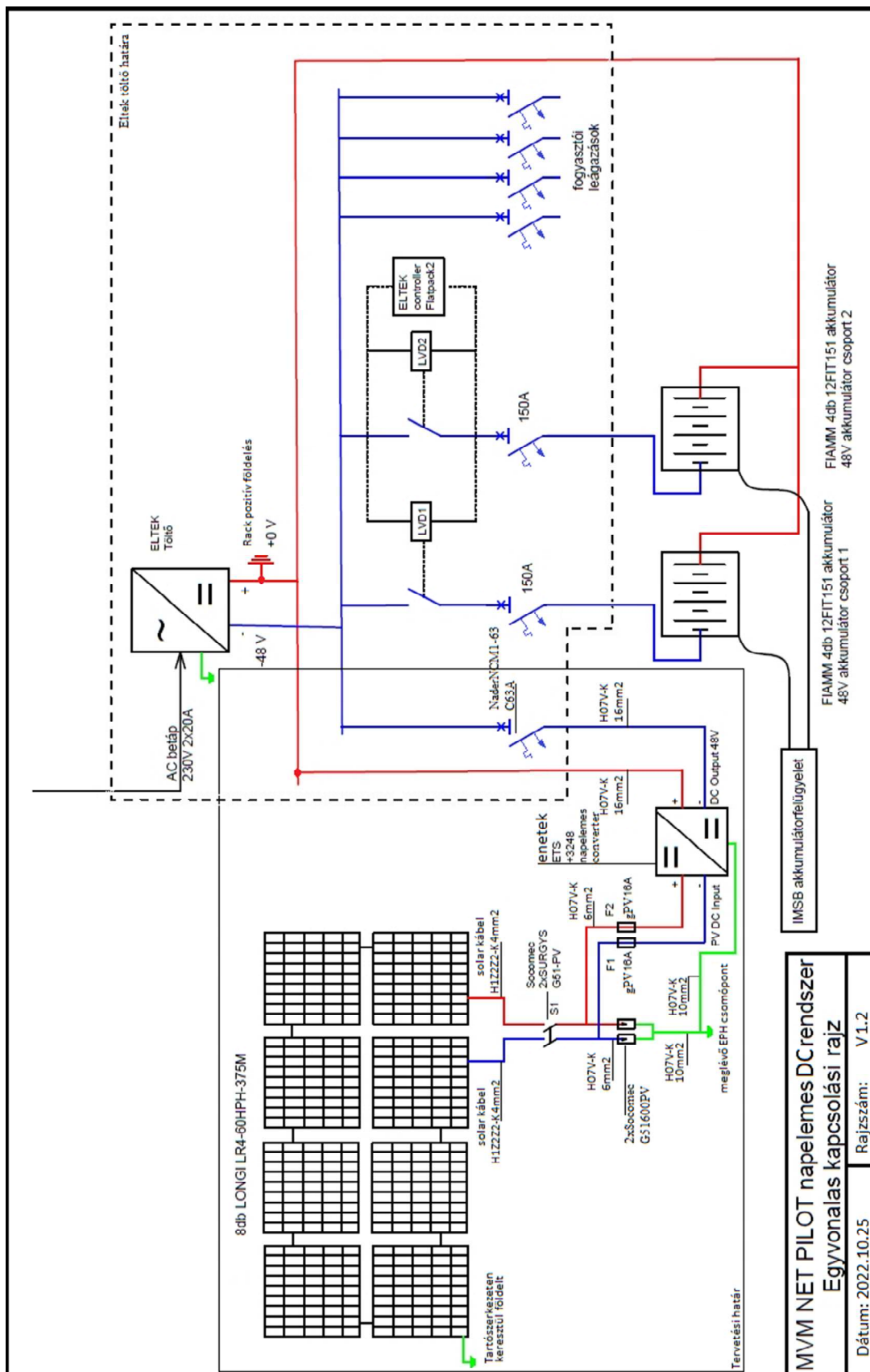
Az új telepítésű napelemek miatt villámvédelmi kockázatbecslés készült, mely során megállapítást nyert, hogy a jelenleg kialakított állapoton nem szükséges változtatásokat eszközölni. A kockázatbecslés, szerzői jogok hiányában és terjedelme miatt nem része a szakdolgozatnak.

2.9. Tűzvédelem ismertetése

Az érvényes tűzvédelmi felülvizsgálat szerint az állomás megfelelő, a beavatkozás nem eredményez szükséges változtatásokat. Az üzembe helyezés során új villamos biztonsági felülvizsgálatot kell készíteni, melynek része a tűzvédelem.

2.10. Egyvonalas kapcsolási rajz

Az állomásokon kialakított villamos kapcsolást a 23. ábra szerinti egyvonalas rajz ábrázolja.

23. ábra Egyvonalas kapcsolási rajz²⁵²⁵ Készítette: Kendernay Zsolt

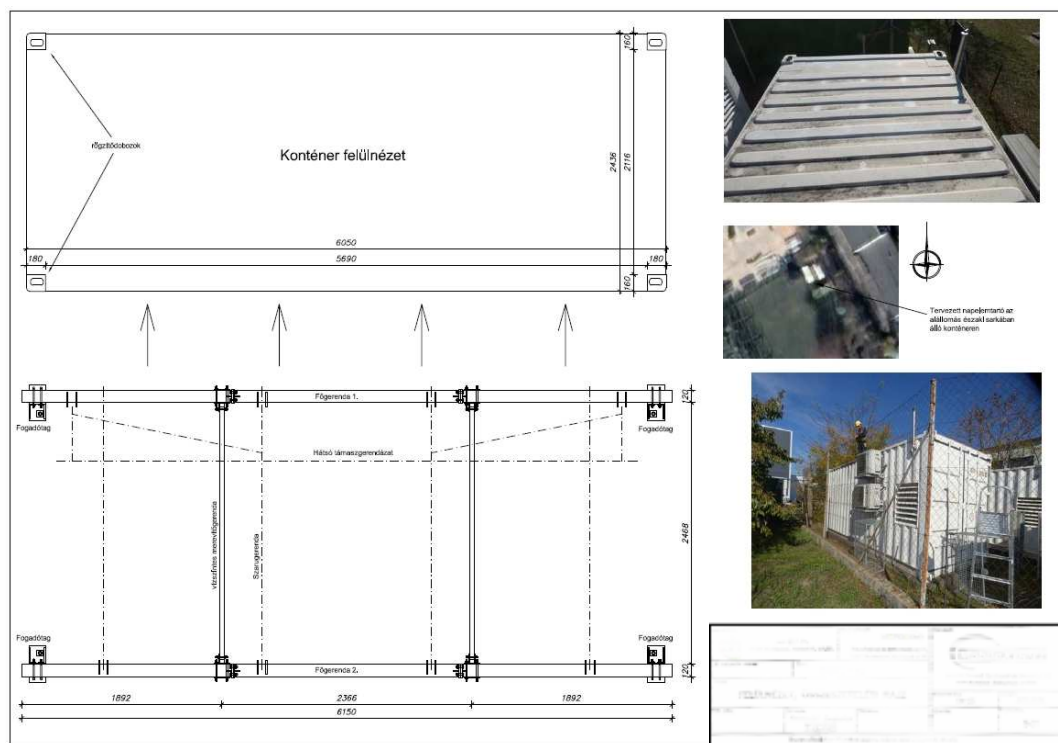
2.11. Napelemes tartószerkezet tervezése

Az állomások tartószerkezeti típustervét 2021-ben egy tervező vállalkozás készítette el részletes helyszíni felmérés alapján. A típusterv részleteire jelen dokumentumban nem térek ki, azonban a lényeges pontokat alábbiakban ismertetem.

A típusterv főbb témakörei:

- Konténerhez csatlakoztatott acél tartószerkezet megoldása,
- Acél szerkezet gyártási tervei,
- A tervezett munkálatok leírása,
- Anyagminőség, felületvédelem,
- Napelem tábla rögzítési megoldások,
- Karbantartási utasítás,
- Munkabiztonság, egészségvédelem,
- Hulladékgazdálkodás és környezetvédelem.

A konténer felmért adatai alapján egy standard ISO, 20 lábas konténer, melynek méretei: 6058 x 2438 x 2591 mm (hosszúság x szélesség x magasság), a figyelembe vehető üres tömege 2200kg. A tartó szerkezet tervezése közben ellenőrzésre került a konténer felborulás elleni biztonsága. A számítások alapján a konténer és a napelem tartó együttes tömege (kb. 2200kg + 500kg) még nem elegendő a szerkezet stabilitásához (a beépített berendezések össztömegét a statikai számítás során nem lehet figyelembe venni), ezért a konténert csavarozással le kellett rögzíteni a vasbeton lemezalaphoz.²⁶

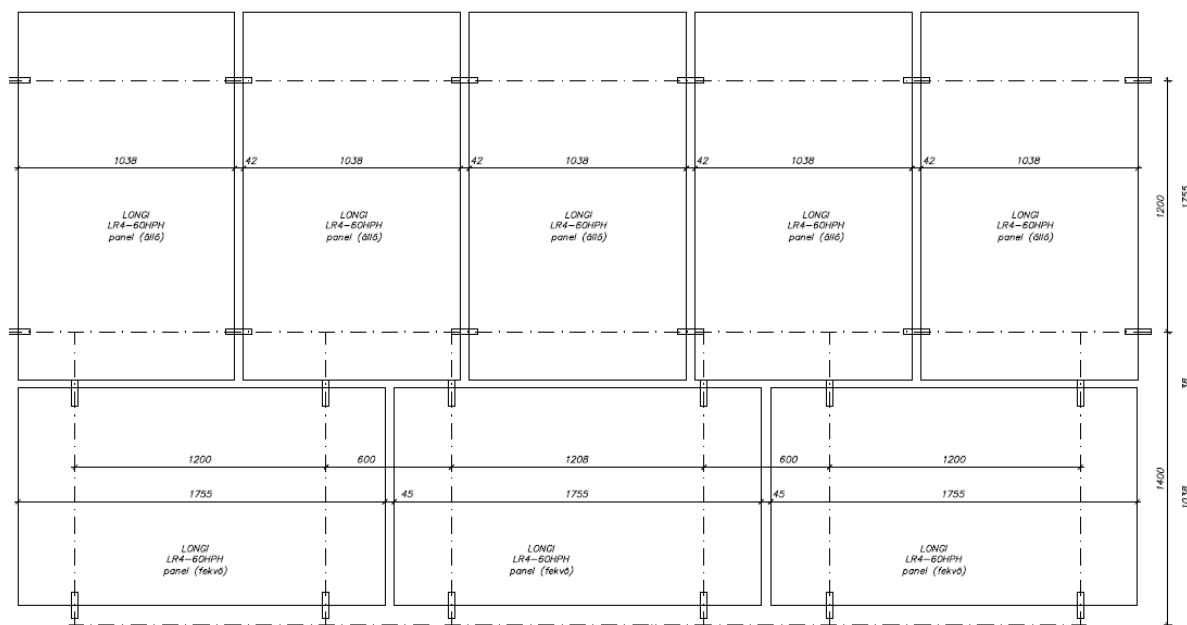


24. ábra Tartószerkezeti főgerendák²⁷

²⁶ Kiviteli terv részlet Mobilexpert Kft.

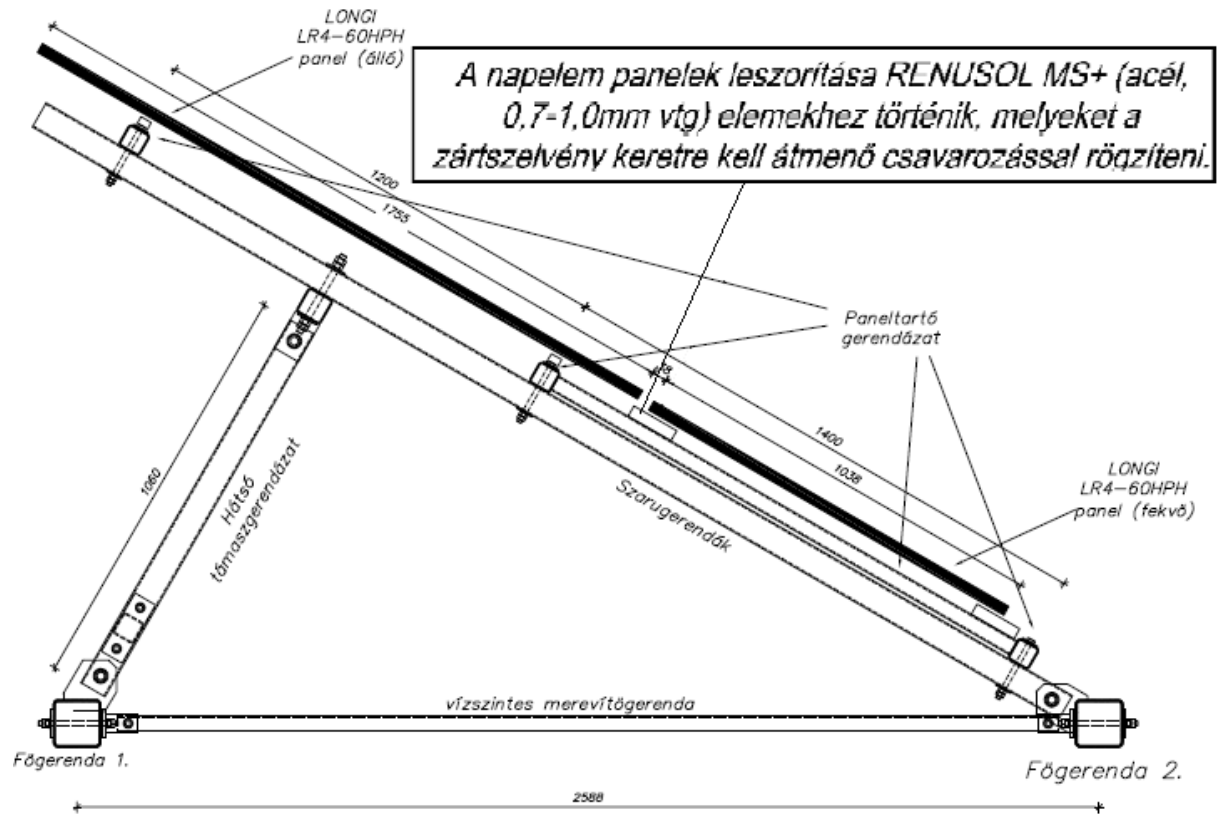
²⁷ Kiviteli terv részletek Mobilexpert Kft.

A napelemek a konténer tetejére kerülnek elhelyezésre, melyhez olyan acél tartószerkezetet kellett tervezni, ami könnyen, csavarozással felszerelhető, ugyanakkor hosszútávon képes stabilan és biztonságosan tartani ráhelyezendő 8db napelem táblát. A konténer méreteiből adódóan, ami $6\text{m} \times 2,44\text{m} = 14,64\text{m}^2$ és a 30° -os dőlésszög miatt a tartó rövidebbik oldalának felülete 2,7-2,8m-re növekszik. Így az alábbi elrendezéssel felszerelhető 8db $1,75\text{m} \times 1,05\text{m}$ -es panel úgy, hogy a konténer kubatúrából jelentősen nem lóg ki.

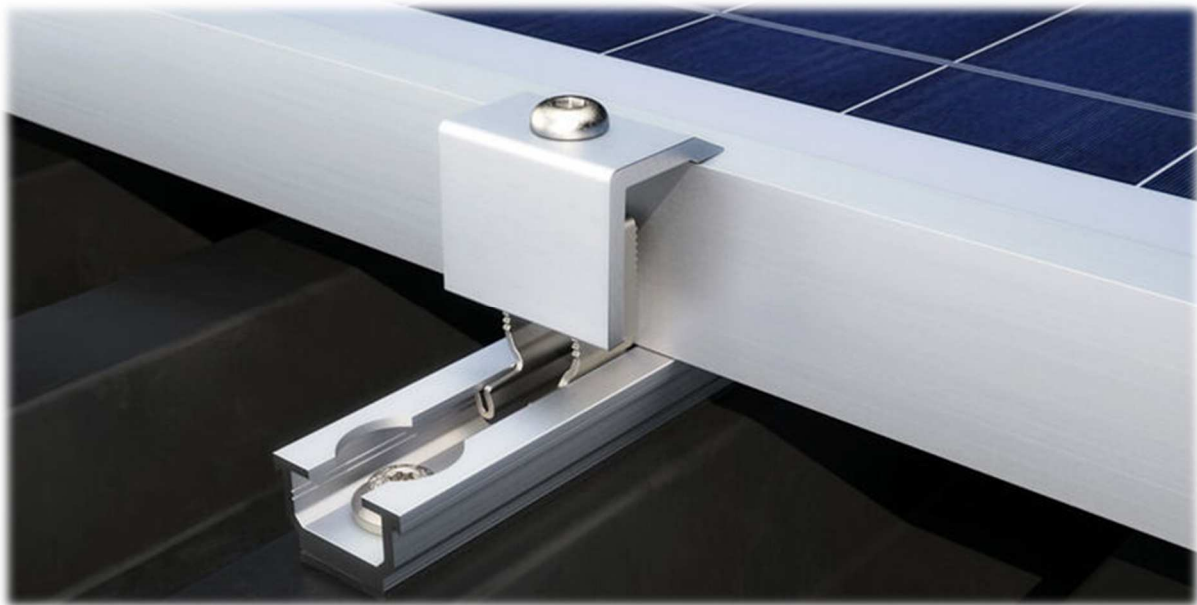


25. ábra Napelem tartó acélszerkezet és a napelemek elrendezése²⁸

²⁸ Kiviteli terv részlet Mobilexpert Kft.



26. ábra 30°-os dőlésszögű vázszerkezet²⁹



27. ábra RenuSol MS+ napelem panel rögzítőelem³⁰

²⁹ Kiviteli terv részlet Mobilexpert Kft

³⁰ <https://www.renusal.com/en/solar-panel-mounting/metal-roof/ms-msp/> (utolsó megtekintés: 2023.11.27)

3. LÉTESÍTÉS

A PILOT két dunántúli fekvésű 120kV-os DSO (elosztórendszer-üzemeltető) alállomás mellett működő, átviteli rendszerirányítás összeköttetéseit biztosító távközlési állomás közcélú 0.4kV-os energiaellátásának napelemmel történő alátámasztására, a meglévő -48V DC oldali szünetmentes energiaellátóba történő illesztéssel valósult meg.

Az érintett két állomáson, a tervek szerint egyedi megoldású részben szigetüzemű kiegészítő áramellátó rendszer került kiépítésre.

3.1. Napelemes tartószerkezet telepítése

Az acél tartószerkezet az előre gyártott és tűzihorganyozott elemekből került kialakításra, melyet a jó tervezésnek köszönhetően 3 óra alatt, csavar kötésekkel fel lehetett szerelni.



28. ábra „A” állomás vázszerkezete felülről³¹

³¹ Fényképezte: Kendernay Zsolt



29. ábra „A” állomás vázszerkezete alulról³²

A tartószerkezetre további 3 óra alatt telepíthető volt a 8db Longi napelem tábla, melyek kábelezése és villamos szerelése a következő munkanapon valósult meg.

³² Fényképezte: Kendernay Zsolt

3.2. A megvalósult napelemek látképe



30. ábra „A” állomás látképe³³

³³ Fényképezte: Kendernay Zsolt



31. ábra „B” állomás látképe³⁴

3.3. DC/DC napelemes converter telepítése, integrálás a meglévő rendszerbe

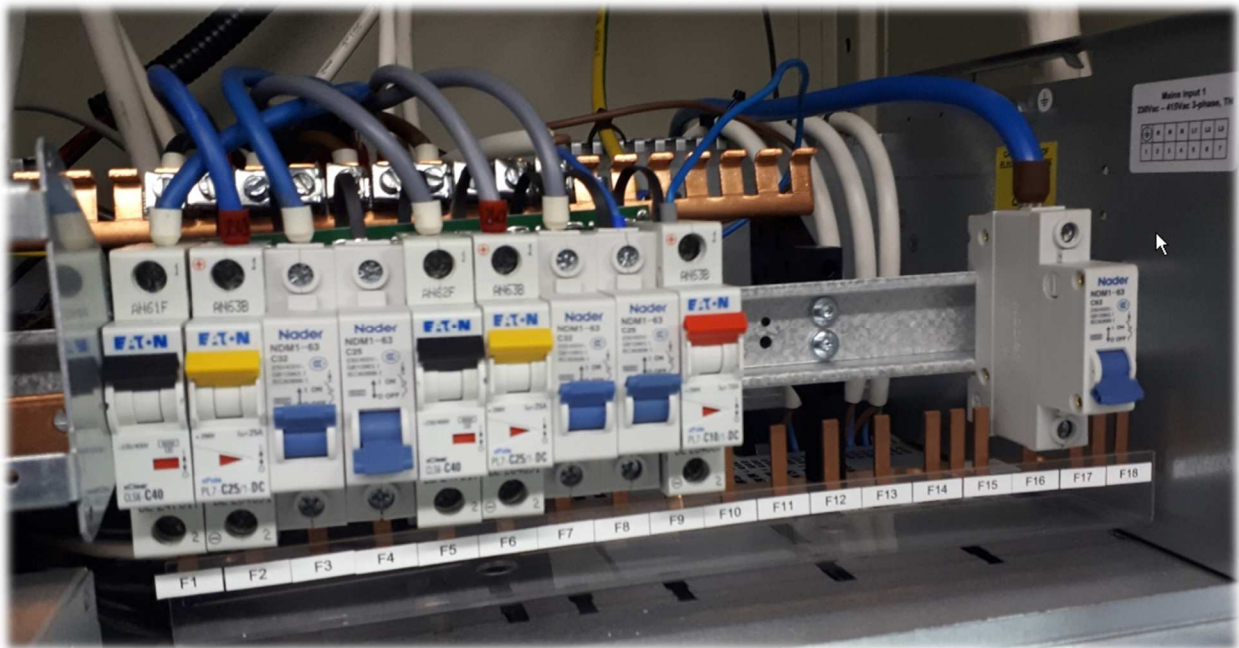
A napelemek DC feszültségét a -48V-hoz illesztő enetek converter biztosítja, beszerelése az áramellátó szekrénybe a kijelölt helyre, a vezetékek bekötése az ELTEK áramellátóba az alábbi képek szerint történtek.



32. ábra enetek converter berendezés³⁵

³⁴ Fényképezte: Kendernay Zsolt

³⁵ Fényképezte: Kendernay Zsolt



33. ábra ELTEK 63A-es enetek DC betáp kismegszakítója jobb oldalon³⁶



34. ábra ELTEK 0.4kV-os PDU felül, enetek converter közepén, IMSB alul³⁷

³⁶ Fényképezte: Kendernay Zsolt

³⁷ Fényképezte: Kendernay Zsolt

3.3. Kábelezés, terminálás

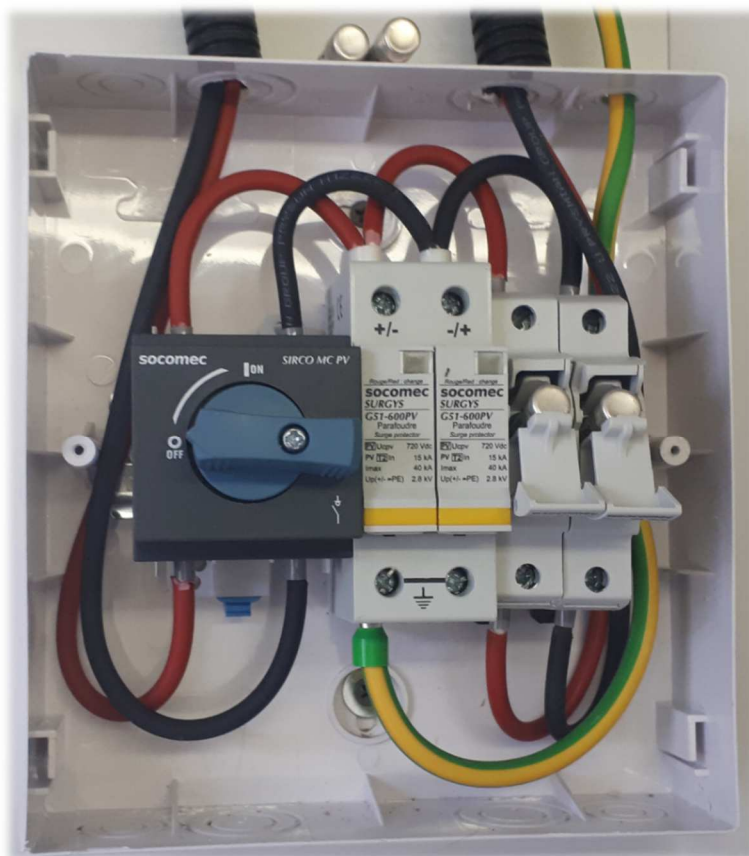
A napelemeket toldás nélkül egymáshoz csatlakoztatva a gyári MC4-es csatlakozókkal kellett összekötni a tervezésnek megfelelően, majd a két szélső kapocs csatlakozik a konténer belterébe bevezetett vezetékekhez. Az alkalmazott vezeték $2 \times 4 \text{ mm}^2$ -es ún. „solar kábel”, mely 1kV-os átütési szilárdsággal, kettősszigeteléssel, valamint UV álló kivitelben készült. A solar kábel UV álló gégecsőben van a faláttörésig vezetve. Mind a napelemeket összekötő, mind a bevezető kábelek rögzítése szükséges a külső behatásra (szél) történő mozgások ellen megtörtént. A földelés az acél szerkezetű konténerre fixen rögzített tartószerkezeten keresztül történik, külön földelővezeték kiépítése nem szükséges. A tartószerkezet és a napelem táblák kereteinek galvanikus kapcsolatát a konténer földelésével, méréssel igazolni kellett.



35. ábra PV panelek kábelezése³⁸

A konténerbe beérkező DC kábelén mindig 300V feletti DC feszültség lesz, a lekapcsolása csak a konténeren belül valósulhat meg a továbbmenő szakaszra, ezért azt mindig feszültség alattinak kell tekinteni. Ezt a megfelelő figyelmeztető táblák kihelyezésével kell jelölni. A zárlat ellen (bár egy sztring esetén nehezen alakulhat ki), de 16A-es olvadó biztosító kerül beépítésre. A túlfeszültség ellen egyenfeszültségre méretezett túlfeszpatron kerül beépítésre. A sztring lekapcsolhatóságát egy kétsarkú DC kapcsoló biztosítja. A lekapcsolás teljes termelés esetén a 10A feletti egyenáram jelenléte miatt csak az converter szoftveres leállítását követően, az áram 2A alá csökkentése után javasolt, ezért napközben a kézi kapcsoló lokális működtetése a helyismerettel nem rendelkezők számára nem engedélyezett!

³⁸ Fényképezte: Kendernay Zsolt



36. ábra Napelemes sztring terminálása³⁹



37. ábra gPV egyenáramú olvadóbetét⁴⁰

³⁹ Fényképezte: Kendernay Zsolt

⁴⁰ Fényképezte: Kendernay Zsolt

4. TELEPÍTÉS ELŐTTI VIZSGÁLATOK, TELEPÍTÉS UTÁNI MÉRÉSEK.

4.1. Előzmények, kiindulási adatok.

4.1.1. Túlfeszültségvédelem, földelési ellenállás, ÉV mérés ellenőrzése.

Áramütés elleni védelem időszakos szabványossági felülvizsgálata 2021.01.29-én és 2021.01.25-én megtörtént. A telepítést megelőzően a földelési ellenállások méréssel történő újra ellenőrzése mindkét állomáson el lett végezve. A mérés összetett vizsgálatot igényelt, jelen szakdolgozatban nem részletezem, azonban az eredményeket megadom ($0,57\Omega$ és $0,47\Omega$), melyek kielégítik a szabványi előírásokat. Az egyenpotenciálra hozó hálózat (EPH) folytonossága szemrevételezéssel és méréssel szintén megerősítésre került. Az állomásokon túlfeszültség védelmi készülékek vannak telepítve, ezek működének vizsgálata méréssel lett ellenőrizve. Az állomás a napelemes rendszer telepítésére:

MEGFELELŐ



38. ábra „B” állomás földelési ellenállása⁴¹

⁴¹ Fényképezte: Kendernay Zsolt



39. ábra „A” állomás földelési ellenállása⁴²

4.1.2. Teszt napelem tábla és napelemsor.

A kiválasztott napelem tábla: LONGI LR4-60HPH-375M

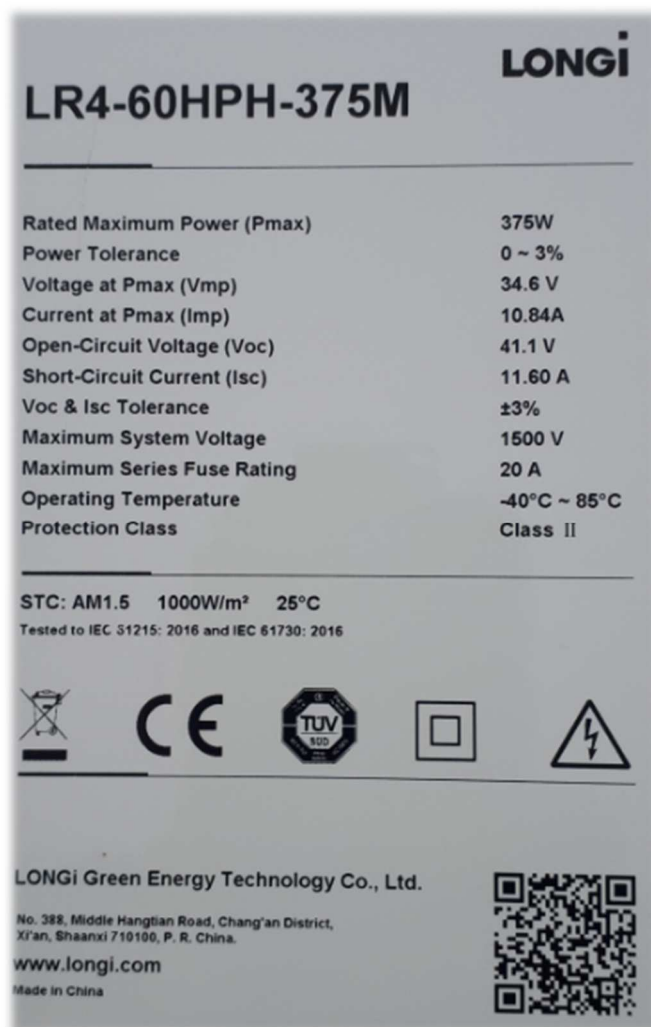
A névleges teljesítménye: 375W.

- Teljesítmény tolerancia (a napelem tábla teljesítmény ingadozása): +3%. azaz $375\text{W} + 3\% = 386,25\text{W}$
- Hatásfok (megmutatja, hogy 1m² napelem felülettel mennyi energiát lehet előállítani): 20,6%

⁴² Fényképezte: Kendernay Zsolt

A gyártók a napelemek névleges teljesítmény adatait ideális, laboratóriumi körülmények alapján mesterséges bevilágítással határozzák meg. A feltelepített tábláknak a működés közben nincsenek laboratóriumi feltételei, ezért a napelemek teljesítménye a gyári adatokhoz képest erősen változóak lehetnek, illetve a kiszámítása csak elméleti termelési energiában határozható meg. Az adatlapon található STC (Standard Test Conditions) adatok 25°C modulhőmérséklet és 1000 W/m² besugárzásra adják meg a gyári paramétereket. E mellett a gyártók megadják a NOCT értékeket is (Nominal Operating Cell Temperature), mely 48°C és 800W/m² besugárzási teljesítménynél mért adatokat mutatja (40. ábra).

A tesztelésre került tábla mérete 1,8m². Tesztelés során két 4db táblás deszkamodell lett készítve. Melynek a csúcsteljesítménye $2 \times 4 \times 375 W_p = 3 kW_p + 3\% = 3090 W_p$. A várható DC oldali legnagyobb feszültség 330V, legnagyobb áramerősség 11,6A.



40. ábra Az alkalmazott teszt napelem tábla címkéje⁴³

⁴³ Fényképezte: Kendernay Zsolt

Electrical Characteristics STC : AM1.5 1000W/m² 25°C

Test uncertainty for Pmax: ±3%		NOCT : AM1.5 800W/m² 20°C 1m/s	
Module Type	LR4-60HPH-375M		
Testing Condition	STC	NOCT	
Maximum Power (Pmax/W)	375	281.7	
Open Circuit Voltage (Voc/V)	41.1	38.6	
Short Circuit Current (Isc/A)	11.60	9.41	
Voltage at Maximum Power (Vmp/V)	34.6	32.2	
Current at Maximum Power (Imp/A)	10.84	8.75	
Module Efficiency(%)	20.6		

Operating Parameters

Operational Temperature	-40°C ~ +85°C
Power Output Tolerance	0 ~ 3%
V _{oc} and I _{sc} Tolerance	±3%
Maximum System Voltage	DC1500V (IEC/UL)
Maximum Series Fuse Rating	20A
Nominal Operating Cell Temperature	45±2°C
Protection Class	Class II
Fire Rating	UL type 1 or 2 IEC Class C

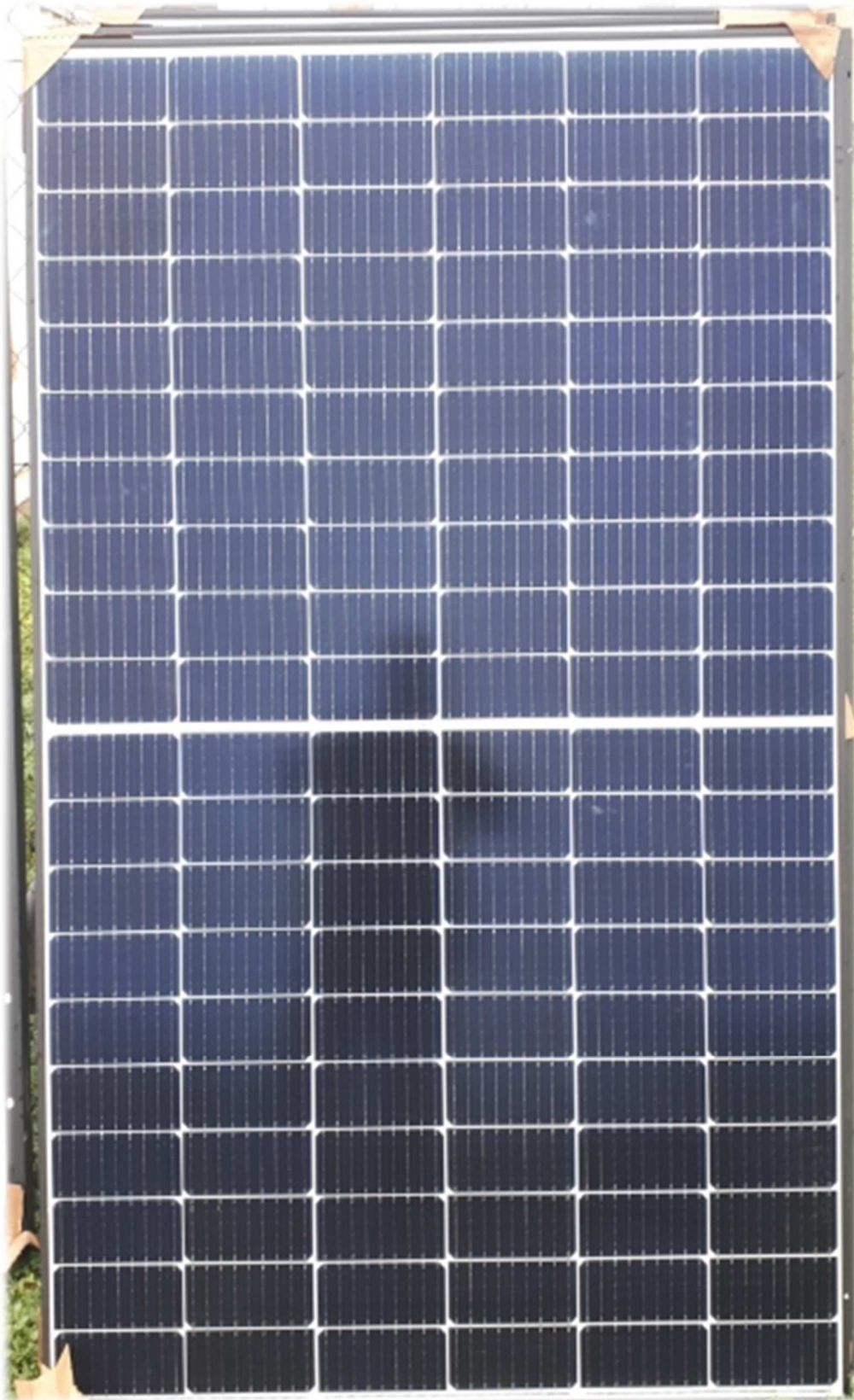
41. ábra Az alkalmazott napelem tábla gyári adatai⁴⁴

⁴⁴ https://static.longi.com/Hi_MO_4m_LR_4_60_HPH_365_385_M_2f4a758369.pdf (utolsó megtekintés: 2023.11.27)



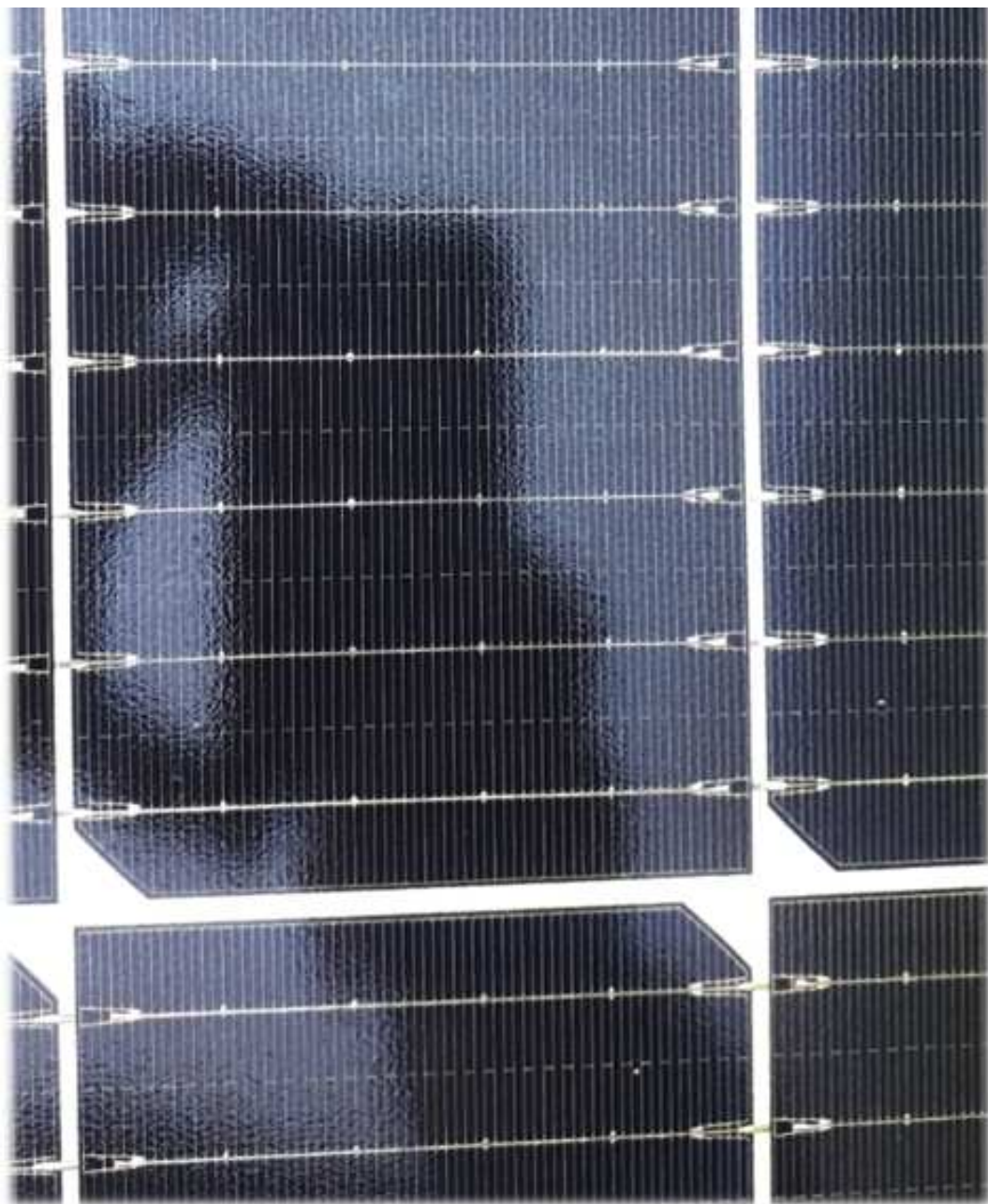
42. ábra A tesztelésre épített napelemsor⁴⁵

⁴⁵ Fényképezte: Kendernay Zsolt



43. ábra Napelem tábla tesztelés előtt⁴⁶

⁴⁶ Fényképezte: Kendernay Zsolt



44. ábra Napelem felülete⁴⁷

⁴⁷ Fényképezte: Kendernay Zsolt



45. ábra Részletesebb fotó, melyen jól látható az üvegréteg homogén, érdes felülete⁴⁸

⁴⁸ Fényképezte: Kendernay Zsolt

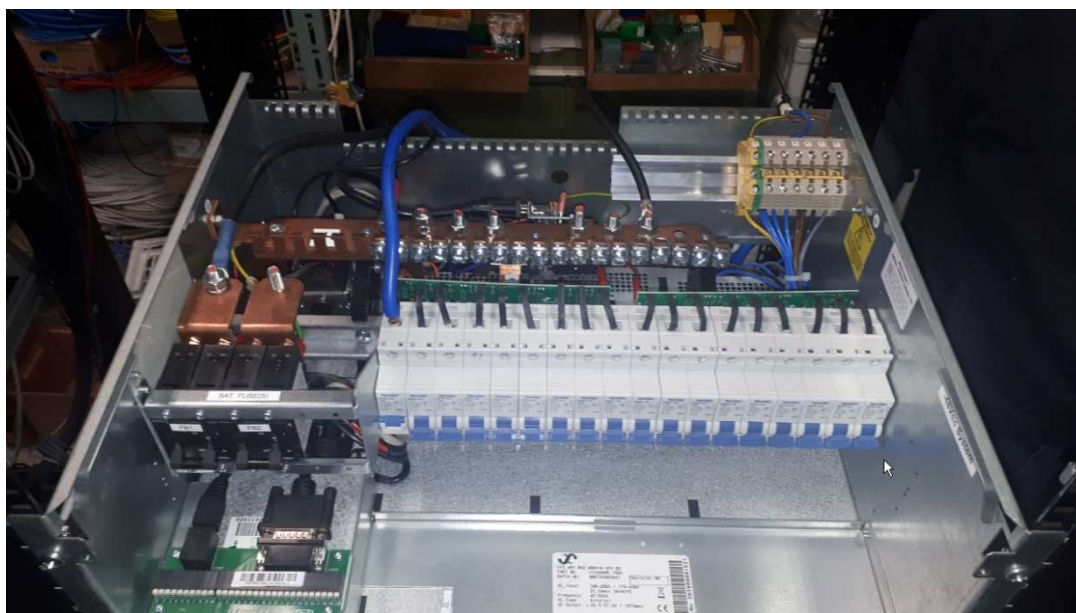
4.1.3. Hálózati converter teszt példánya.

Az alkalmazott berendezés egy ELTEK Flatpack2 hálózati töltő.

(ELTEK Flatpack2 gyári adatai a tervezési fejezetben részletezve.)



46. ábra ELTEK hálózati töltő teszt példánya⁴⁹



47. ábra A teszt töltő leágazó kismegszakítói⁵⁰

⁴⁹ Fényképezte: Kendernay Zsolt

⁵⁰ Fényképezte: Kendernay Zsolt

4.1.4. Tesztelésre használt napelemes converter modul.

A kiválasztott napelemes converter modul: enetek ETS+3248

(Az alkalmazott enetek converter paraméterei a tervezési fejezetben kerültek részletezésre.)



48. ábra Alkalmazott converter készülék⁵¹



49. ábra Alkalmazott converter modu⁵²



50. ábra Alkalmazott converter címkéje⁵³

⁵¹ Fényképezte: Kendernay Zsolt

⁵² Fényképezte: Kendernay Zsolt

⁵³ Fényképezte: Kendernay Zsolt



51. ábra Alkalmazott converter vezérlője⁵⁴



52. ábra Alkalmazott converter interfészei⁵⁵

⁵⁴ Fényképezte: Kendernay Zsolt

⁵⁵ Fényképezte: Kendernay Zsolt

4.1.5. Meglévő 48V DC áramellátó rendszerhez illesztéslehetőségeinek műszaki vizsgálata.

A tesztöltő példánya egy ELTEK AC/DC áramellátó rendszer 1+1 redundáns kialakításban üzemel, két fázisról és két akkumulátor csatlakozással rendelkezik. Megegyezik az állomásokon üzemelőkkal. A maximálisan, biztonsággal kivethető folyamatos áramerősség -48V-on 62,5A.

Az áramellátó rendszer -54V feszültségen tölti a 2 csoportban csatlakoztatott 48V 150Ah VRLA akkumulátorokat. A napelemes enetek converter integrálására a két féle gyártó eltérő rendszerének közös vezérlése hiányában, a tisztán párhuzamos csatlakoztatási lehetőség adódik. A töltő berendezések kimenetének párhuzamos csatlakoztatása műszakilag megengedett, nem okoz működési problémát, azonban a beállítások során a töltőfeszültség változtatásával be kell állítani, melyik készülék legyen az elsődleges energiaforrás. Ezt a napelemes converter töltőfeszültségének kismértékű megemelésével lehet elérni, mely, ha nagyobb, a terhelő áram elsődlegesen onnan fog érvényesülni. A feszültséget a napelemes enetek converteren 0,5V-al a hálózati ELTEK töltő beállított -54V-os töltőfeszültsége fölé (vagyis, a pozitív földelés miatt alá) kell emelni. Ezzel nem követünk el akkumulátor túltöltődést sem, mivel a napelemes converter áramát a fogyasztók elsődlegesen el is használják. A működés igazolására a hálózati töltő áram eloszlását (Load és Battery), valamint a napelemes töltő converter kimeneti áramának adatait kell összevetni és működési modellezést készíteni egy, a PILOT állomásokon üzemelő rendszerrel azonos paraméterű teszt rendszeren.

4.2. VRLA és Lithium-ion akkumulátoros működés összehasonlítása.

4.2.1. VRLA akkumulátorok

A tesztelés 2x4db FIAMM 12FIT151 VRLA AGM ólom akkumulátorral történik. Az alkalmazott fogyasztó egy -48V-on 50A-es fogyasztásra képes 3000W-os változtatható műterhelés.

A 8x12V VRLA akkumulátor töltésvezérlése az ELTEK töltőből történik. A kiépítés redundáns, 2x48V 150Ah, mely nominálisan 2x7,2 kWh villamos energiátároló kapacitást jelent.

Ez a kiépítés az állomásokon általánosan alkalmazott, ezért alap működése nem igényel további vizsgálatokat.

4.2.2. Lithium-ion akkumulátorok

Lithium-ion akkumulátor töltésvezérlése saját beépített töltésvezérlőjével történik, melyre 53,5-58V feszültséget is rá lehet kapcsolni. Így a bemenőfeszültség tág határok kötött változhat, míg a töltés nélküli kimenőfeszültség mindig az előre beállított értéket tartja, amit a teszteléshez 48V-ra választottam. Ezt a terhelés során sokáig tartani tudja, majd a merülés végéhez közelítve hirtelen letörik a feszültség karakterisztika.

A tesztelésre alkalmazott akkumulátor egy ZTE ZXDC48 FB100B3 Lithium-Ion Battery 100Ah 48V-os kivitel, melynek lényeges specifikációja az alábbiakban látható:

Table 2-1 Technical Specifications of the ZXDC48 FB100B3

Item	Technical Specification
Capacity	100 Ah (C ₂ , 25°C, 42 V)
Energy	4800 Wh (C ₂ , 25°C, 42 V)
Material	Ferrous lithium phosphate (LiFePO ₄)
Charging voltage range	53.5 V to 58 V
Charging current range	100 A at most
Charge temperature range	0°C to +55°C
Discharging voltage range	40 V to 56 V
Discharging current range	100 A at most
Discharge temperature range	-20°C to +55°C
Storage temperature range	0°C to +45°C

53. ábra ZTE ZXDC48 FB100B3 paraméterei ⁵⁶

4.2.3. VRLA és Lithium-ion akkumulátorok párhuzamos üzeme

A két féle akkumulátor párhuzamos kapcsolása esetén az eredmény kielégítő megoldást nyújt, mind töltés, mind kisütés során. A töltés 54V-ig történhet, mely mindkét technológiának megfelelő. A VRLA akkumulátorok töltését az ELTEK töltő vezérli a töltőfeszültség emelésével, és a töltőáram mérésével. A Lithium-ion akkumulátor fogyasztói leágazáson keresztül kapja az energiát, a bemenete a specifikációnak megfelelő tartományban mindegy milyen feszültséget kap, a beépített töltő folyamatosan elvégzi a beépített Lithium-ion cellák töltésvezérlését.

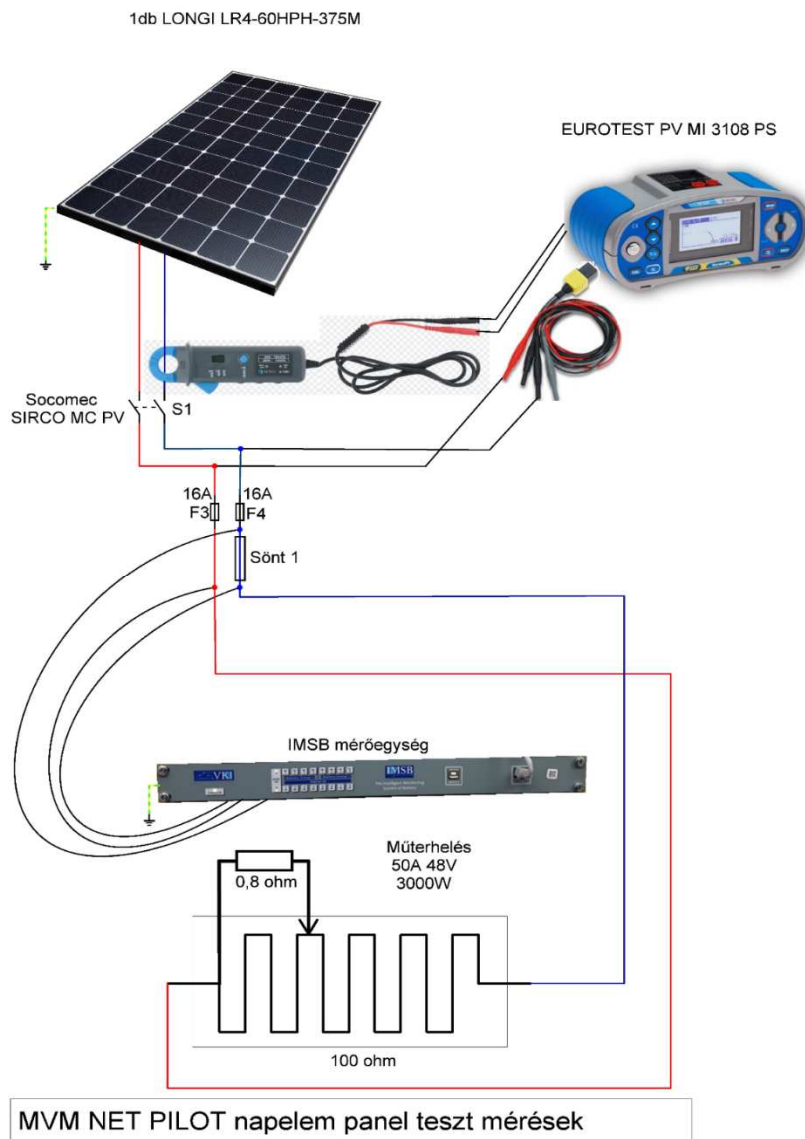
Párhuzamos üzemben, kisütés során elsőnek a VRLA akkumulátorok kapocsfeszültsége 54V-ról hirtelen 50V alá csökken, majd kis idő múlva 48V-ra esik, amit hosszú ideig tud tartani. E közben a kivett energia a fogyasztókon és a Lithium-ion akkumulátoron is párhuzamosan használódik fel fogyasztásként, majd a további kisütés esetén a VRLA-ból kivett energia áramlása megáll 48V-nál és a Lithium-ion technológiába épített belső converter szolgáltatja az állandó kimenő energiát, 48V-os állandó feszültségen. Sokáig a Lithium-ion technológiából folyik ki a rendszerenergia meghatározó része, majd a további merítés során, mely a Lithium-ion akkumulátor kimeneti 48V-jának hirtelen letörésével tetőzik (mely során a Lithium-ion akkumulátor „ki is kapcsol”) és a párhuzamosan kapcsolt VRLA akkumulátorok kisülési folyamata következik el. Ekkor a kikapcsolt Lithium-ion már nem tudja magát a VRLA-ból tölteni, tehát innentől a kisütési görbe egy tisztán VRLA akkumulátor görbéjeként alakul.

⁵⁶ ZXDC48 FB101 Lithium-ion Battery User Manual (utolsó megtekintés: 2023.11.27)

4.3. Előzetes működési modellezés teszt berendezésekkel.

4.3.1. Teszt napelem tábla U-I görbájének felvétele.

Egy darab LONGI LR4-60HPH-375M U-I karakterisztikájának felvételét az alábbi mérési elrendezés szerint végeztem el. Az alkalmazott műszer Metrel EUROTEST PV MI 3108 PS, valamint egy IMSB berendezés gyors mérési adatgyűjtésre kialakított változata, melyeknek eredményei kerültek ábrázolásra.

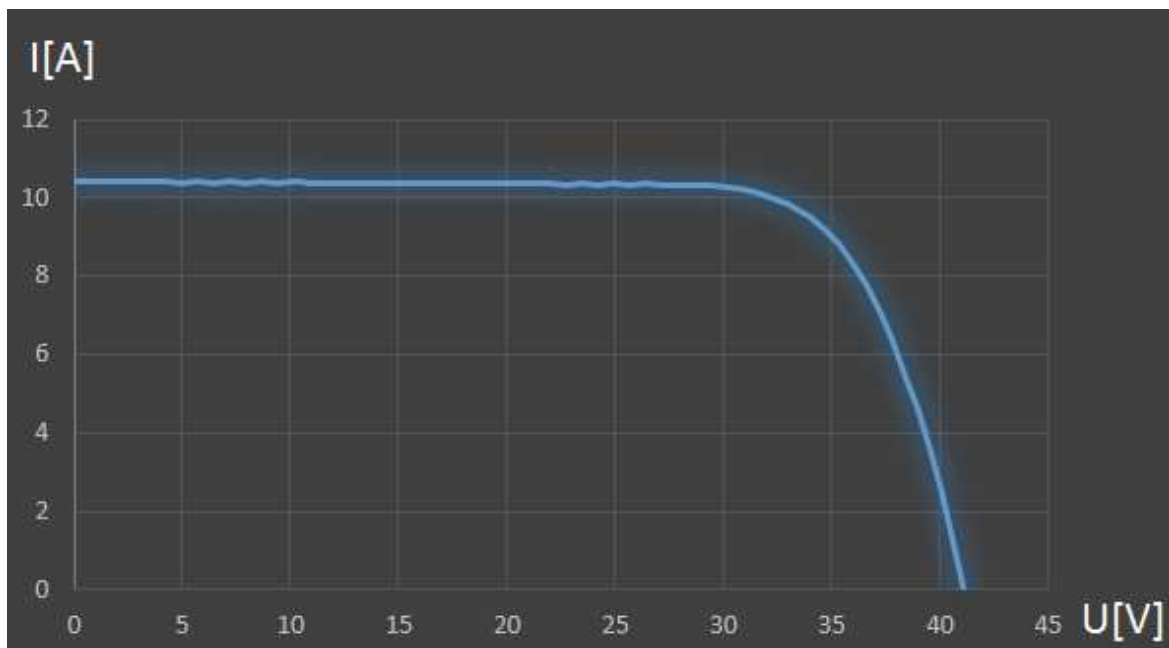


54. ábra Napelem tábla U-I mérése⁵⁷

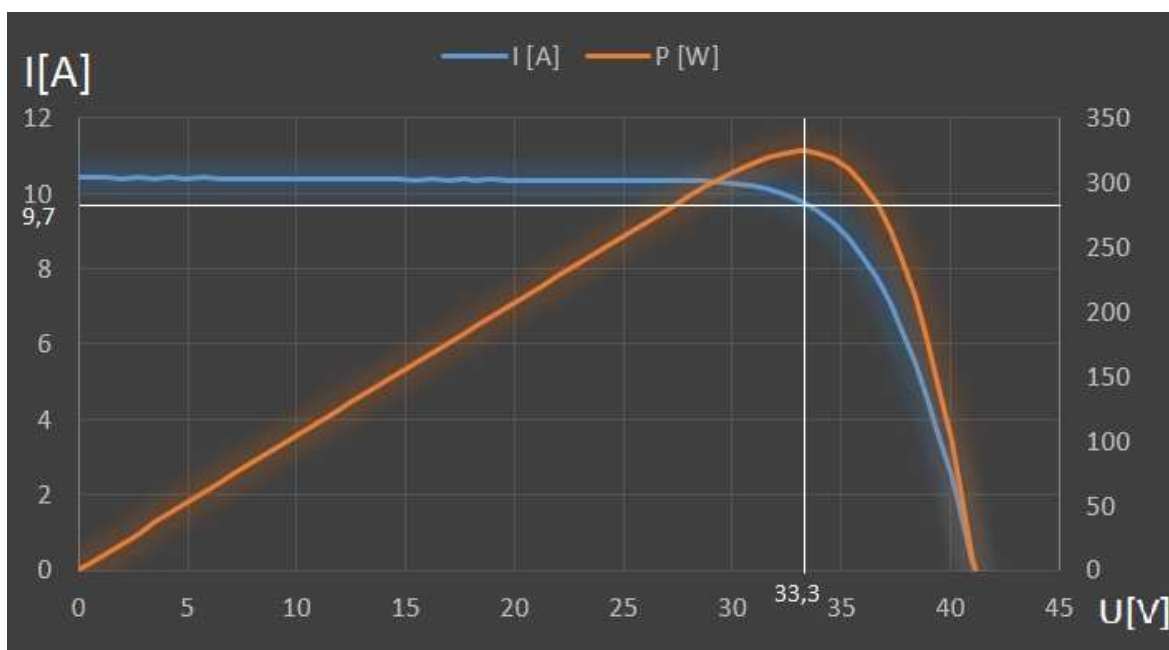
A mérés menete során a tolóellenállás időben közel állandó sebességgel történő folyamatos kézi változtatása mellett a két műszer mérési adatokat rögzített, melyek összevonásával álltak elő a mérés végleges eredményei. A mérési eljárást háromszor végeztem el, a végeredmény a három mérés korrigált

⁵⁷ Készítette: Kendernay Zsolt

értékeit ábrázolja. A mérés kissé rendhagyó módon történt, mivel az alkalmazott inverter valóságban egy onverter, ami nem hálózatra tápláló, ezért az MSZ EN 62446-1:2022 szabványban meghatározott mérési eljárás, valamint a Metrel műszer ehhez illeszkedő mérési módszere nem teljesen felelt meg a berendezéseink adta lehetőségeknek.



55. ábra Napelem tábla U-I diagrammja⁵⁸



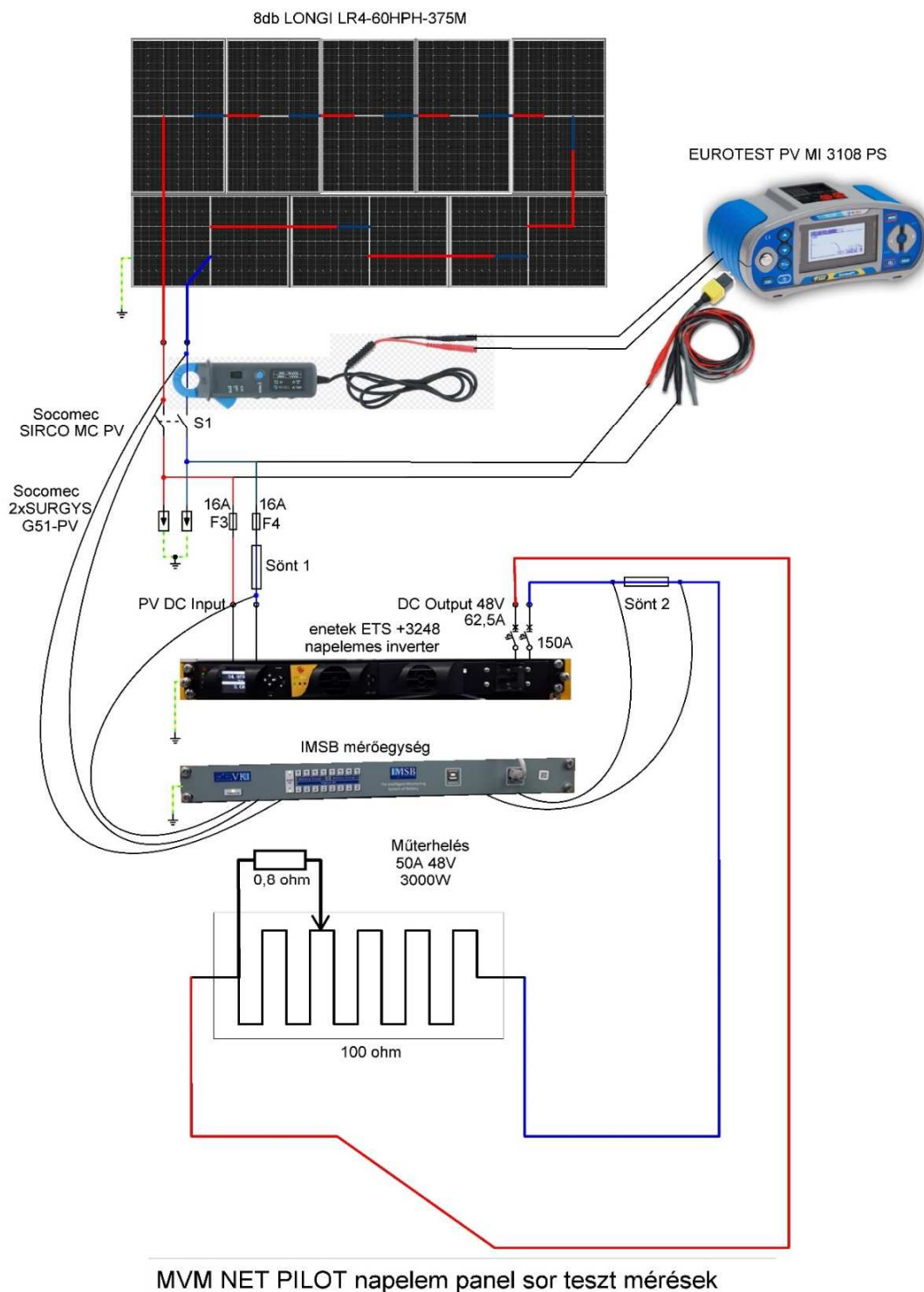
56. ábra Napelem tábla P-U-I diagrammja⁵⁹

Az U-I karakterisztika felvételekor napos idő és 22°C környezeti hőmérséklet volt. A görbéből megállapítható, hogy a tábla jól teljesíti a gyári paramétereket.

⁵⁸ Készítette: Kendernay Zsolt

⁵⁹ Készítette: Kendernay Zsolt

A mérések eredményei alapján megállapítást nyert, hogy az converter teljesíti a specifikáció szerinti értékeket, melyeket a napelem sor mérése során is felvettem az alábbi mérési elrendezésben, átlagos megvilágítás mellett.

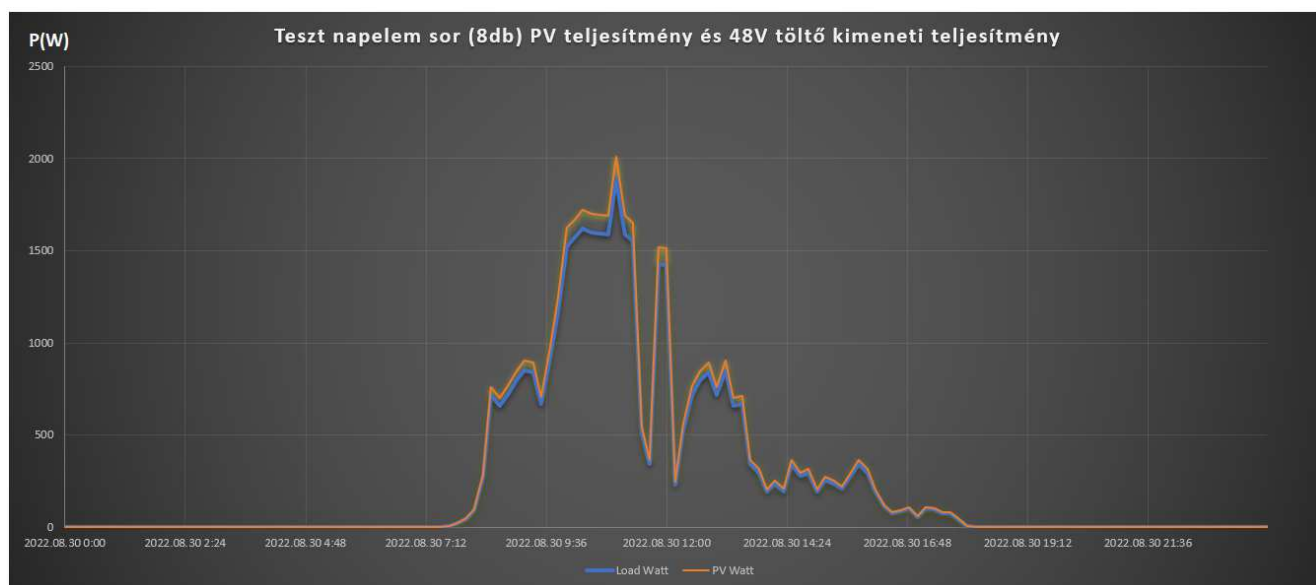


59. ábra Napelem sor leadott és converter kimenő teljesítményének mérése⁶²

⁶² Készítette: Kendernay Zsolt

A MSZ EN 62446-1:2022 szabványban rögzített és a Metrel EUROTTEST PV MI 3108 PS által alkalmazott mérési elrendezésben a napelemsor egy hálózatra tápláló inverterre van csatlakoztatva, mely a pillanatnyi maximális energiát táplálja rá a hálózatra és e közben megjelenő villamos értékeket méri. Ezzel szemben a PILOT modellben alkalmazott converter megoldás, maximum a pillanatnyi fogyasztásnak megfelelő energiát enged a fogyasztó irányába áramolni, és a kimeneten is villamos DC paraméterek vannak jelen. A Metrel műszerben, az ehhez alkalmas mérési menüt nem találtam, így saját megoldást kellett alkalmazni.

A mérés eredményének ábrázolása:



60. ábra Napelem leadott és converter kimenő teljesítménye ⁶³

A mért értékek alapján megállapítható az alkalmazott converter hatásfoka (melyet a fenti grafikonon felvett karakterisztikán a jobb láthatóság érdekében kissé elnagyoltan ábrázoltam), a két görbe különbségével, a specifikációnak megfelelő.

4.3.3. Teszt áramellátók összekapcsolása és együttműködése.

A tesztelésre használt áramellátók összekapcsolásának elrendezési rajzát a (61. ábra) szemlélteti. A napelemes converter elegendő napsütés esetén az előre beállított -54,5V-os töltőfeszültség szinthez közelítéssel elkezd az energiát a rendszerbe táplálni, mely áram a fogyasztó felé kezd el áramolni. Ezzel összhangban a hálózati töltő alacsonyabbra beállított -54V-os töltőfeszültsége révén a leadott energiát azonos mértékben csökkenti, és csökken a fogyasztó felé elfolyó kimenő árama. E közben az akkumulátorok puffer üzemben kis mennyiségű áramot vesznek fel.

Áramszünet létesítése esetén a hálózati töltő kimenő árama nullára csökken, és az akkumulátorokból elkezdi a tárolt energia a fogyasztó felé áramolni. Az áram értéke a napelemes converter termelésének pillanatnyi értékével kevesebb, így a rendszer áthidalási ideje a napsütéssel arányosan nagyobbá válik.

⁶³ Készítette: Kendernay Zsolt

A tesztelés 2x24 órában zajlott, mely idő alatt szerencsére volt napsütés is, mely során megfigyelhető volt a rendszer működőképessége, a beiktatott áramszünettel együtt.

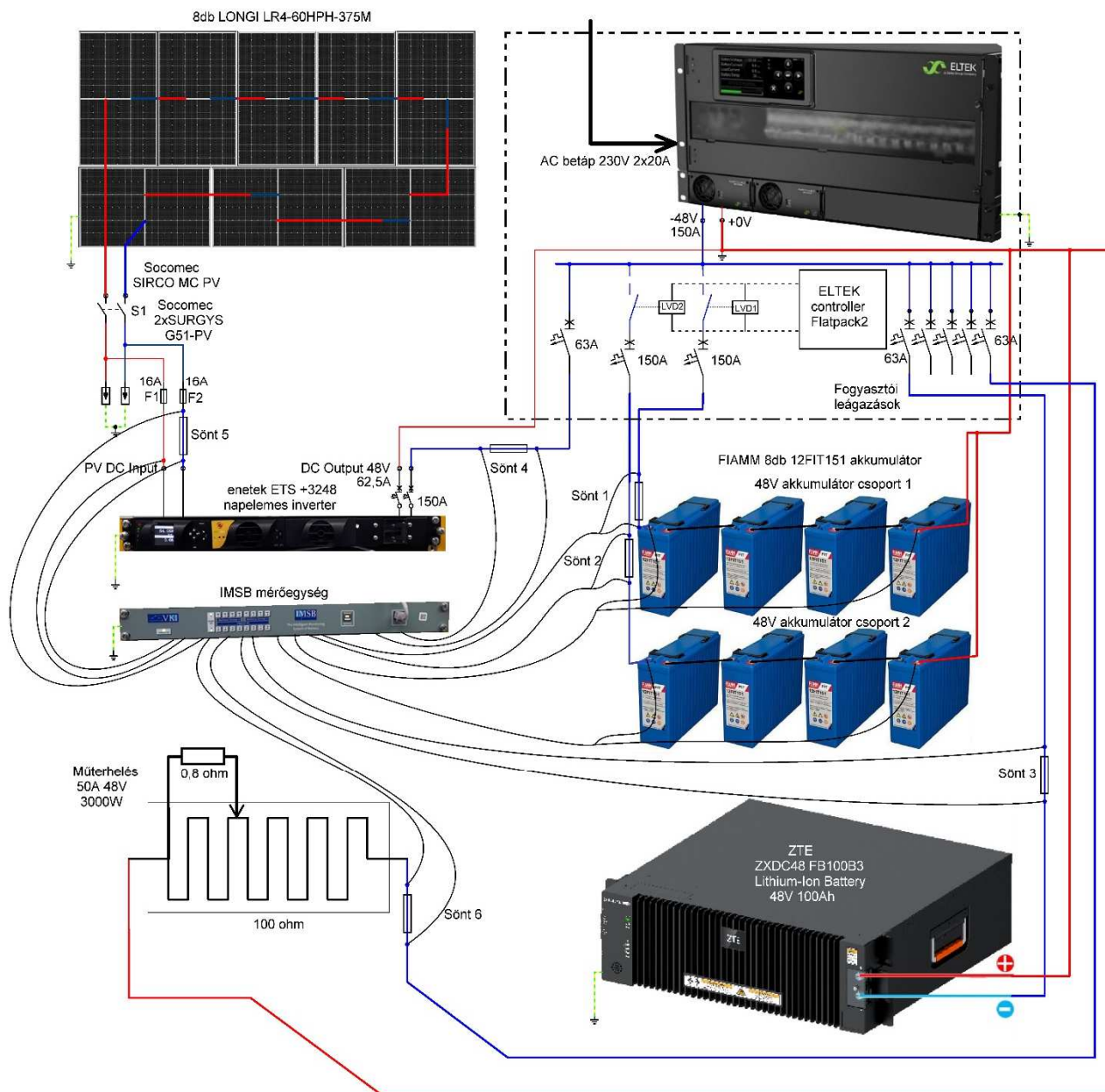
A modellezés eredménye képpen az elgondolás működőképességét igazolni tudtam, és telepítésre alkalmasnak ítélttem.

A kapcsolás kialakítása során a napelemes convertert a hálózati töltő egyik fogyasztói leágazó kismegszakítójára kell bekötni. Másik bekötési lehetőség lenne egy nagyáramú LVD relére csatlakozni, de az állomáson telepített készülékben csak 2db LVD található, és az a két VRLA akkumulátor csoportra van felhasználva. Jövőbeni K+F projekt keretében lehetséges a napelemes converter bekötésével nagyáramú söntöt sorba kötve, és az azon létrejövő mérőfeszültséget felhasználva (pl.: IMSB berendezés segítségével) saját megoldású teljes villamos energiamérést megvalósítani.

További elképzelések közé tartozik, hogy a napelemes converter a meglévő VRLA akkumulátorokat is képes legyen tölteni, annak érdekében, hogy a nappal megtermelt energia többletet el lehessen tárolni. Azonban az előzetes modellezés és tervezés során megállapítást nyert, hogy jelen kiépítésben nem keletkezik olyan mennyiségű energiatöbblet, melyet hatékonyan lehetne eltárolni és későbbi időpontban, éjszaka felhasználni, ezért ennek a megoldásnak a kialakítása egyenlőre a PILOT állomások esetében nem releváns.

4.3.4. Villamos létesítés előkészítése, teszt mérések elvégzése.

A mérések során alkalmazott kapcsolások kiegészítve a teljes rendszer elemekkel, valamint a működési modellezés lehetővé teszi, hogy az alábbi elrendezés alapján a szükséges villamos tervezés elvégezhető legyen.



MVM NET PILOT napelemes rendszer teszt mérések

61. ábra Teljes teszt környezet kapcsolási rajza ⁶⁴

⁶⁴ Készítette: Kendernay Zsolt

4.4. Műszaki átadás, ellenőrző mérések.

Az állomások kiépítését követően a műszaki átadás során előírt szabványok, jogszabályok szerinti megfelelőségekhez kapcsolódó méréseket, a szerződött VBF (villamos biztonsági felülvizsgáló) mérési jegyzőkönyvvvel igazolta.

A 2022. év végi létesítés során igen gyenge napsütés és meleg hőmérséklet állt rendelkezésre, mely miatt sem a napelem villamos paramétereinek műszeres vizsgálata sem az infrakamerás hőképes vizsgálat nem volt kiértékelhetően elvégezhető, ezért ezek a mérések 2023 májusában lettek elvégezve.

A mérések időpontja: „A” állomás 2023.05.05. 09-11h

„B” állomás 2023.05.04. 12-14h

A vizsgálatok és mérések az alábbi szabvány szerint történtek:

- MSZ EN 62446-1:2022

Fotovillamos (PV-) rendszerek. Vizsgálati, dokumentációs és karbantartási követelmények. 1. rész: Hálózatra kapcsolt rendszerek. Dokumentáció, üzembe helyezési vizsgálatok és szemrevételezés (IEC 62446-1:2016 + AMD1:2018) EGYESÍTETT VÁLTOZAT

- 1-es kategóriájú vizsgálatok: minimális követelmények
- 2-es kategóriájú vizsgálatok: kiterjesztett vizsgálatok
- Egyenáramú oldal:
 - DC Szigetelési ellenállás vizsgálata, (átadáskor jegyzőkönyvezve)
 - Védővezető folytonosság vizsgálat, (átadáskor jegyzőkönyvezve)
 - Polaritás vizsgálat, (átadáskor jegyzőkönyvezve)
 - Napelem modulsor üzemi feszültség mérése, (átadáskor jegyzőkönyvezve)
 - Modulsor üresjárási feszültségének vizsgálata,
 - Napelem modulsor rövidzárási áram mérése,
 - Napelem modulsor működési vizsgálata,
 - Kitöltési tényező megadása,
 - U-I karakterisztikák vizsgálata,
 - Rendszerbe épített berendezések funkcionális vizsgálata,
 - Az infravörös kamerás szemrevételezési eljárás vizsgálati mérés,
 - Árnyékolás kiértékelése nem készült, mert nincsenek árnyékhatások.

4.4.1. Napelem sztring műszeres vizsgálatok

A mérésekhez használt műszerek:

- Metrel MI3109 EurotestPL Lite kombinált napelemes műszer
- Metrel A1378 mérési adatgyűjtő
- Testo 883 infrakamera és egy áruházi kézi infra hőmérő
- ITT MX1200S Lakatfogó

A beállítások során a legfontosabb paraméterek a hőmérsékletre változó jellemzők megadása, melyeket a műszerben „alfa”, „beta” és „gamma” paramétereknél kell beállítani. A napelem adatlapról leolvasott két Temperature Coefficient % értéket nominális értékre átszámolással kell átváltani. Ezek: $\alpha \rightarrow I_{sc}$ és $\beta \rightarrow V_{oc}$, illetve a $\gamma \rightarrow P_{max}$ közvetlenül leolvasható az adatlapról.

Electrical Characteristics		
STC : AM1.5 1000W/m ² 25°C		
Test uncertainty for Pmax: ±3% NOCT : AM1.5 800W/m ² 20°C 1m/s		
Module Type	LR4-60HPH-375M	
Testing Condition	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax/W)	375	281.7
Open Circuit Voltage (Voc/V)	41.1	38.6
Short Circuit Current (Isc/A)	11.60	9.41
Voltage at Maximum Power (Vmp/V)	34.6	32.2
Current at Maximum Power (Imp/A)	10.84	8.75
Module Efficiency(%)	20.6	
Temperature Ratings (STC)		
Temperature Coefficient of Isc	+0.050%/°C	
Temperature Coefficient of Voc	-0.265%/°C	
Temperature Coefficient of Pmax	-0.340%/°C	

62. ábra Longi panel hőfüggési paraméterei⁶⁵

Az átalakítás az STC paraméterekből, alábbi összefüggések szerint történik:

⁶⁵ https://static.longi.com/Hi_MO_4m_LR_4_60_HPH_365_385_M_2f4a758369.pdf (utolsó megtekintés: 2023.11.27)

$\alpha = I_{sc} * \text{Coefficient} = (11,6A * +0,050\%/^{\circ}C)/100 = 0,0058mA/^{\circ}C \rightarrow$ a műszer csak század pontosságra állítható be miliamperben, ezért az érték $0,006mA/^{\circ}C$ -ra lett megválasztva

$\beta = V_{oc} * \text{Coefficient} = (41,1V * -0,265\%/^{\circ}C)/100 = 0,108915V/^{\circ}C \rightarrow$ a műszer csak tized pontosságra állítható be voltban, ezért az érték $0,110V/^{\circ}C$ -ra lett megválasztva

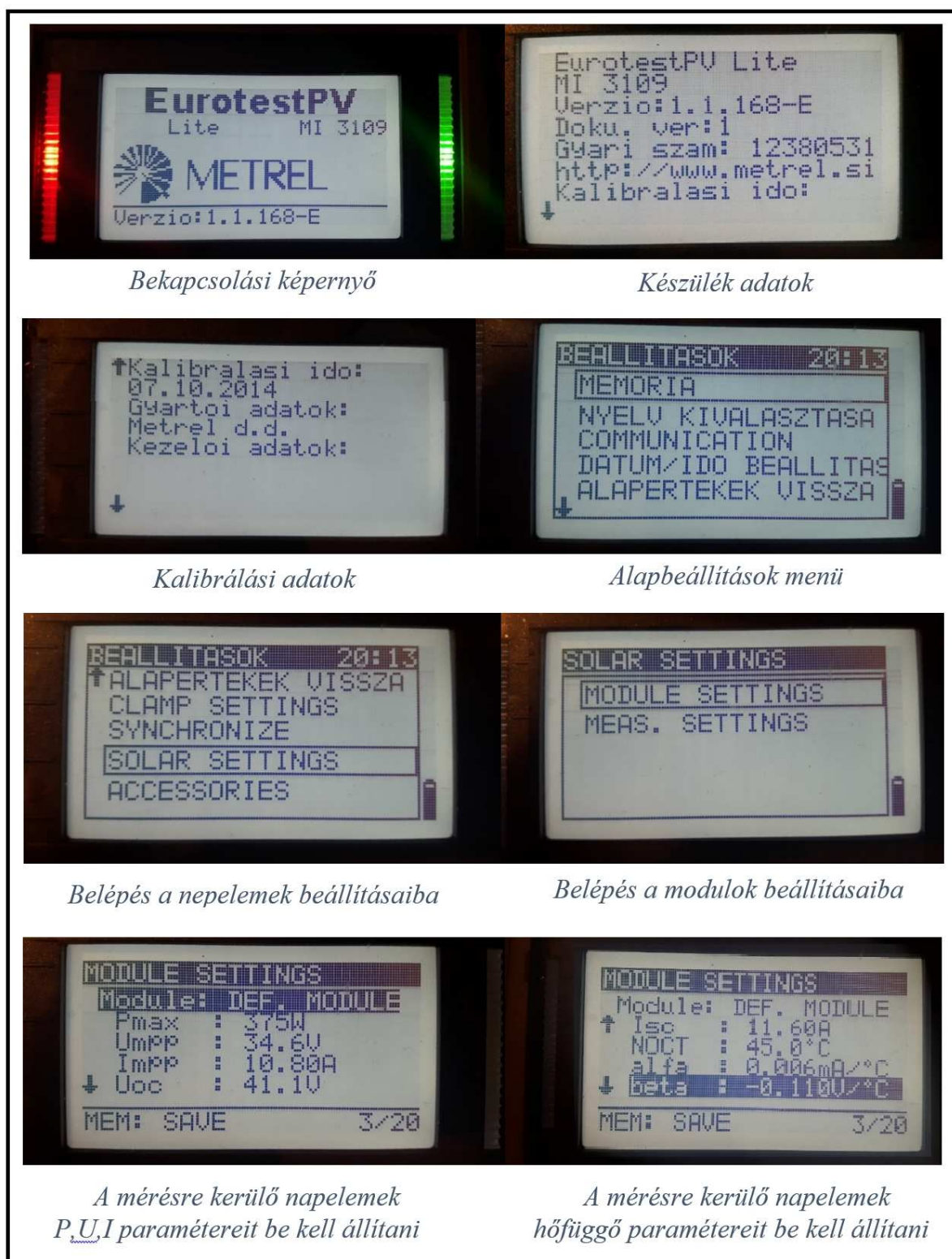
$\gamma = -0,340\%/^{\circ}C \rightarrow$ a műszer csak tized pontosságra állítható be százalékban, ezért az érték $-0,350\%/^{\circ}C$ -ra lett megválasztva

A legnehezebben megadható érték az R_s soros ellenállás értéke, melynek kiszámítására az MSZ EN 60891:2010 szabványban leírtak irányadók, de a konkrét értékének kiszámítása, vagy hiteles megadása, melyet a műszerbe be kell tárolni, olyan összetettnek bizonyult, hogy az értékét inkább közelítéssel, becsléssel választottam meg. A becskéshez a felhasznált vezetékek és csatlakozások veszteségi ellenállásait vettem figyelembe. Az értéket végül $0,25 \text{ ohm}$ -nak vettem, mely az alábbi képlet alapján $54m \text{ } 4mm^2$ -es rézvezetőnek megfelelő érték. Mivel sem a tesztmérések, sem a végleges állapot során ilyen mennyiségű vezeték nem volt jelen, ezért csak a 8 darab tábla 16db MC4-es csatlakozásának egyenként $\sim 15 \text{ m}\Omega$ értékű átmeneti ellenállására támaszkodtam. A gyártói adatok szerint egy MC4-es csatlakozó átmeneti ellenállása $1-10 \text{ m}\Omega$ alatti érték, ugyanakkor ezt a rendelkezésre álló műszerezettséggel mérni nem tudtam.

$$R = \rho * \frac{l}{A} \quad \text{ahol} \quad \rho = \frac{1}{54} [\Omega \cdot m] \quad A=4mm^2$$

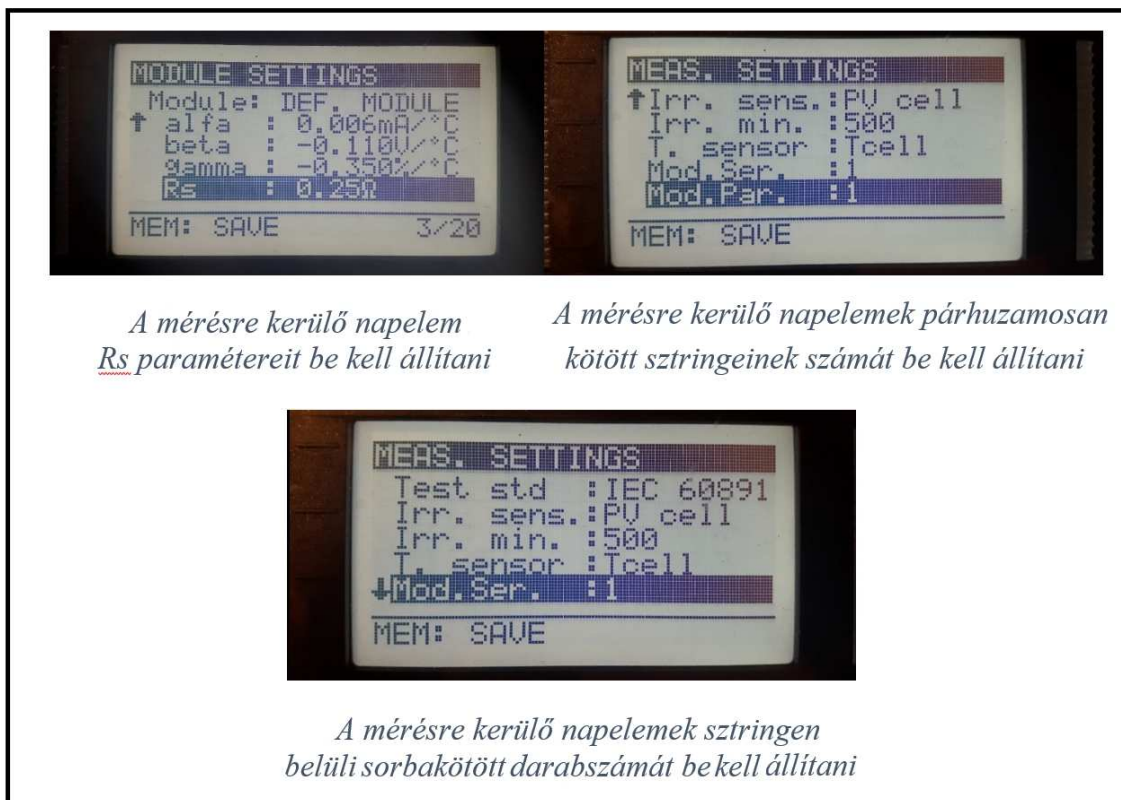
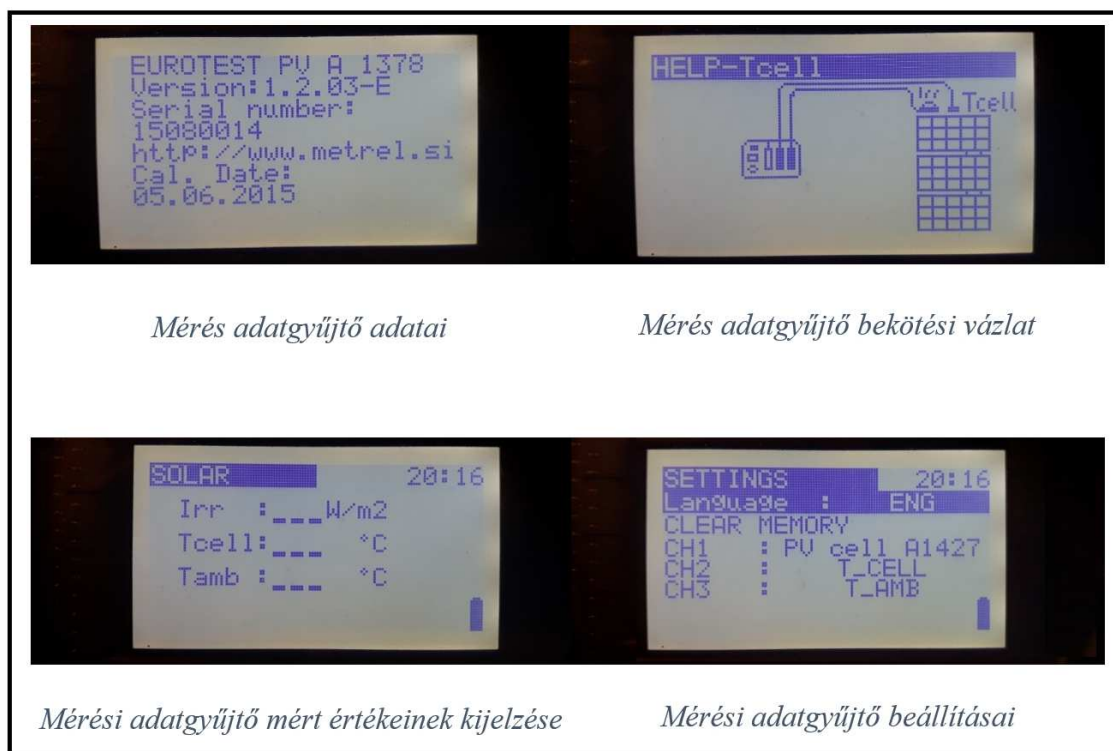
$$l = A * \frac{R}{\rho} = 4 * \frac{0,25}{1/54} = 54 [m]$$

METREL MI3109 MŰSZER ALAPBEÁLLÍTÁSAI



63. ábra Metrel MI3109 műszer alapbeállításai 1 ⁶⁶

⁶⁶ Fényképezte: Kendernay Zsolt

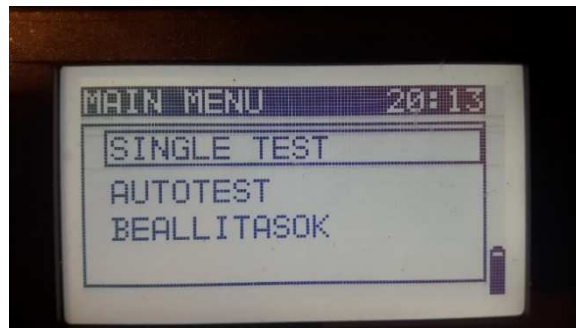
64. ábra Metrel MI3109 műszer alapbeállításai ²⁶⁷65. ábra Metrel A1378 adatgyűjtő alapbeállításai ⁶⁸⁶⁷ Fényképezte: Kendernay Zsolt⁶⁸ Fényképezte: Kendernay Zsolt



66. ábra Hőmérséklet és besugárzás (megvilágítás) mérők elhelyezése⁶⁹

A műszerrel az alábbi méréseket lehet elvégezni:

- Fény/hő mérés
- Uoc/Isc mérése
- Panel I/V mérés
- Földelési folytonosság vizsgálat
- Szigetelési ellenállás mérés
- Panel mérés
- Inverter mérés
- Automata mérések



67. ábra Manuális tesztek indítása⁷⁰

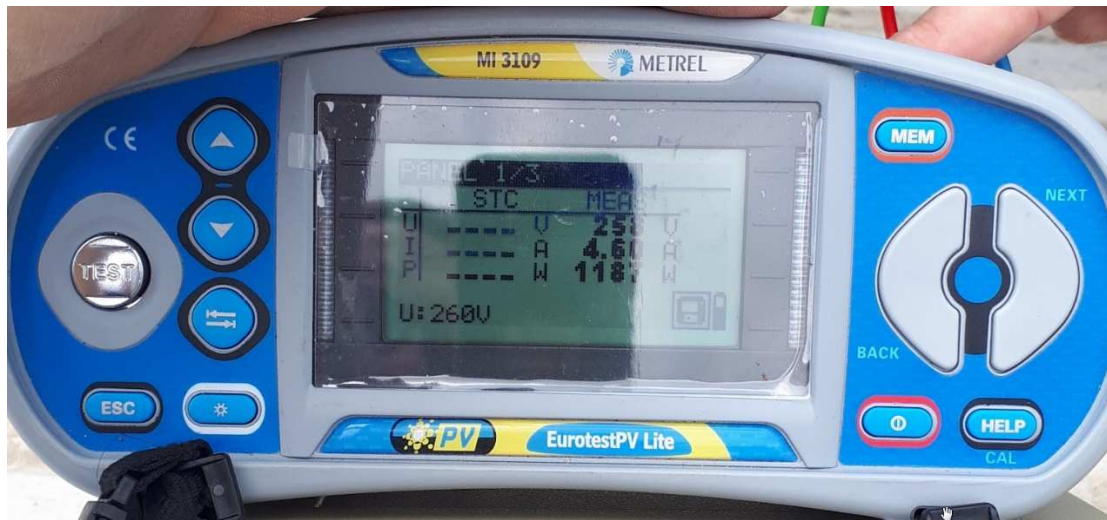
A méréseket az „A” és „B” állomás esetében egy teljes 8db napelem táblás sztrtingen, valamint önállóan 1db napelem táblán is elvégeztem.

A műszer kijelzőének mérés közbeni leolvasása, kezelése és fényképen történő megörökítése nagy kihívást jelentett, mivel a használat tűző napnál történt, és ekkor a kijelző csillog, tükröződik, a

⁶⁹ Fényképezte: Kendernay Zsolt

⁷⁰ Fényképezte: Kendernay Zsolt

fényképfelvételek nehezen lesznek jók. Több felvétellel, illetve árnyékolás segítségével lehet ezen javítani.



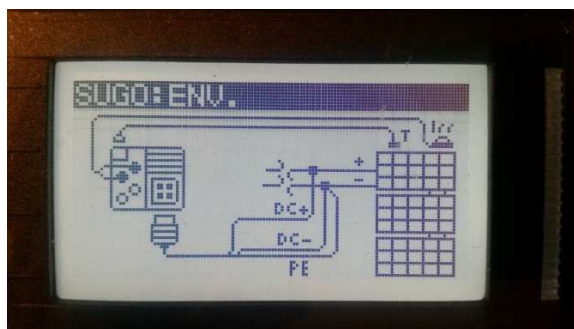
68. ábra Fényképkészítés nehézségei, csillogás, tükröződés⁷¹

⁷¹ Fényképezte: Kendernay Zsolt

4.4.2. „A” állomás mérési eredményei

- Fény/hő mérése: a mérési eredményeket a mérési adatgyűjtő a mérés során folyamatosan tárolja, majd a mérés végeztével az adatgyűjtőből az adatokat a mérőműszerbe közvetlenül kell áttölteni.
- U_{oc}/I_{sc} mérése
- Panel I/V mérés
- Földelési folytonosság vizsgálat: ez a mérés a VBF felülvizsgálat során került elvégzésre.
- Szigetelési ellenállás mérés: ez a mérés a VBF felülvizsgálat során került elvégzésre.
- Panel mérés
- Inverter mérés: AC inverter hiányában ilyen mérés nem értelmezhető. A műszer DC/DC inverteres mérést nem támogat.
- Automata mérés: nem alkalmaztam automata méréseket, minden mérést manuálisan végeztem el.

Fény/hő mérés



69. ábra Műszer fény és hőmérő bekötésének elrendezése⁷²



70. ábra Az adatgyűjtő műszer fény és hő mérés kijelzése⁷³

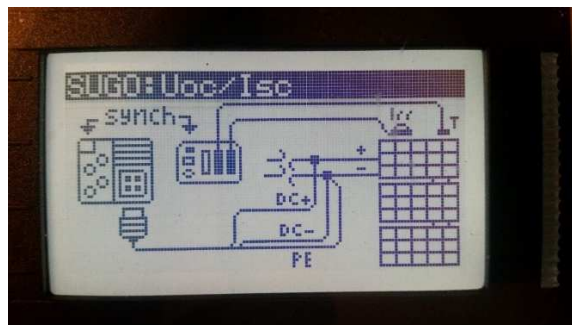
⁷² Fényképezte: Kendernay Zsolt

⁷³ Fényképezte: Kendernay Zsolt

Uoc/Isc mérése

Sorrendben az első mérés az Uoc/Isc mérés elvégzése.

Uoc (üresjárási feszültség), Isc (rövidzárási áram)



71. ábra Direkt mérés (STC paraméterekhez) adatgyűjtővel ⁷⁴

A sztring mérés mérési eredményei: ⁷⁵

OBJECT22 / INVERTER1 / STRING1 / PANEL4
05.05.2023 10:10

JÓ*

Uoc/Isc

	STC	MEAS
Uoc	322V	307V
Isc	11.71A	11.16A

ENVIRONMENT - SYNCH.

Irr: 953W/m2
Tcell: 41.8°C
Tcell_5: °C
Tcell_10: °C
Tcell_15: °C

Module settings:

Module: DEF. MODULE
Pmax: 375W
Umpp: 34.6V
Impp: 10.80A
Uoc: 41.1V
Isc: 11.60A
NOCT: 45.0°C
alfa: 0.01mA/°C
beta: -0.110V/°C
gamma: -0.35%/°C
Rs: 0.25Ω

Measurement settings:

Test std: IEC_60891
Irr. sens.: PV Cell
Irr. min.: 500W/m2
T. sensor: Tcell
Mod.Ser.: 8
Mod.Par.: 1
Correct. T:
Warn. Irr: %
Warn. Uoc: %

⁷⁴ Fényképezte: Kendernay Zsolt

⁷⁵ Készítette: Kendernay Zsolt

A mérések során az áramokat egy lakatfogóval ellenőriztem:



72. ábra Lakatfogós ellenőrzés⁷⁶

A cella 1. mérés mérési eredményei: ⁷⁷

OBJECT23 / INVERTER1 / STRING1 / PANEL1
05.05.2023 10:15

JÓ*

Uoc/Isc

	STC	MEAS
Uoc	40.1V	38.2V
Isc	11.62A	11.05A

ENVIRONMENT - SYNCH.

Irr: 951W/m2
Tcell: 42.8°C
Tcell_5: °C
Tcell_10: °C
Tcell_15: °C

Module settings:

Module: DEF. MODULE
Pmax: 375W
Umpp: 34.6V
Imp: 10.80A
Uoc: 41.1V
Isc: 11.60A
NOCT: 45.0°C
alfa: 0.01mA/°C
beta: -0.110V/°C
gamma: -0.35%/°C
Rs: 0.25Ω

Measurement settings:

Test std: IEC_60891
Irr. sens.: PV Cell
Irr. min.: 500W/m2
T. sensor: Tcell
Mod.Ser.: 1
Mod.Par.: 1
Correct. T:
Warn. Irr: %
Warn. Uoc: %

⁷⁶ Fényképezte: Kendernay Zsolt

⁷⁷ Készítette: Kendernay Zsolt

A cella 2. mérés mérési eredményei: a 2. mérés az elsővel történő összehasonlítás miatt készült: ⁷⁸

OBJECT23 / INVERTER1 / STRING1 / PANEL2
05.05.2023 10:15

JÓ*

Uoc/Isc

	STC	MEAS
Uoc	40.2V	38.2V
Isc	11.63A	11.07A

ENVIRONMENT - SYNCH.

Irr: 951W/m2
Tcell: 42.8°C
Tcell_5: °C
Tcell_10: °C
Tcell_15: °C

Module settings:

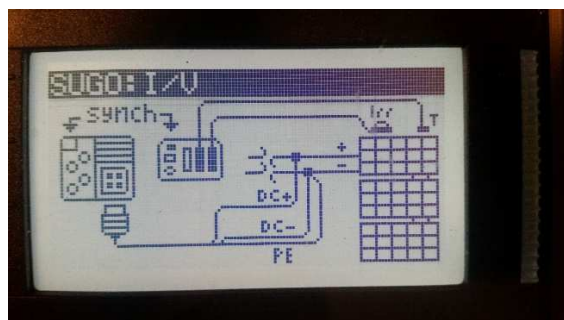
Module: DEF. MODULE
Pmax: 375W
Umpp: 34.6V
Impp: 10.80A
Uoc: 41.1V
Isc: 11.60A
NOCT: 45.0°C
alfa: 0.01mA/°C
beta: -0.110V/°C
gamma: -0.35%/°C
Rs: 0.25Ω

Measurement settings:

Test std: IEC_60891
Irr. sens.: PV Cell
Irr. min.: 500W/m2
T. sensor: Tcell
Mod.Ser.: 1
Mod.Par.: 1
Correct. T:
Warn. Irr: %
Warn. Uoc: %

Panel I/V mérés, karakterisztika vizsgálat

I-U és P-U karakterisztika mérése:



73. ábra I/U karakterisztika mérés közvetlenül adatgyűjtővel⁷⁹

⁷⁸ Készítette: Kendernay Zsolt

⁷⁹ Fényképezte: Kendernay Zsolt

A sztring mérés mérési eredményei: ⁸⁰

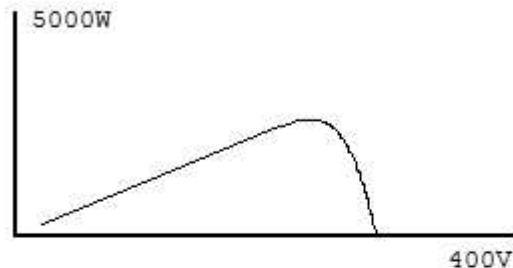
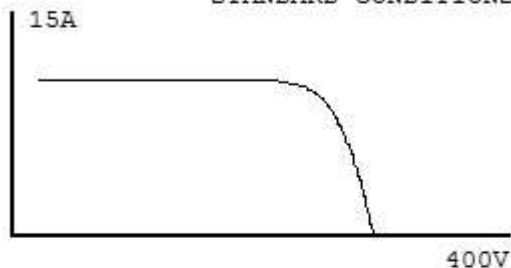
OBJECT22 / INVERTER1 / STRING1 / PANEL2
 05.05.2023 10:09

JÓ*

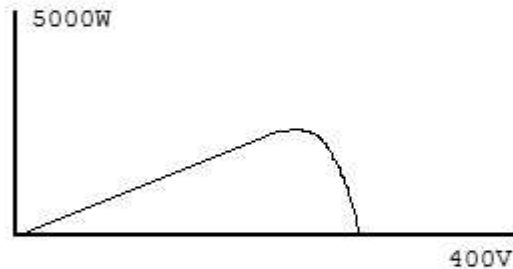
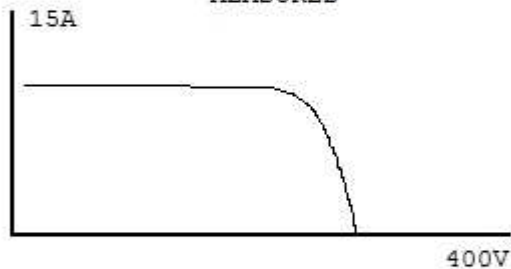
I/V

	STC	MEAS
Uoc	322V	308V
Isc	11.69A	11.15A
Umpp	263V	250V
Impp	11.01A	10.51A
Pmpp	2.90kW	2.62kW

STANDARD CONDITIONS



MEASURED



ENVIRONMENT - SYNCH.

Irr: 954W/m²
 Tcell: 41.8°C
 Tcell_5: °C
 Tcell_10: °C
 Tcell_15: °C

Module settings:

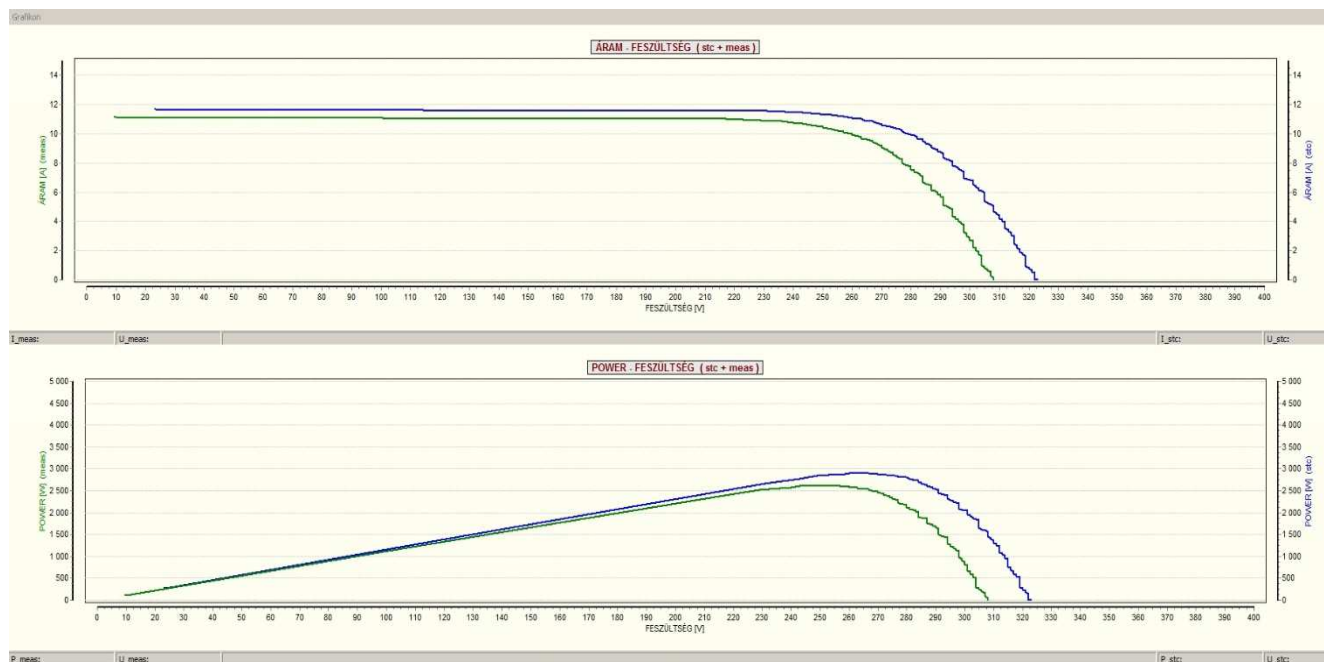
Module: DEF. MODULE
 Pmax: 375W
 Umpp: 34.6V
 Impp: 10.80A
 Uoc: 41.1V
 Isc: 11.60A
 NOCT: 45.0°C
 alfa: 0.01mA/°C
 beta: -0.110V/°C
 gamma: -0.35%/°C
 Rs: 0.25Ω

Measurement settings:

Test std: IEC_60891
 Irr. sens.: PV Cell
 Irr. min.: 500W/m²
 T. sensor: Tcell
 Mod.Ser.: 8
 Mod.Par.: 1
 Correct. T:
 Warn. Irr: %
 Warn. Uoc: %

⁸⁰ Készítette: Kendernay Zsolt

A felvett görbe és az STC görbe:⁸¹



74. ábra Sztring PV analízis⁸²

⁸¹ Készítette: Kendernay Zsolt

⁸² Készítette: Kendernay Zsolt

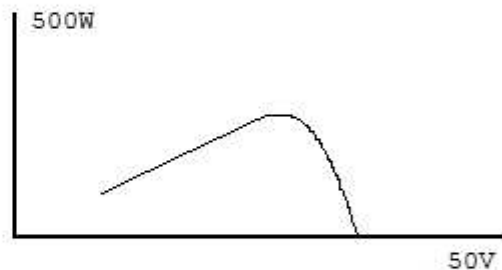
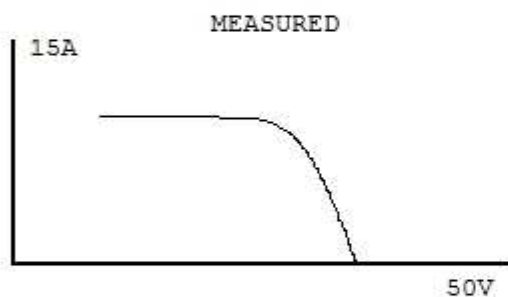
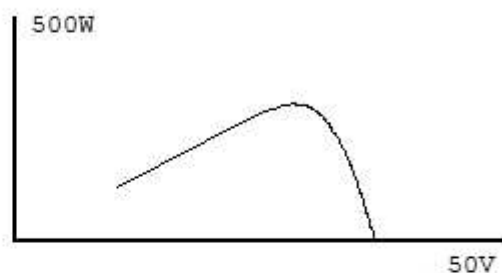
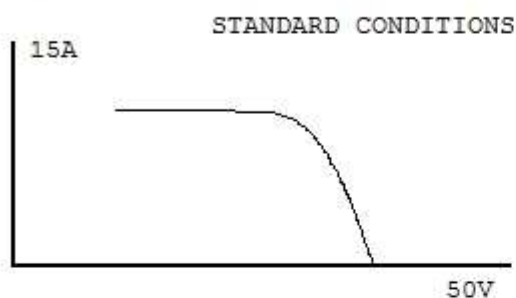
Az 1db napelem tábla mérés mérési eredményei: ⁸³

OBJECT23 / INVERTER1 / STRING1 / PANEL3
05.05.2023 10:15

JÓ*

I/V

	STC	MEAS
Uoc	40.2V	38.2V
Isc	11.64A	11.06A
Ump	31.3V	29.5V
Imp	10.86A	10.33A
Pmp	340W	305W



ENVIRONMENT - SYNCH.

Irr: 951W/m²
Tcell: 42.8°C
Tcell_5: °C
Tcell_10: °C
Tcell_15: °C

Module settings:

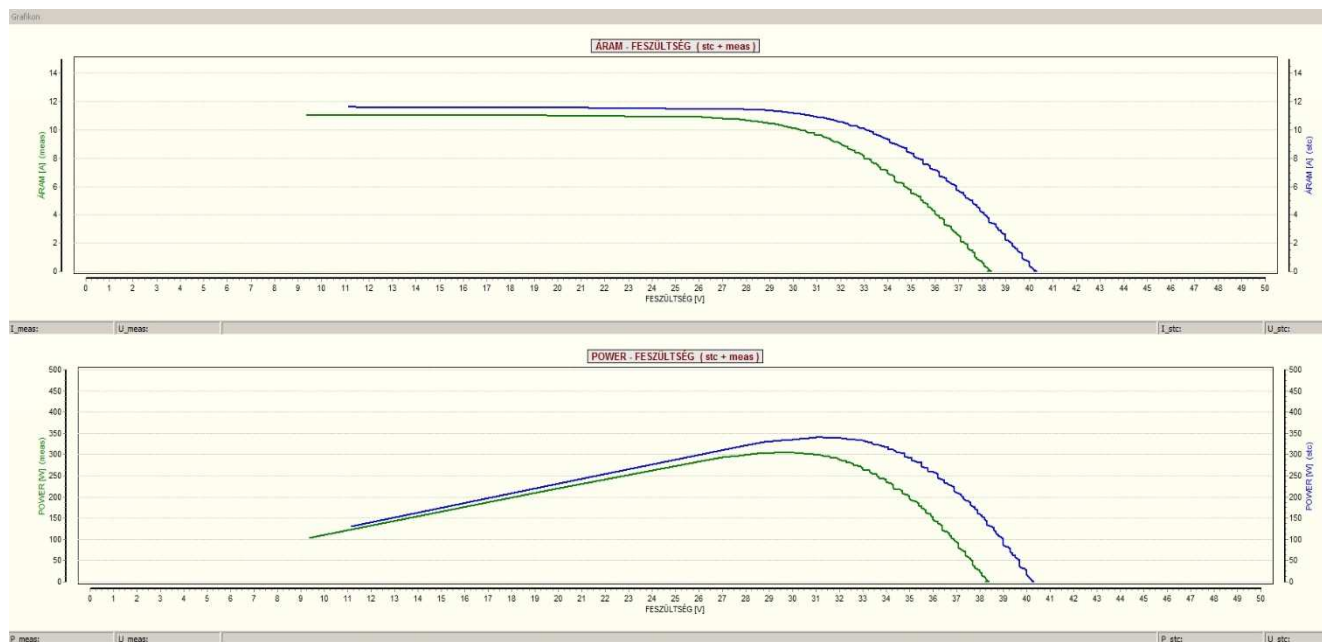
Module: DEF. MODULE
Pmax: 375W
Ump: 34.6V
Imp: 10.80A
Uoc: 41.1V
Isc: 11.60A
NOCT: 45.0°C
alfa: 0.01mA/°C
beta: -0.110V/°C
gamma: -0.35%/°C
Rs: 0.25Ω

Measurement settings:

Test std: IEC_60891
Irr. sens.: PV Cell
Irr. min.: 500W/m²
T. sensor: Tcell
Mod.Ser.: 1
Mod.Par.: 1
Correct. T:
Warn. Irr: %
Warn. Uoc: %

⁸³ Készítette: Kendernay Zsolt

A felvett görbe és az STC görbe:⁸⁴

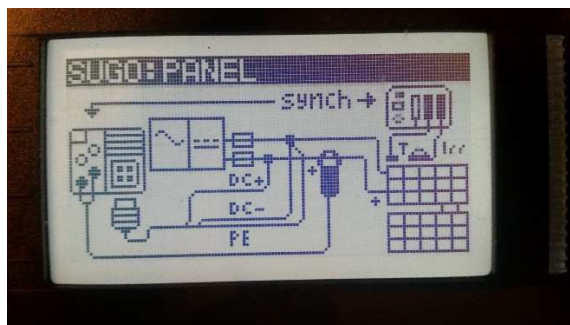


75. ábra Panel PV analízis⁸⁵

⁸⁴ Készítette: Kendernay Zsolt

⁸⁵ Készítette: Kendernay Zsolt

Panel mérés

76. ábra Panel mérés közvetlenül mérésadatgyűjtővel⁸⁶

A panel mérés eredményei:

OBJECT22 / INVERTER1 / STRING1 / PANEL1
05.05.2023 10:04

JÓ*

PANEL

	STC	MEAS
U	V	270V
I	A	9.23A
P	W	2.49kW
Pm	3.00kW	
Pt		2.82kW
η	%	88.3%

ENVIRONMENT - SYNCH.

Irr: 939W/m2
Tcell: 41.8°C
Tcell_5: °C
Tcell_10: °C
Tcell_15: °C

Module settings:

Module: DEF. MODULE
Pmax: 375W
Umpp: 34.6V
Impp: 10.80A
Uoc: 41.1V
Isc: 11.60A
NOCT: 45.0°C
alfa: 0.01mA/°C
beta: -0.110V/°C
gamma: -0.35%/°C
Rs: 0.25Ω

Measurement settings:

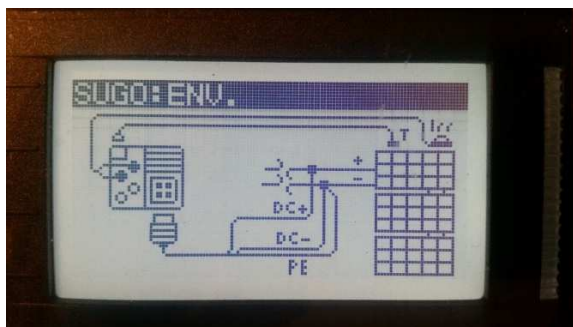
Test std: IEC_60891
Irr. sens.: PV Cell
Irr. min.: 500W/m2
T. sensor: Tcell
Mod.Ser.: 8
Mod.Par.: 1
Correct. T:
Warn. Irr: %
Warn. Uoc: %

⁸⁶ Készítette: Kendernay Zsolt

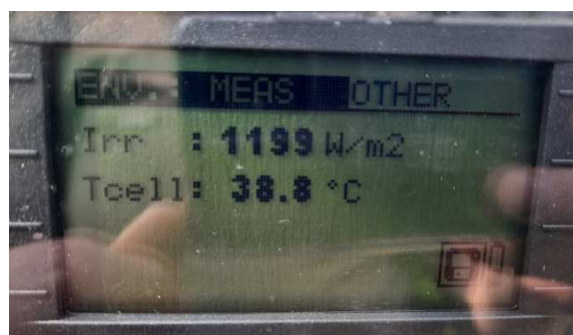
4.4.4. „B” állomás mérési eredményei

- B állomás Fény/hő mérése: a mérési eredményeket a mérési adatgyűjtő a mérés során folyamatosan tárolja, majd a mérés végeztével az adatgyűjtőből az adatokat a mérőműszerbe közvetlenül kell áttölteni.
- B állomás U_{oc}/I_{sc} mérése
- B állomás Panel I/V mérés
- B állomás földelési folytonosság vizsgálat: ez a mérés a VBF felülvizsgálat során került elvégzésre.
- B állomás szigetelési ellenállás mérés: ez a mérés a VBF felülvizsgálat során került elvégzésre.
- B állomás panel mérés
- B állomás inverter mérés: AC inverter hiányában ilyen mérés nem értelmezhető. A műszer DC/DC inverteres mérést nem támogat.
- B állomás automata mérés: nem alkalmaztam automata méréseket, minden mérést manuálisan végeztem el.

Fény/hő mérés



77. ábra Műszer fény és hőmérő bekötés elrendezése⁸⁷



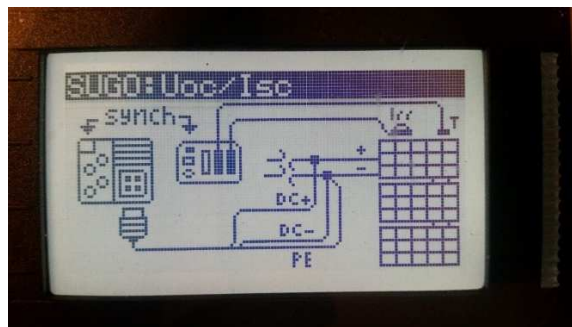
78. ábra A műszer fény és hő mérés kijelzése⁸⁸

⁸⁷ Fényképezte: Kendernay Zsolt

⁸⁸ Fényképezte: Kendernay Zsolt

Uoc/Isc mérése

Sorrendben az első mérés az Uoc/Isc mérés elvégzése.



79. ábra Első mérés közvetlen (STC paraméterekhez) adatgyűjtővel ⁸⁹

A sztring mérés mérési eredményei: ⁹⁰

OBJECT20 / INVERTER1 / STRING1 / PANEL6
04.05.2023 13:05

JÓ*

Uoc/Isc

	STC	MEAS
Uoc	326V	316V
Isc	11.76A	12.46A

ENVIRONMENT - SYNCH.

Irr: 1060W/m2

Tcell: 37.3°C

Tcell_5: °C

Tcell_10: °C

Tcell_15: °C

Module settings:

Module: DEF. MODULE

Pmax: 375W

Ump: 34.6V

Imp: 10.80A

Uoc: 41.1V

Isc: 11.60A

NOCT: 45.0°C

alfa: 0.01mA/°C

beta: -0.110V/°C

gamma: -0.35%/°C

Rs: 0.25Ω

Measurement settings:

Test std: IEC_60891

Irr. sens.: PV Cell

Irr. min.: 500W/m2

T. sensor: Tcell

Mod.Ser.: 8

Mod.Par.: 1

Correct. T:

Warn. Irr: %

Warn. Uoc: %

⁸⁹ Fényképezte: Kendernay Zsolt

⁹⁰ Készítette: Kendernay Zsolt

A cella 1. mérés mérési eredményei:⁹¹

```

OBJECT20 / INVERTER1 / STRING1 / PANEL11                                JÓ*
04.05.2023  13:22

Uoc/Isc
  |   STC   |   MEAS  |
  |---|---|
Uoc | 41.2V  | 38.9V   |
Isc | 11.98A  | 7.76A   |

ENVIRONMENT - SYNCH.
Irr: 648W/m2
Tcell: 37.3°C
Tcell_5: °C
Tcell_10: °C
Tcell_15: °C

Module settings:                Measurement settings:
Module: DEF. MODULE             Test std: IEC_60891
Pmax: 375W                      Irr. sens.: PV Cell
Umpp: 34.6V                    Irr. min.: 500W/m2
Impp: 10.80A                   T. sensor: Tcell
Uoc: 41.1V                     Mod.Ser.: 1
Isc: 11.60A                    Mod.Par.: 1
NOCT: 45.0°C                  Correct. T:
alfa: 0.01mA/°C               Warn. Irr: %
beta: -0.110V/°C              Warn. Uoc: %
gamma: -0.35%/°C
Rs: 0.25Ω

```

A cella 2. mérés mérési eredményei: a 2. mérés az elsővel történő összehasonlítás miatt készült:⁹²

```

OBJECT20 / INVERTER1 / STRING1 / PANEL14                                JÓ*
04.05.2023  13:23

Uoc/Isc
  |   STC   |   MEAS  |
  |---|---|
Uoc | 40.8V  | 39.3V   |
Isc | 11.17A | 10.35A  |

ENVIRONMENT - SYNCH.
Irr: 927W/m2
Tcell: 37.3°C
Tcell_5: °C
Tcell_10: °C
Tcell_15: °C

Module settings:                Measurement settings:
Module: DEF. MODULE             Test std: IEC_60891
Pmax: 375W                      Irr. sens.: PV Cell
Umpp: 34.6V                    Irr. min.: 500W/m2
Impp: 10.80A                   T. sensor: Tcell
Uoc: 41.1V                     Mod.Ser.: 1
Isc: 11.60A                    Mod.Par.: 1
NOCT: 45.0°C                  Correct. T:
alfa: 0.01mA/°C               Warn. Irr: %
beta: -0.110V/°C              Warn. Uoc: %
gamma: -0.35%/°C
Rs: 0.25Ω

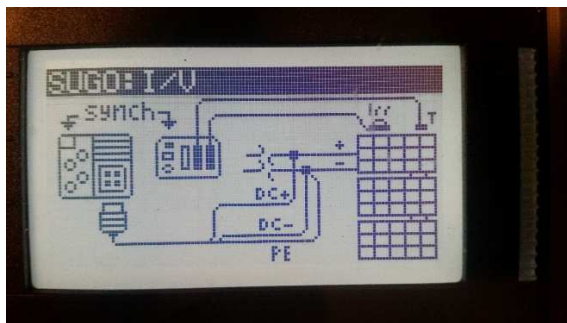
```

⁹¹ Készítette: Kendernay Zsolt

⁹² Készítette: Kendernay Zsolt

Panel I/V mérés, karakterisztika vizsgálat

I-U és P-U karakterisztika mérése:



80. ábra I/U karakterisztika mérés közvetlenül adatgyűjtővel⁹³

⁹³ Fényképezte: Kendernay Zsolt

A sztring mérés mérési eredményei: ⁹⁴

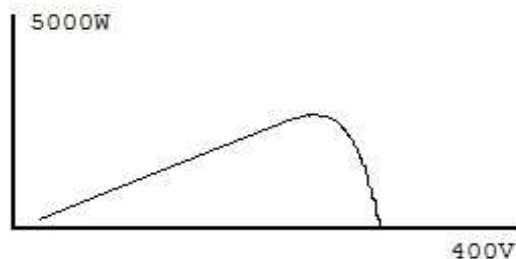
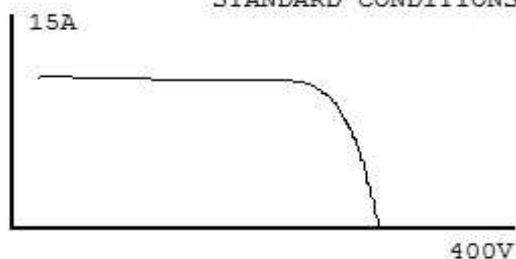
OBJECT20 / INVERTER1 / STRING1 / PANEL8
04.05.2023 13:06

JÓ*

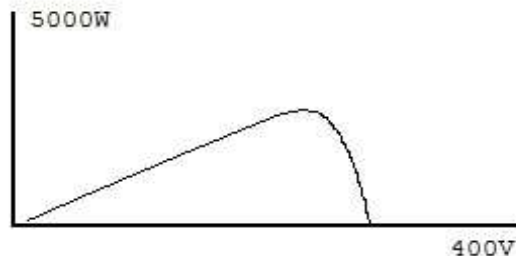
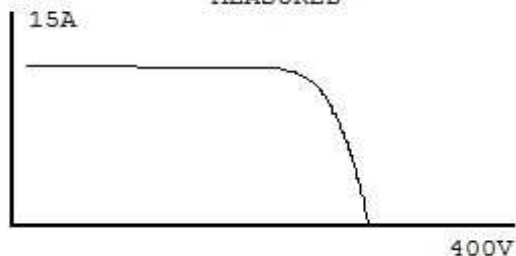
I/V

	STC	MEAS
Uoc	325V	316V
Isc	11.76A	12.47A
Ump	268V	257V
Imp	11.07A	11.74A
Pmp	2.96kW	3.01kW

STANDARD CONDITIONS



MEASURED



ENVIRONMENT - SYNCH.

Irr: 1060W/m²

Tcell: 37.8°C

Tcell_5: °C

Tcell_10: °C

Tcell_15: °C

Module settings:

Module: DEF. MODULE

Pmax: 375W

Ump: 34.6V

Imp: 10.80A

Uoc: 41.1V

Isc: 11.60A

NOCT: 45.0°C

alfa: 0.01mA/°C

beta: -0.110V/°C

gamma: -0.35%/°C

Rs: 0.25Ω

Measurement settings:

Test std: IEC_60891

Irr. sens.: PV Cell

Irr. min.: 500W/m²

T. sensor: Tcell

Mod.Ser.: 8

Mod.Par.: 1

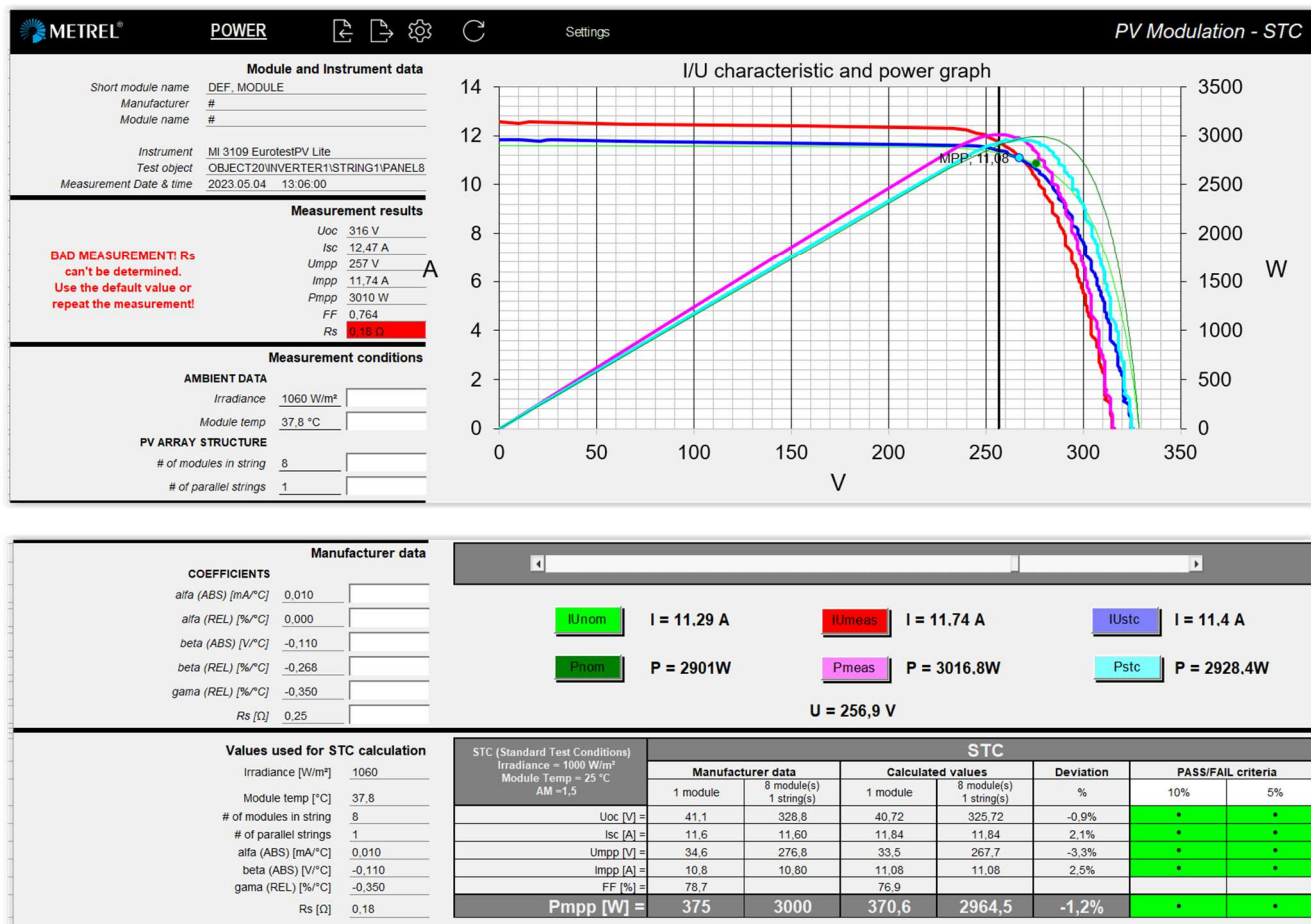
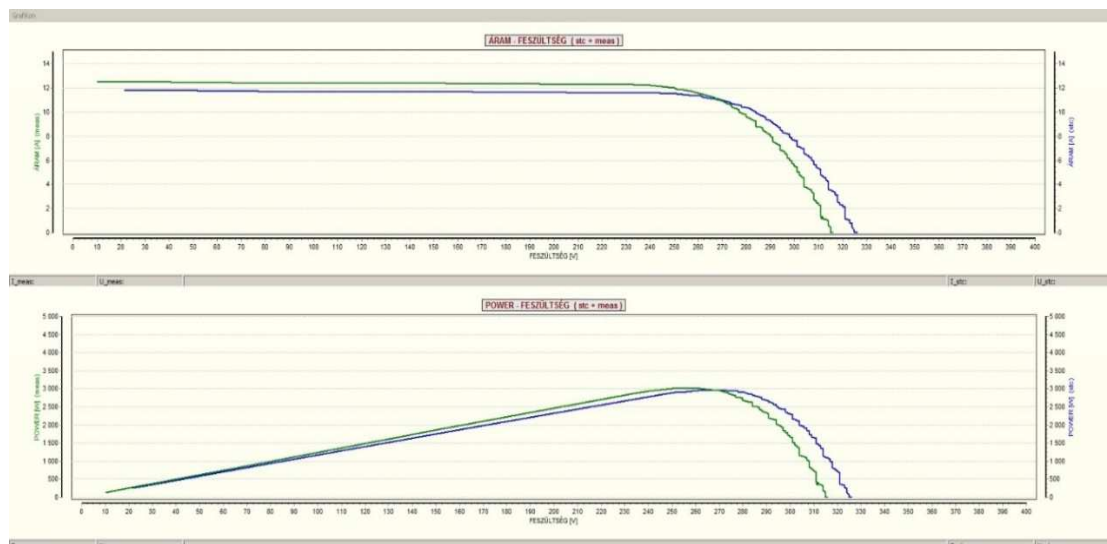
Correct. T:

Warn. Irr: %

Warn. Uoc: %

⁹⁴ Készítette: Kendernay Zsolt

A felvett görbe és az STC görbe:⁹⁵



81. ábra Sztring PV analízis⁹⁶

⁹⁵ Készítette: Kendernay Zsolt

⁹⁶ Készítette: Kendernay Zsolt

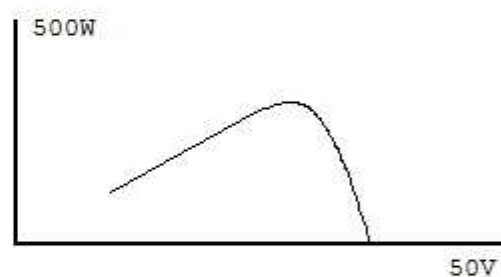
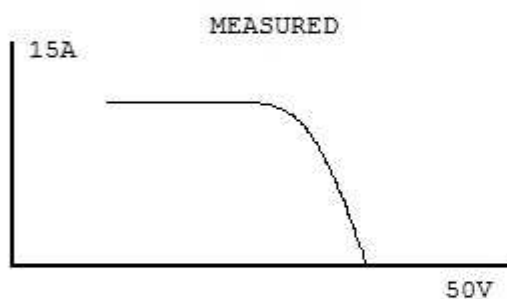
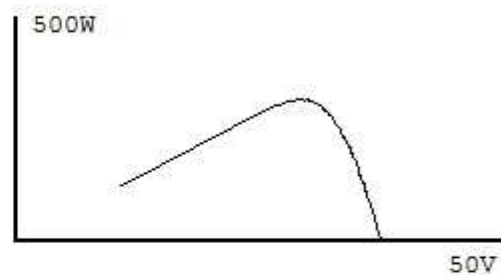
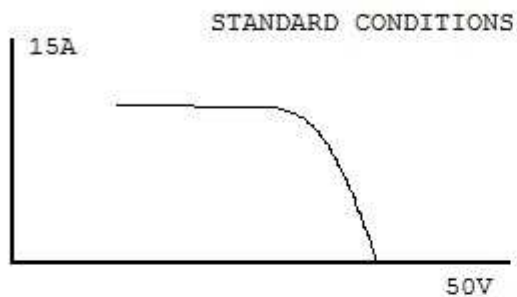
Az 1db napelem tábla mérés mérési eredményei:⁹⁷

OBJECT20 / INVERTER1 / STRING1 / PANEL15
04.05.2023 13:23

JÓ*

I/V

	STC	MEAS
Uoc	40.7V	39.5V
Isc	11.89A	12.45A
Umpp	31.8V	30.5V
Impp	11.03A	11.55A
Pmpp	351W	352W



ENVIRONMENT - SYNCH.

Irr: 1047W/m2

Tcell: 37.3°C

Tcell_5: °C

Tcell_10: °C

Tcell_15: °C

Module settings:

Module: DEF. MODULE

Pmax: 375W

Umpp: 34.6V

Impp: 10.80A

Uoc: 41.1V

Isc: 11.60A

NOCT: 45.0°C

alfa: 0.01mA/°C

beta: -0.110V/°C

gamma: -0.35%/°C

Rs: 0.25Ω

Measurement settings:

Test std: IEC_60891

Irr. sens.: PV Cell

Irr. min.: 500W/m2

T. sensor: Tcell

Mod.Ser.: 1

Mod.Par.: 1

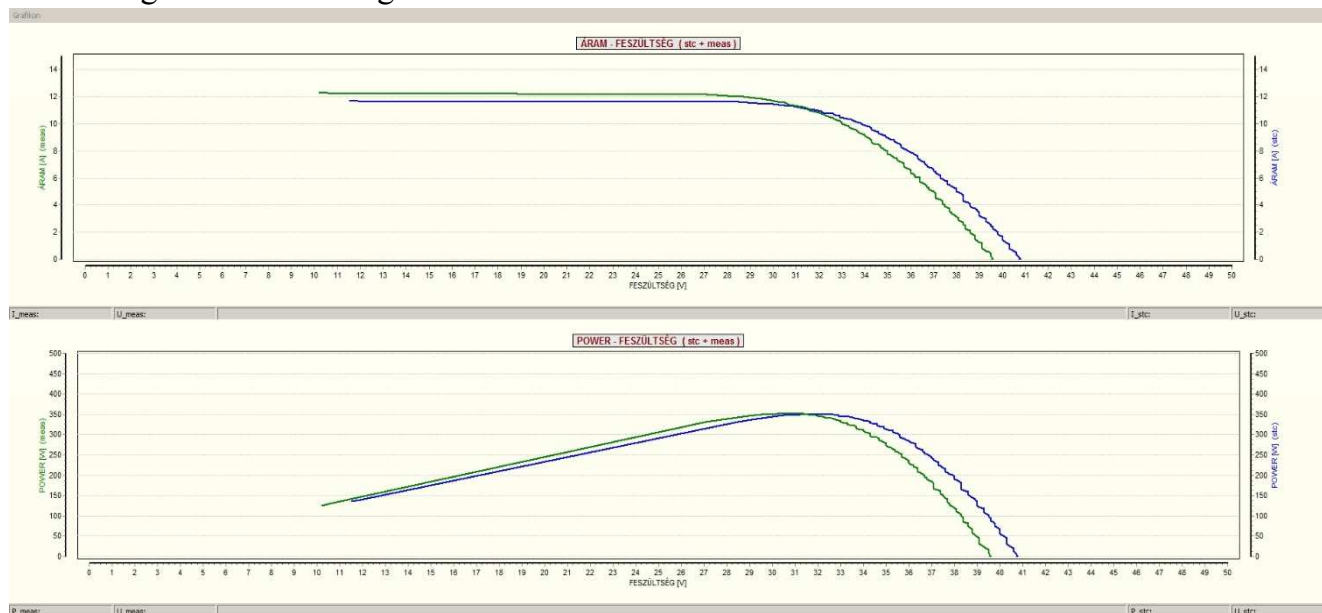
Correct. T:

Warn. Irr: %

Warn. Uoc: %

⁹⁷ Készítette: Kendernay Zsolt

A felvett görbe és az STC görbe: ⁹⁸

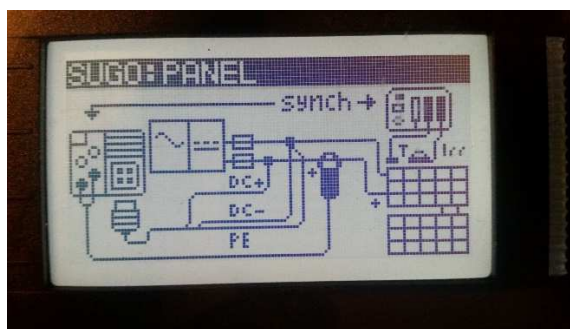


82. ábra Panel PV analízis⁹⁹

⁹⁸ Készítette: Kendernay Zsolt

⁹⁹ Készítette: Kendernay Zsolt

Panel mérés

83. ábra Panel mérés közvetlenül mérésadatgyűjtővel¹⁰⁰A Panel mérés mérési eredményei:¹⁰¹

OBJECT20 / INVERTER1 / STRING1 / PANEL5
04.05.2023 13:04

JÖ*

PANEL

	STC	MEAS
U	V	299V
I	A	7.13A
P	W	2.13kW
Pm	3.00kW	
Pt		3.18kW
η	%	67.0%

ENVIRONMENT - SYNCH.

Irr: 1060W/m2
Tcell: 37.3°C
Tcell_5: °C
Tcell_10: °C
Tcell_15: °C

Module settings:

Module: DEF. MODULE
Pmax: 375W
Umpp: 34.6V
Imp: 10.80A
Uoc: 41.1V
Isc: 11.60A
NOCT: 45.0°C
alfa: 0.01mA/°C
beta: -0.110V/°C
gamma: -0.35%/°C
Rs: 0.25Ω

Measurement settings:

Test std: IEC_60891
Irr. sens.: PV Cell
Irr. min.: 500W/m2
T. sensor: Tcell
Mod.Ser.: 8
Mod.Par.: 1
Correct. T:
Warn. Irr: %
Warn. Uoc: %

¹⁰⁰ Fényképezte: Kendernay Zsolt¹⁰¹ Készítette: Kendernay Zsolt

4.4.5. Hőkamerás vizsgálatok

Hőkamerás vizsgálatokat az „A” állomás esetén sikerült megfelelően elkészíteni, mivel a „B” állomáson nem tudtam eléggé távol menni a napelemtől. Továbbá a felvételek elkészítését ellehetetlenítette az erős napsütés, mely a kijelző fényerejét (kontrasztját) elnyomta. A kijelző tükröződése miatt csak a környezet tükörképe volt látható a műszeren. Ezt a mérést az „A” állomás esetében egy pulóver fejre és a kamerára terítésével - mellyel a tűző napfényt megfelelően ki tudtam iktatni a műszer kijelzőjéről – tudtam elvégezni.



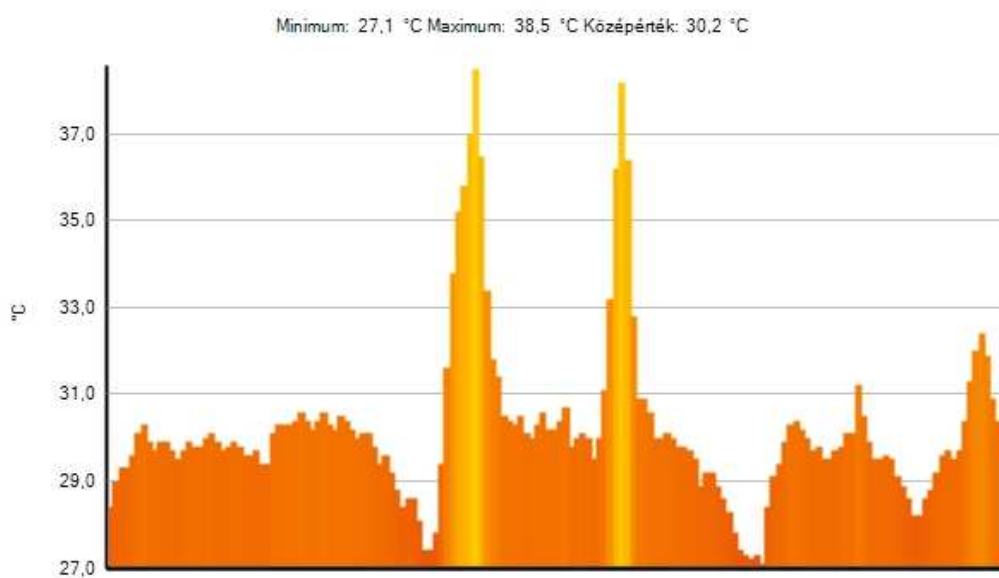
84. ábra Az „A” állomás látképe ¹⁰²

¹⁰² Készítette: Kendernay Zsolt



85. ábra Az „A” állomás hőkamerás képe ¹⁰³

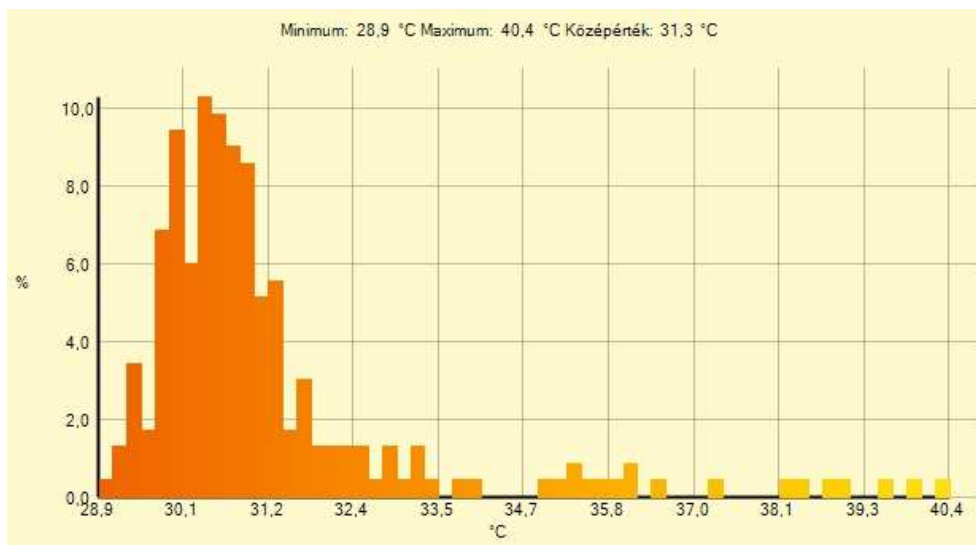
A napelem táblán működés közben 10°C fokos hőmérséklet különbségek figyelhetők meg.



86. ábra A kijelölt vonal termográfiai kiértékelése ¹⁰⁴

¹⁰³ Készítette: Kendernay Zsolt

¹⁰⁴ Készítette: Kendernay Zsolt



87. ábra A kijelölt négyzet termográfiai kiértékelése ¹⁰⁵

A mérések során a Metrel műszer által a napelem tábla felületén jellemzően 37-43°C fokos hőmérsékletek lettek regisztrálva, mely érték a hőkép alapján, egy magasnak számító, ritkábban előforduló érték.



88. ábra Mertel adatgyűjtő mérési eredményei ¹⁰⁶

¹⁰⁵ Készítette: Kendernay Zsolt

¹⁰⁶ Fényképezte: Kendernay Zsolt

Ezzel szemben az egyszerű árugázi infra hőmérővel mért hőmérsékleti érték 10-15°C fokkal is magasabbat mutatott.



89. ábra Infra hőmérős mérés ¹⁰⁷

Megállapítható, hogy a napelemek hőmérséklet függése, és a hőmérsékletük korrekt megmérése, valamint figyelembevétele a mérések során, szinte a legnagyobb kihívás és pontatlanságot eredményező körülmény.

Valószínűsíthető, hogy a napelemek a hőképen látható melegebb pontoknál fognak leghamarabb degradálódni. Ennek változásait, majd az éves karbantartások során lehet figyelemmel kísérni. Amennyiben ez minőségromlást okoz és a termék garanciaidőn belül van, vélelmezhető lesz a garanciális csere.

¹⁰⁷ Fényképezte: Kendernay Zsolt

5. ENERGIAMÉRLEG, MEGTÉRÜLÉS

5.1. Napelemes energiatermelés prognosztizálása

Ez a fejezet a 2022-ben elkészült telepítéskori nézőpontból taglalja az adatokat, mely időpontban még csak kevés konkrétum állt rendelkezésre, az adatok ezért prognosztizáltak a jövőre nézve.

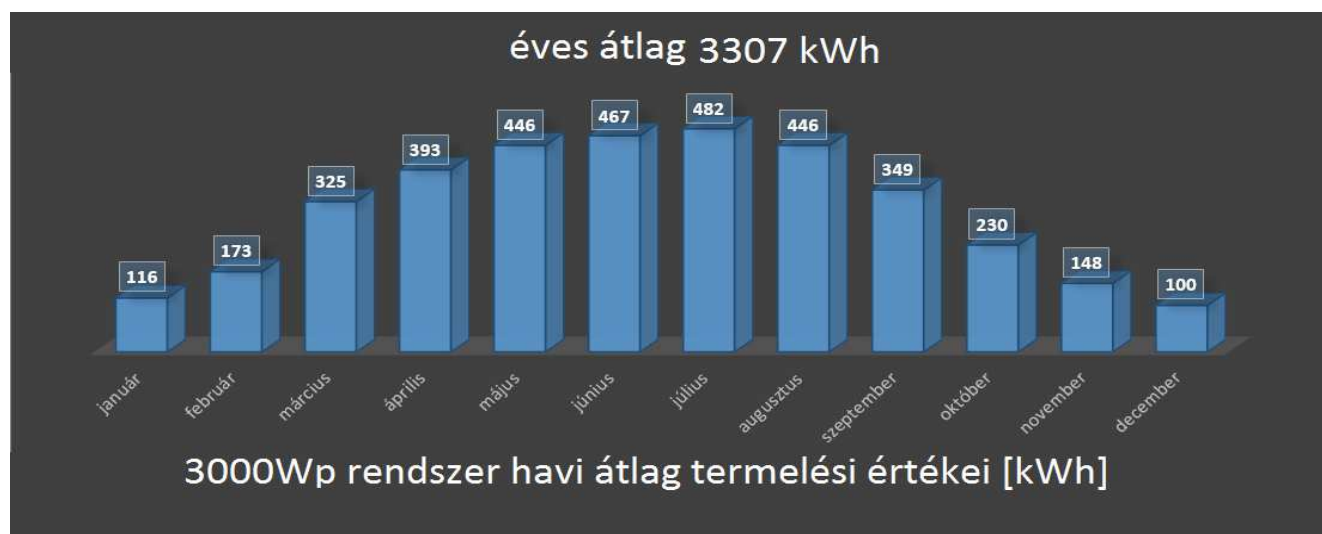
A tanulmányaim során, az előadásokon elhangzott átlagos magyarországi termelési adatok alapján, valamint több, konkrét éves termelési grafikont elemezve választottam azt, hogy Magyarországon éves átlagban (a tisztán déli tájolású) és a teljes termelést a hálózatba táplálós 1000Wp napelemes rendszereken körülbelül 1100kWh-1350kWh energia termelés realizálódik. A különböző adatok alapján a havi termelési átlagok eredményeit összesítve kaptam a (

90. ábra) szerinti termelési átlagokat. A gyakorlatban megvalósított PILOT-ban előre tekintve a Magyarországra kapott déli fekvésű termelési átlaggal kalkuláltam, azaz 1225kWh/1000Wp termelést figyelembevéve. A telepített 3000Wp-s rendszerben ennek figyelembevételével arányosan nagyobb, azaz körülbelül 3675kWh termelés várható. Durva közelítéssel élve, ebből 10%-ot le lehet vonni, ismervé, hogy a rendszer valószínűleg nem tudja majd a legnagyobb termelési csúcsoakat hasznosítani, valamint nem is tisztán déli a tájolás, így 3307kWh éves hasznosítható termeléssel lehet majd számolni, melyet a (

90. ábra) adatai szemléltetnek.

A 2022-es üzembehelyezéskor őszi évszak, november volt. A prognosztizálás szerint a nyáron mérhető napi termelési értékek alakulását a szakirodalom alapján 4-5-ször nagyobbra feltételeztem. A további számításokhoz 4,5-szörös nyári középértékkel kalkuláltam. Novemberben az „A” állomás 10 napon át mért, ábrázolt termelése 24,11kWh, valamint a „B” állomás 10 napon át mért, ábrázolt termelése 21,71kWh (91. ábra és 92. ábra). A 10 napos értékeket 36,5/12-vel szorozva megkapjuk az extrapolált december havi termelési átlagokat. Az „A” állomás december havi termelése 73,33kWh, valamint „B” állomás december havi termelése 66,03kWh kellene legyen. E gondolatmenet mentén kiszámítva, 4,5-el szorozva kapjuk a nyári hónapokban (június-augusztus) várható csúcstermelési értékeket. Az „A” állomás esetén 440kWh, „B” állomás esetén 330kWh körül fog alakulni. Természetesen ez még csak becslés, nem tekinthető mért eredménynek.

Érdemes tudni, hogy a gyakorlatban a termelési görbék általában pozitív irányban térnek el az elmélettől.

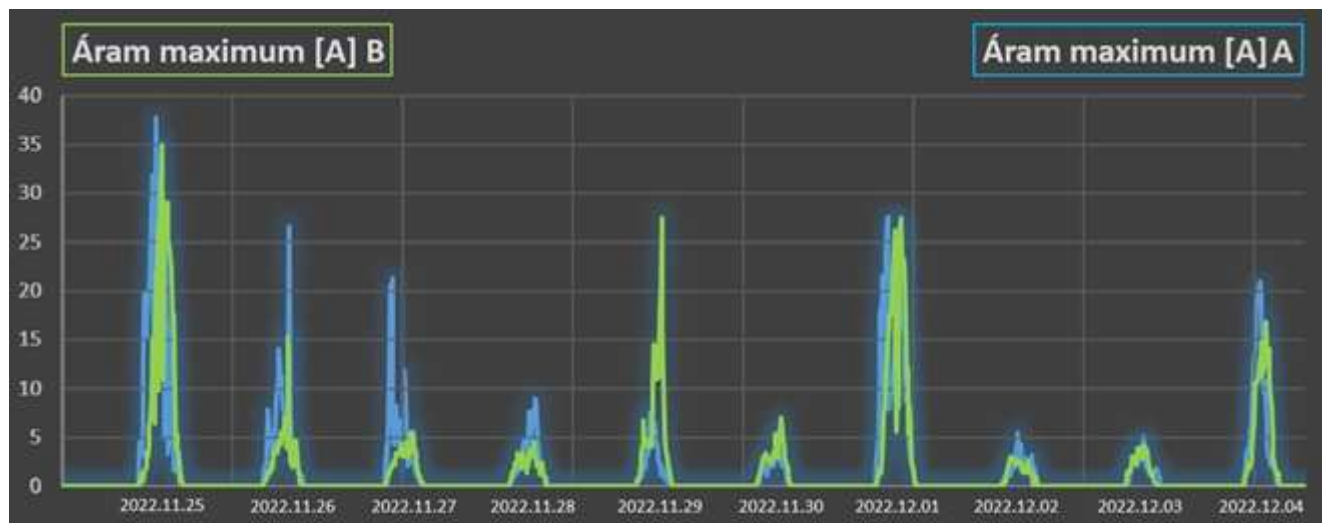


90. ábra Internetes forrásokból átlagolt sokéves átlagtermelési mutatók 3kWp-10%-ra vetítve ¹⁰⁸

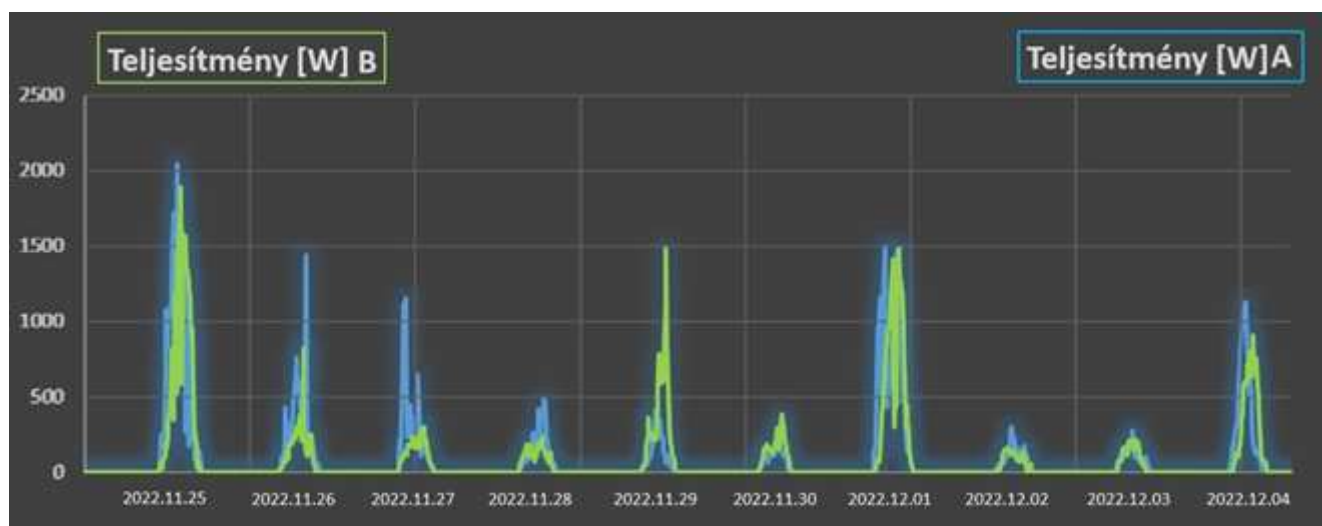
A

90. ábra adataihoz képest az általunk 10 nap alatt mért adatok kevésnek bizonyulnak a pontos prognosztizáláshoz, és kissé el is maradnak, az ábrázolt átlagokhoz képest, de az idő előre haladtával és nagyobb mintavétellel jobb közelítést tudunk majd adni a jövőre nézve.

A PILOT rendszerben az eltelt első 10 nap alatt mért meghatározó paraméterek az alábbi diagrammokon láthatóak.



91. ábra 10 nap áramgörbéi¹⁰⁹

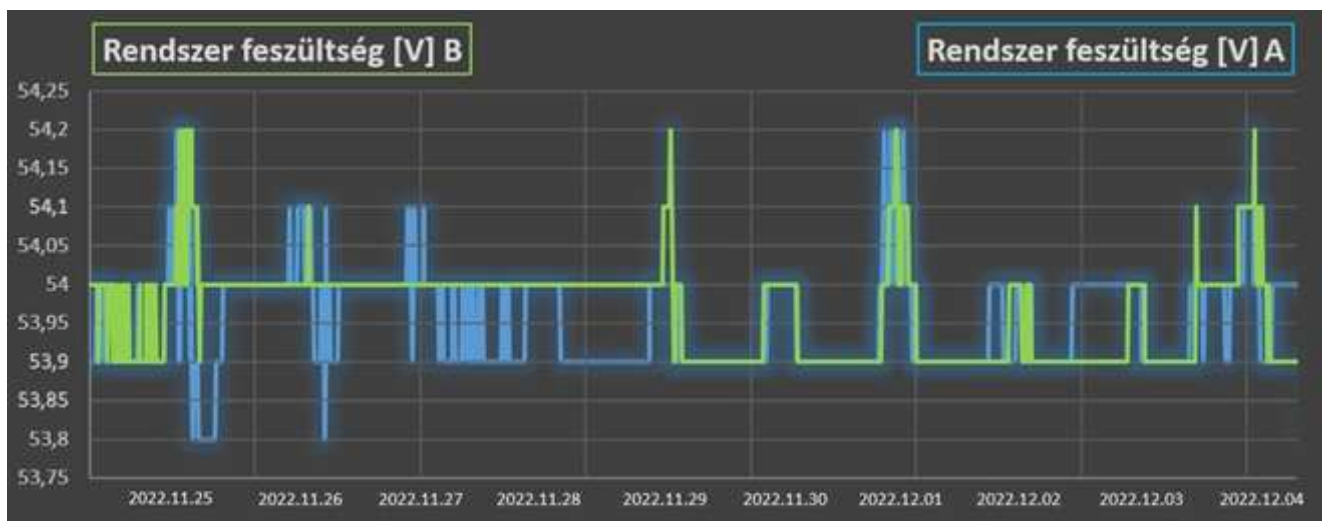


92. ábra 10 nap teljesítménygörbéi¹¹⁰

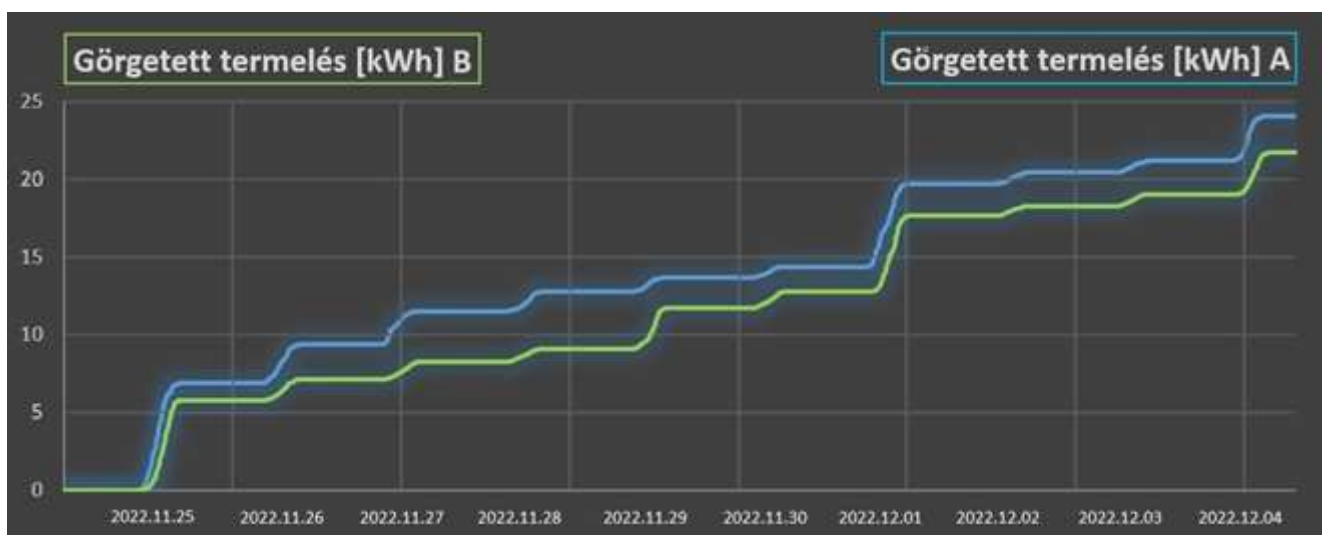
¹⁰⁸ Készítette: Kendernay Zsolt

¹⁰⁹ Készítette: Kendernay Zsolt

¹¹⁰ Készítette: Kendernay Zsolt



93. ábra 10 nap töltő feszültség görbéi ¹¹¹



94. ábra 10 nap termelés görbéi ¹¹²

A hálózathoz felvett energia alakulása a napsütés következtében csökken, melyet a (95. ábra) szerinti napi fogyasztási görbén jól lehet látni. A diagram az ELTEK készülék webfelületéről több képernyő kép egybeszerkesztéssel készült. Az „A” állomás állandó 48A-es áramát látjuk reggel 8 óráig, onnantól 14 óráig pedig a napelemes rendszer termelésének fordított áramgörbéje jelenik meg. Amennyit a napelem termel, annyival esik be a töltőn mutatott áramterhelési görbe.

¹¹¹ Készítette: Kendernay Zsolt

¹¹² Készítette: Kendernay Zsolt



95. ábra ELTEK töltő egy napos terhelési görbéje ¹¹³

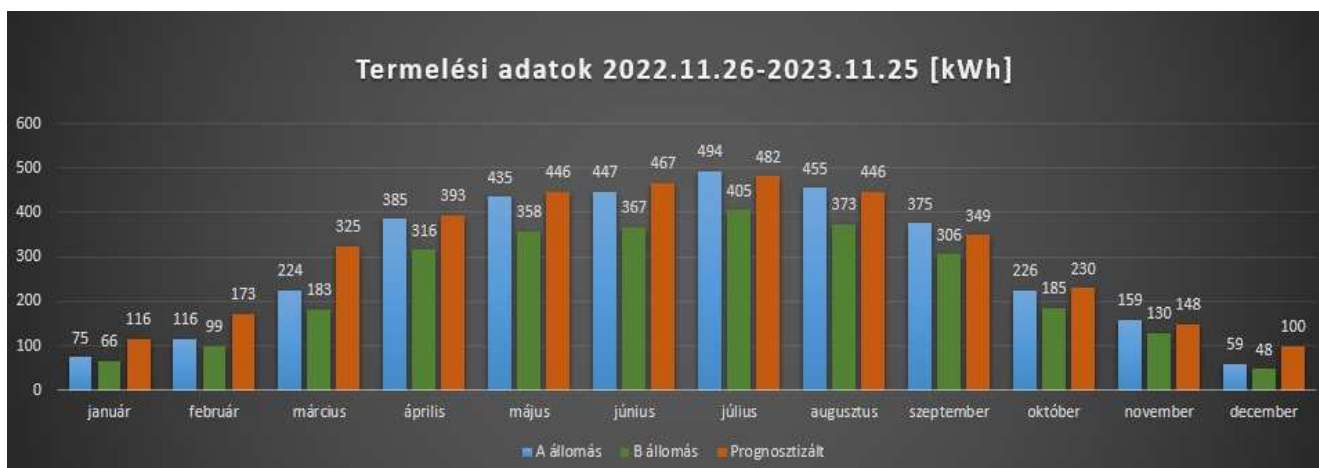
5.2. Egy év üzem termelési eredményei.

A PILOT rendszerek 2022-es év november végén kerültek bekapcsolásra eltérő dátumokkal, ezért a készülék LOG-ok alapján a 2022.11.26 00:00h és 2023.11-25 24:00h időintervallum termelési értékeit gyűjtöttem le a LOG-okból és rögzítettem az alábbiak szerint.

„A” állomás esetében a teljes éves termelés 3453 kWh

„B” állomás esetében a teljes éves termelés 2836 kWh

A szakdolgozat készítés időpontja nem teszi lehetővé a január 1-től december 31-ig történő valós éves adatok legyűjtését, ezért az alábbi diagrammon úgy ábrázoltam az egy éves időszakot, mintha az januártól decemberig tartana, azonban az ábrázolt értékek át lettek számolva a termelési arányok segítségével és vissza lettek osztva az adott hónapokra.



96. ábra A létrejött és a prognosztizált termelés adatai ¹¹⁴

Az eredményből látható a két állomás fogyasztásának eltérése („B” állomás fogyasztása kisebb) és az, hogy ennek ellenére a prognosztizált értékhez közel alakulnak. Az „A” állomáson márciusban közel 10A-es terhelő áram növekedés történt, mely miatt a napelemes rendszer azóta gyakorlatilag a teljes megtermelhető energiát a fogyasztókban hasznosította már, ezért a termelési értékeket maximális

¹¹³ Készítette: Kendernay Zsolt

¹¹⁴ Készítette: Kendernay Zsolt

kivehetőként kell kezelni. Értékét tekintve olyan, mintha egy hálózatba tápláló rendszer a teljes megtermelt energiát betáplálta volna a hálózatba. Példaként kiragadva az október hónapot, az „A” állomás gyakorlatilag minden megtermelhető napenergiát hasznosítani tudott a fogyasztóban. Így a „B” állomásra megadható, hogy mennyi az az energia, amit nem tudunk hasznosítani. A („B” állomás áramfelvétele ismert 39A osztva a havi termeléssel, felszorozva az „A” állomás havi termelési értékével megkapjuk az „A” állomás áramfelvételét $(39A/185kWh)*226kWh=47,6A$. Ez az összefüggés megmutatja, hogy az állomáson mért és a termelésből visszaszámolt értékek gyakorlatilag majdnem megegyeznek.

5.3. Megtérülés számítás nagyvállalati környezetben, SLA értelmezés más megvilágításban.

Az MVM NET Zrt. 2021 évi villamos energia felhasználása a közzétett (energetikai éves riport)¹¹⁵ alapján 2.705,934 MWh-volt. Ehhez mérten a $2*3307kWh$ 0,244%-os megtakarítást jelent. 100db hasonló állomásra történő telepítés esetén 12,22% lenne. Természetesen ezek a mutatók nem teljesen pontosak, tekintettel arra, hogy az összes állomás mind különböző fogyasztású, a közzétett teljes villamos energia felhasználása pedig még az irodai környezetet is megába foglalja. Azonban más kiinduló adat híján jó közelítéssel irányadónak lehet tekinteni.

Az „A” és „B” állomás távközlési berendezéseinek fogyasztása

Az „A” állomás 2,6kW folyamatos terhelés mellett, napi 62kWh $\rightarrow$ havi 1898kWh $\rightarrow$ éves 22776kWh villamos energiát fogyaszt.

A „B” állomás 2kW folyamatos terhelés mellett, napi 48kWh $\rightarrow$ havi 1460kWh $\rightarrow$ éves 17520kWh villamos energiát fogyaszt.

Éves szinten a 3307kWh napelemes termeléssel kalkulálva, a költség oldalon $3307*[energia\ ára/kWh]$ megtakarítás érhető el. Ez pld: 100.-forintos (de ma a 200.- forint, vagy ennél nagyobb díj sem ritka) bruttó villamos energia költség mellett 330.700.- forint/év.

Mivel a közületeknek 2022.12.10-e dátum idején igen változó energiaárakat nyújt az energiakereskedő, ezért %-os viszonyszámokban jelenítem meg a megtakarítást.

„A” állomás esetén $3307kWh/22776kWh=14,51\%$

„B” állomás esetén $3307kWh/17520kWh=18,87\%$

„A” és „B” állomás átlaga: 16,69%.

A nélkül, hogy üzleti titkokat tennék közzé pontos megtérülési számítást nem lehet készíteni, ezért az alábbiakban a háztartási HMKE erőművek átlagos bekerülési költségeit veszem figyelembe a további számításokhoz. Az így végzett kalkuláció egyben összehasonlításként is szolgálhat a piaci és a magán szektor között.

2022. október hóban egy tisztán hálózatba tápláló 10kWp HMKE napelemes rendszer átlagos bekerülési költsége bruttó 4.500.000.- 5.500.000.- millió forint.¹¹⁶ Mivel az anyagár és a munkadíj a teljesítmény

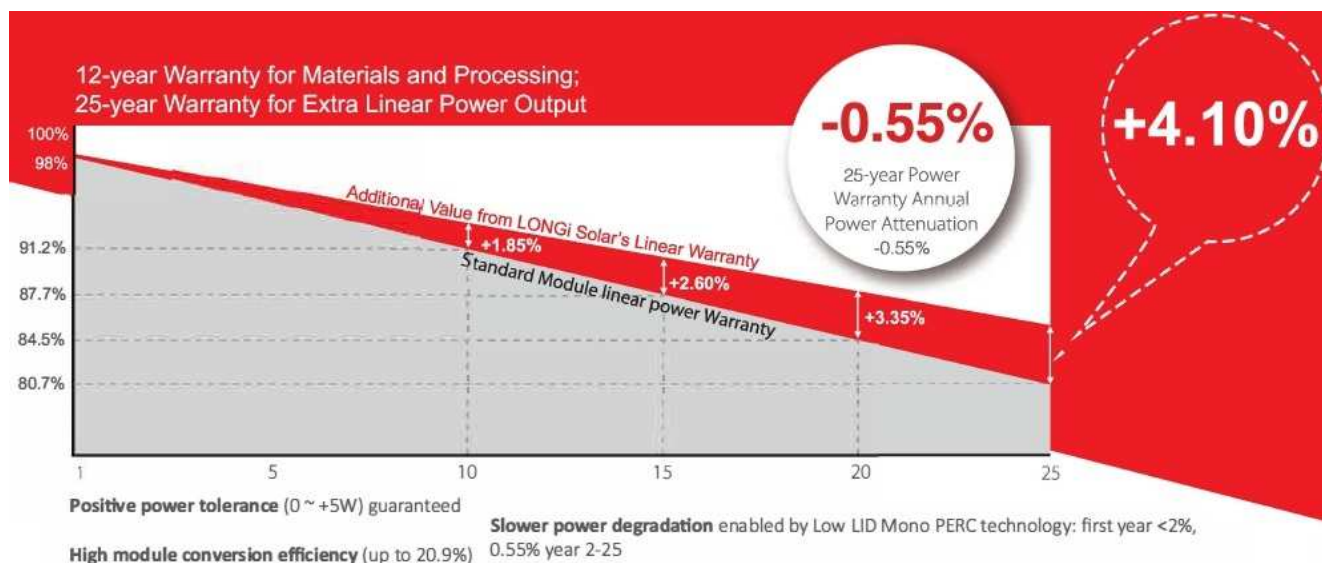
¹¹⁵ https://net.mvm.hu/-/media/MVMNETSite/Documents/KozerdekuAdatok/EnergiafelhasznalasEvesJelentes/Az_AH_NET_Zrt_2021_evi_energiafelhasznalasrol_szolo_eves_jelentes.ashx (utolsó megtekintés: 2023.11.27)

¹¹⁶ 3-4db lakossági áránálra támaszkodva

lineáris változásával nem egyenes arányban változik, ezért $3000W_p$ -re vetítve a költséget ennek 50%-val lehet kalkulálni, ami az esetünkben 2.500.000.- forint.

A napelemekre a gyártó 25 éves teljesítmény garanciát ad meg a 98. ábra szerinti -0,55%/év romlást figyelembe véve, így a megtérülés számításnál is 25 évben fogok gondolkodni.

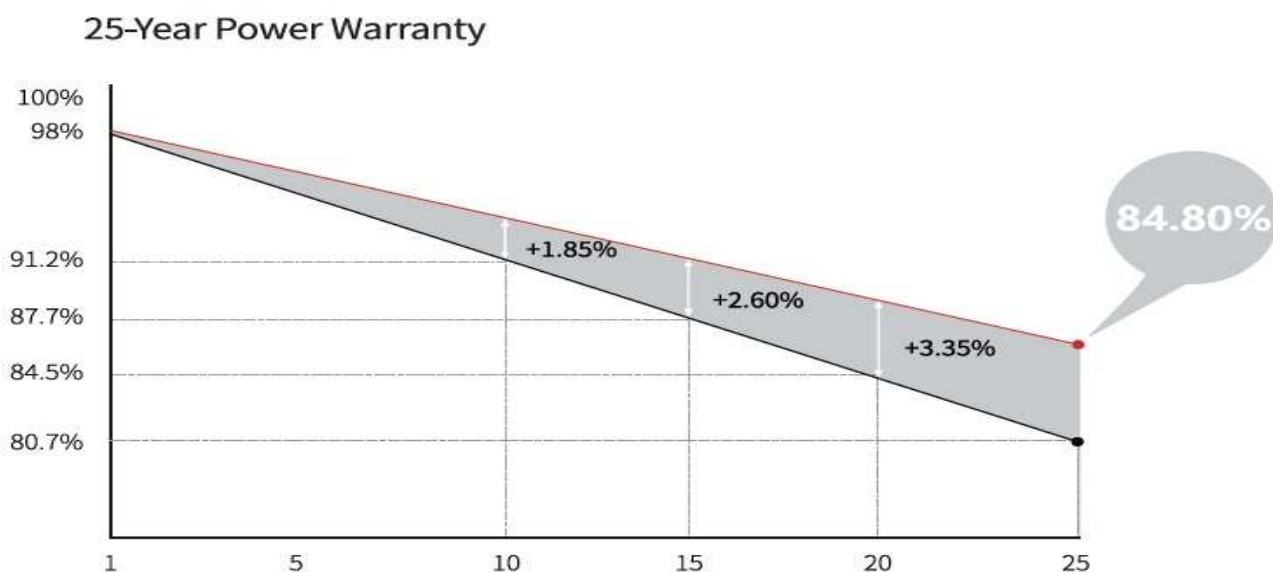
Lakossági rendszer esetén a 2.500.000.- forint beruházási költség és 70,6.- forintos energiadíj mellett 233.474.- forint/év villamosenergia díj megtakarítását figyelembe véve 10,7 év a számított megtérülési idő. Éves szaldó elszámolás esetén a 10 éves ciklus végére a fogyasztó biztosan nem lesz már éves szaldó elszámolásban, ezért ilyen feltételek mellett a beruházás gazdaságilag nem térül meg. Figyelembe véve, hogy a felszerelt napelemek gyártói specifikációja szerint (98. ábra) a 10. évre már 8,8% minőségromlás is lehetséges, ezért a termelési értékeket a 10 év alatt folyamatos csökkenéssel kell kalkulálni. HMKE esetében a 10. év után szinte egész biztosan valamilyen műszaki beavatkozást, változtatást kell eszközölni, mely nem feltétlen a napelem táblákat, inkább az invertert fogja érinteni. A bekerülési költségnek kb. ötöde az inverter értéke, de az inverter valószínűleg, ha nem is hibásodik meg addigra, a rohamosan fejlődő és az egyre változatosabb jogszabályi környezetnek köszönhetően technológiai újításon fog átesni ezért a 10. évben egy inverter értékét be kell kalkulálni a megtérülés további számításába. Esetünkben legalább 500.000.- forinttal. A fosszilis gáz és jármű üzemanyag felhasználásból az elektromos energiába történő átmenet során valószínűsíthető, hogy a 10. évben már valamilyen akkumulátoros tároló, elektromos autótöltő is beépítésre kerülne, és amennyiben a felhasználás jellege is megkívánja, akár a napelem tábla is lecserélésre kerülhet (hatásfokában nagyobb így összteljesítményben is nagyobb változatra). Ezen okoknál fogva megtérüléskor igen nehéz az életciklus végét meghatározni, illetve megtérülés számításnál a változó körülményekkel kalkulálni.



97. ábra Longi napelem tábla specifikáció ¹¹⁷

¹¹⁷ <https://s3-ap-southeast-2.amazonaws.com/solarbrain/uploads/attachment/file/635/e9ce578a8b696128dc65522f2f5c2cbb.pdf> (utolsó megtekintés: 2023.11.27)

Additional Value



98. ábra Longi napelem tábla specifikáció ²¹¹⁸

Míg, közületi fogyasztó esetében a szakdolgozatban bemutatott „nem visszatápláló” rendszer esetében 2,5M forint beruházási költség és 200.- forintos energiadíj mellett 661.400.- forint/év villamosenergia díj megtakarítását figyelembe véve 3,8 év a megtérülési idő. Ebben az esetben még a 100.- forintos energiadíj esetén is 8 éven belüli a megtérülés, és itt nem mérvadó a szaldós vagy nem szaldós elszámolás sem, mert nincs rá szükség.

A két PILOT állomás átlag megtakarítási mutatója 16,69%, ami jónak mondható, figyelembe véve a gazdasági mutatók mellett megjelenő környezetterhelési, távközlési SLA növekedési és az ezzel járó egyéb pozitív hozadékokat.

¹¹⁸ https://static.longi.com/Hi_MO_4m_LR_4_60_HPH_365_385_M_2f4a758369.pdf (utolsó megtekintés: 2023.11.27)

ÖSSZEFOGLALÓ

Dolgozatom tartalma egy összefoglaló tanulmány elkészítése volt, melynek témája az MVM NET Zrt. távközlési állomásainak villamos korszerűsítése indirekt hálózati csatolású, napelemes energiaforrással. A fejlesztést PILOT (kísérleti) projekt keretében kellett műszakilag megvizsgálni, a meglévő egyenáramú energiaellátó rendszerekhez illesztést egyedi megoldással tesztelni, megtervezni, kivitelezni, majd egy éves üzemidőt követően a termelési mutatókat és a megtérülést kiértékelni. A témaválasztást megkönnyítette, hogy a projekt kapcsán teljeskörű összefoglaló tanulmány nem készült, ezért a dolgozat jelentőségé kézenfekvő volt. A részben sziget üzemű rendszer a zöldítés mellett egyben, a távközlési állomás energia ellátási stabilitását is növeli, mely SLA (Service Level Agreement) üzemeltetés biztonsági növekedést is eredményez. Munkám során megvizsgáltam az állomások műszaki paramétereit, elérhető napelemek és converterek tulajdonságait. Áttekintettem a telepítési lehetőségeket, meghatároztam legfontosabb kiválasztási szempontokat, valamint bemutattam a telepítés során felmerülő főbb kérdéseket, továbbá egy év távlatából értékeltem a PILOT projekt eredményét. A szakdolgozatomban vázolt megoldásra, az egy év alatt szerzett eredményekből és tapasztalatokból azt a következtetést vontam le, hogy, amennyiben egy távközlési állomáson műszakilag van lehetőség napelemes rendszert létesíteni, akkor érdemes vele számolni és jó minőségben kialakítani.

SUMMARY

The content of my thesis was the preparation of a summary study, the topic of which is the electrical modernization of MVM NET Zrt.'s telecommunications stations with an indirect grid-connected, solar energy source. The development had to be technically examined within the framework of a PILOT (experimental) project, the integration with the existing direct current energy supply systems had to be tested with a unique solution, planned and implemented, and then after one year of operation, the production indicators and the return had to be evaluated. The choice of topic was facilitated by the fact that no comprehensive summary study was prepared in connection with the project, so the importance of the thesis was obvious. In addition to greening, the partially island-operated system also increases the energy supply stability of the telecommunications station, which also results in an increase in SLA (Service Level Agreement) operation security. During my work, I examined the technical parameters of the stations, the properties of available solar panels and converters. I reviewed the installation options, defined the most important selection criteria, and presented the main questions arising during the installation, and also evaluated the results of the PILOT project from the perspective of one year. For the solution outlined in my thesis, I drew the conclusion from the results and experiences gained in one year that, if it is technically possible to install a solar system at a telecommunications station, then it is worthwhile to consider it and build it in good quality.

ALKALMAZOTT SZABVÁNYOK ÚTMUTATÓK, ADATLAPOK

- Longi napelem tábla adatlap, telepítési utasítás,
- Metrel EUROTTEST PV MI 3108 PS műszer használati útmutató,
- Metrel A1378 mérési adatgyűjtő használati útmutató,
- Metrel EuroLink PRO kiértékelő szoftver,
- Testo-IRSoft-Instruction-manual.pdf,
- Testo Termográfiai-kisokos.pdf,
- Testo IRSoft kiértékelő szoftver,
- C+D Automatika Kft. Mérések napelemes (PV) rendszereken 2015 kiadvány,
- MSZ EN 62446-1:2022 szabvány,

ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra 2022-es kiinduló fogyasztási adatok	4
2. ábra 2023-as fogyasztási adatok	5
3. ábra Az állomásokon alkalmazott ELTEK töltőfiókok paraméterei.....	6
4. ábra „A” állomás energiaellátója a fogyasztói leágazásokkal	7
5. ábra „B” állomás energiaellátója	7
6. ábra TSI NOVA inverter	8
7. ábra Az alkalmazott akkumulátortípus paraméterei	8
8. ábra „A” állomás egyik akkumulátortelep csoportja	9
9. ábra Intelligens Akkumulátor Felügyeleti Rendszer – IMSB.....	10
10. ábra ELTEK töltő web felülete, sematikus rendszerábrával	10
11. ábra IMSB akkumulátor távfelügyeleti rendszer akkumulátortesztelés közben.....	11
12. ábra „A” állomás tájolása	13
13. ábra „B” állomás tájolása	13
14. ábra Gyártói adatlap.....	15
15. ábra Gyártói adatlap paraméterei	16
16. ábra Összekötési elrendezés	17
17. ábra enetek controller és converter.....	18
18. ábra Fontosabb paraméterek.....	19
19. ábra enetek címke 18A-es áram maximum	20
20. ábra Az enetek készülék	20
21. ábra Longi modul I-V görbéi	21
22. ábra enetek converter webfelülete.....	21
23. ábra Egyvonalas kapcsolási rajz.....	23
24. ábra Tartószerkezeti főgerendák.....	24
25. ábra Napelem tartó acélszerkezet és a napelemek elrendezése	25
26. ábra 30°-os dőlésszögű vázszerkezet.....	26
27. ábra Renusol MS+ napelem panel rögzítőelem.....	26
28. ábra „A” állomás vázszerkezete felülről.....	27
29. ábra „A” állomás vázszerkezete alulról.....	28
30. ábra „A” állomás látképe.....	29
31. ábra „B” állomás látképe.....	30
32. ábra enetek converter berendezés	30
33. ábra ELTEK 63A-es enetek DC betáp kismegszakítója jobb oldalon	31
34. ábra ELTEK 0.4kV-os PDU felül, enetek converter közepén, IMSB alul	31
35. ábra PV panelek kábelezése.....	32
36. ábra Napelemes sztring terminálása	33
37. ábra gPV egyenáramú olvadóbetét	33
38. ábra „B” állomás földelési ellenállása	34
39. ábra „A” állomás földelési ellenállása	35
40. ábra Az alkalmazott teszt napelem tábla címkéje.....	36

41. ábra Az alkalmazott napelem tábla gyári adatai	37
42. ábra A tesztelésre épített napelemsor	38
43. ábra Napelem tábla tesztelés előtt	39
44. ábra Napelem felülete	40
45. ábra Részletesebb fotó, melyen jól látható az üvegréteg homogén, érdes felülete	41
46. ábra ELTEK hálózati töltő teszt példánya	42
47. ábra A teszt töltő leágazó kismegszakítói	42
48. ábra Alkalmazott converter készülék	43
49. ábra Alkalmazott converter modu	43
50. ábra Alkalmazott converter címkéje	43
51. ábra Alkalmazott converter vezérlője	44
52. ábra Alkalmazott converter interfészei	44
53. ábra ZTE ZXDC48 FB100B3 paraméterei	46
54. ábra Napelem tábla U-I mérése	47
55. ábra Napelem tábla U-I diagrammja	48
56. ábra Napelem tábla P-U-I diagrammja	48
57. ábra Napelem tábla nevezetesebb mért értékei	49
58. ábra Teszt converter mérése	49
59. ábra Napelem sor leadott és converter kimenő teljesítményének mérése	50
60. ábra Napelem leadott és converter kimenő teljesítménye	51
61. ábra Teljes teszt környezet kapcsolási rajza	53
62. ábra Longi panel hőfüggési paraméterei	55
63. ábra Metrel MI3109 műszer alapbeállításai 1	57
64. ábra Metrel MI3109 műszer alapbeállításai 2	58
65. ábra Metrel A1378 adatgyűjtő alapbeállításai	58
66. ábra Hőmérséklet és besugárzás (megvilágítás) mérők elhelyezése	59
67. ábra Manuális tesztek indítása	59
68. ábra Fényképkészítés nehézségei, csillogás, tükröződés	60
69. ábra Műszer fény és hőmérő bekötésének elrendezése	61
70. ábra Az adatgyűjtő műszer fény és hő mérés kijelzése	61
71. ábra Direkt mérés (STC paraméterekhez) adatgyűjtővel	62
72. ábra Lakatfogós ellenőrzés	63
73. ábra I/U karakterisztika mérés közvetlenül adatgyűjtővel	64
74. ábra Sztring PV analízis	66
75. ábra Panel PV analízis	68
76. ábra Panel mérés közvetlenül mérésadatgyűjtővel	69
77. ábra Műszer fény és hőmérő bekötés elrendezése	70
78. ábra A műszer fény és hő mérés kijelzése	70
79. ábra Első mérés közvetlen (STC paraméterekhez) adatgyűjtővel	71
80. ábra I/U karakterisztika mérés közvetlenül adatgyűjtővel	73
81. ábra Sztring PV analízis	75
82. ábra Panel PV analízis	77
83. ábra Panel mérés közvetlenül mérésadatgyűjtővel	78
84. ábra Az „A” állomás látképe	79
85. ábra Az „A” állomás hőkamerás képe	80
86. ábra A kijelölt vonal termográfiai kiértékelése	80
87. ábra A kijelölt négyzet termográfiai kiértékelése	81

88. ábra Mertel adatgyűjtő mérési eredményei	81
89. ábra Infra hőmérős mérés	82
90. ábra Internetes forrásokból átlagolt sokéves átlagtermelési mutatók 3kWp-10%-ra vetítve	84
91. ábra 10 nap áramgörbéi.....	84
92. ábra 10 nap teljesítménygörbéi	84
93. ábra 10 nap töltő feszültség görbéi	85
94. ábra 10 nap termelés görbéi	85
95. ábra ELTEK töltő egy napos terhelési görbéje	86
96. ábra A létrejött és a prognosztizált termelés adatai.....	86
97. ábra Longi napelem tábla specifikáció 1.....	88
98. ábra Longi napelem tábla specifikáció 2.....	89