



**ORSZÁGOS TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA
2023.**

NAPELEMEK TELJESÍTMÉNY-VISZONYAINAK VIZSGÁLATA

Examination of performance relations of solar panels

Készítette:

Pitlik Dóra

középiskolás, 10. évf.

Premontrei Iskolaközpont

Tóth Rita

középiskolás, 10. évf

Premontrei Iskolaközpont

Témavezető:

dr. Víg Piroska, egyetemi docens, MATE, Matematika és
Természettudományi Alapok Intézet, Fizika Tanszék

Műszaki Tudományi Szekció

**Gödöllő
2022**

Tartalom

1. Bevezetés	3
2. A napelemekhez kapcsolódó szakirodalmak áttekintése.....	3
2.1 Napelem történet	4
2.2 Működési elv	5
2.3 A napelem fajtái	6
2.4 Előnyök és hátrányok, a típusok összehasonlítása	6
2.5 Felhasználás	9
2.6 Az inverter.....	9
2.7 Napelemes rendszerek.....	10
2.8 .Napelemes kiserőmű egy családi ház tetején	11
3. A napelemcella teljesítményének kísérleti vizsgálata	13
3.1 A mérések menete és adatgyűjtés	13
3.2 Eredmények	15
3.3 Összegzés	30
Hivatkozások.....	32

1. Bevezetés

Manapság egyre népszerűbbé válik a megújuló energiaforrások használata az energiatermelésre pl. napenergia használatánál a napelemes rendszerek telepítése az épületekre. Ez az energiagondok megoldása és a környezetvédelmi szempontok mellett azért is fontos, mert a Föld fosszilis energiahordozóit az emberiség már alaposan megcsapolta. A napenergia felhasználására több aktív módszert is kitaláltak már, például a napelemeket és a napkollektorokat. A napelemek által termelt energia már egész jelentős részét kiteszi a villamosenergia szükségletnek, de szerencsére az emberek továbbra is kutatják, hogy miként lehetne még nagyobb a hatásfoka egy napelemnek és ezzel innovatív megoldásokat hoznak létre. A megújuló energiaforrások használata egyre jobban kivitelezhető, és sokan keresnek új módokat a környezetbarátabb anyagok használatára (egy példát mi is fogunk említeni). Azért választottuk témánknak a napelemeket és a velük való kísérletezést, mert ez egy olyan innovatív megoldás, amiről mindenki hallott már, de kevesen tudják, hogy hogyan is működik igazán, mik az előnyei/hátrányai. Mi magunk is ezeket szeretnénk volna tisztázni és középiskolásként a környezetünkben élő és tanuló korunkbelieknek is szeretnénk betekintést nyújtani a megújuló energiaforrások használatának ebbe a szegletébe, amivel foglalkoztunk az elmúlt hónapok során. Célunk, hogy napelem teljesítmény-viszonyait kísérletileg vizsgáljuk különböző feltételek mellett. Ehhez először a kapcsolódó legfontosabb szakirodalmi ismereteket tekintjük át.

2. A napelemekhez kapcsolódó szakirodalmak áttekintése

Ebben a fejezetben áttekintjük a napelemekről a legfontosabb tudnivalókat. A napelemek feltalálásakor megváltozott az energiatermelés jövője. Habár a napelemes rendszerekre egy viszonylag friss innovációként gondol a kor embere, az igazság az, hogy hosszú út vezetett a mai, nagy hatékonyságú napelem megalkotásához és elterjedéséhez.

A napenergia valójában nem újdonság, az emberek már a történelem kezdeti időszakában is használták. Az ókori kínaiak már déli fekvésű házakat építettek, mert rájöttek arra, hogy így a téli napsugarakkal is magasabb hőmérsékletet érhetnek el a házuk belsejében.

A napelem olyan energiaátalakító, amely a Nap sugárzási energiáját közvetlenül alakítja át villamos energiává. A napelemek alapanyaga félvezető, ebben játszódik le az energiaátalakítás.

Az energiaátalakítás alapja, hogy a fény elnyelődésekor töltött részecskéket generál, amelyeket az eszközben az elektrokémiai potenciálok, illetve az elektron kilépési munkák különbözőségéből adódó elektromos tér rendezett mozgásra kényszerít. A működés alapelve, a fotoeffektus, vagy fényelektromos hatás, miszerint, ha megfelelően nagy frekvenciájú fénnel világítunk meg egy fémre, abból elektronok lépnek ki, tehát áramforrásként viselkedik.

2.1 Napelem történet

A fényelektromos hatás feltalálása az 1800-as évekre nyúlik vissza. 1839-ben a francia fizikus, Edmond Becquerel, egy vezető oldatban lévő, fém elektródákból készült cellával kísérletezett. Észrevette, hogy a cella több villamos energiát termel, amikor fény éri. Willoughby Smith 1860-as években felfedezések, hogy a kristályos szelén máshogy vezeti az áramot fényben és sötétben. 1870-ben Heinrich Hertz is kísérletezett ezzel az anyaggal és az általa kialakított cellák körülbelül 1-2% hatásfokkal rendelkeztek.

Később 1883-ban, Charles Fritz, az amerikai feltaláló, létrehozta az első működő szelén napelemet. Egy táblára vékony rétegben szelént vitt fel, amire aranyfilm bevonatot készített. Folyamatos áram termelést produkált.

Albert Einstein nagy szerepet játszott abban, hogy felhívja a világ figyelmét a napenergiára, és annak potenciáljára. 1905-ben Einstein kiadott egy tanulmányt a fotoelektromos hatásról és annak magyarázatáról, ezért kapta meg az 1921. év fizikai Nobel-díját.

Bell Labs 1954-es munkájának köszönhetően nagy előrelépés született a napelemekkel kapcsolatban. A laboratórium három szakembere fejlesztette ki az első hatékony, széles körben alkalmazható, szilícium félvezetőn alapuló napelemet.

Az űrkorszak fejlődésével az 1950-es évek végén és az 1960-as években az űrhajók különféle részeinek energiával ellátására használták a napelemeket. 1964-ben a NASA elindította a Nimbus műholdat, aminek az oldalára 470 wattos napelemeket helyeztek el, amelyek automatikusan a Nap felé fordultak. Nem sokkal később a napenergia lehetősége a világűrben az otthonokba is bekerült.

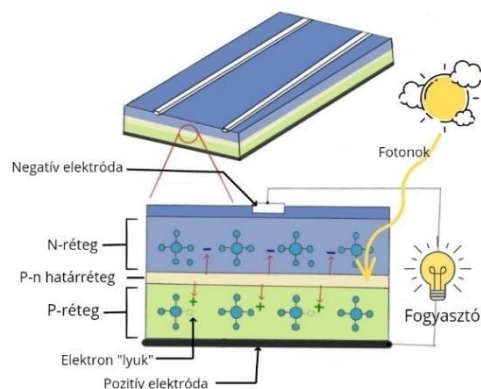
A mai modern napelemek elterjedését közvetetten az 1973-as olajválságnak köszönhetjük, ugyanis akkor vált mindenki számára világossá, hogy a fosszilis tüzelőanyagokról minél előbb át kell térni valamilyen alternatív energiaforrásra. Így számos olajipari vállalat pénzt kezdett befektetni a napenergiával foglalkozó piacba. Azonban a napelemek történelme még nem ért

véget. Napjainkban is sok tudós foglalkozik fejlesztésükkel, hogy minél jobb, minél hatékonyabb technológiát alakítsanak ki.

2.2 Működési elv

A napelem cella két különböző, egymással összekapcsolt, vékony rétegű félvezető anyagot tartalmaz. Az egyik félvezető p-típusú (pozitív) szennyezést, a másik n-típusú (negatív) szennyezést kap (2.1. ábra). Ezek a félvezetők általában szilíciumból készülnek, de készülhetnek más anyagokból is. A szilícium - stabilitásából adódóan - elméletileg korlátlan ideig változatlan marad, így igen alkalmas ilyen célokra történő alkalmazása. Az n-típusú félvezetők kristályos szilíciumból készülnek, amelyet igen kis mennyiségű foszforral szennyeznek. A szennyezési eljárás által az anyag a rácskötésekben nem résztvevő szabad elektronokkal fog rendelkezni, ezért lesz ez negatív félvezető. A p-típusú félvezetők is kristályos szilíciumból készülnek, melyet kis mennyiségű bórral szennyeznek, és ezáltal elektronhiány lép fel benne, és ezen elektronhiányok („lyukak”) miatt lesz pozitív ez a félvezető. A két ellentétes szennyezésű réteg összeillesztésénél a lyukak és az elektronok semlegesítődnek (rekombinálódnak) s eközben a rétegek között feszültség jön létre.

A napelemre eső fény energiával rendelkező részecskékből, fotonokból áll. Amikor a megfelelő hullámhosszúságú fény a napelemre esik, a pozitív és a negatív tartomány közötti semlegesített zónában nyelődik el. Ekkor a fény fotonjai energiájukat átadják az anyagban az elektronoknak, amelyek szabaddá válnak, és vándorlásuk által vezetik az áramot. Az elektronok helyén az anyagban „lyukak” keletkeznek, amelyek helyére újabb elektron ugrik be, így a lyukak is mozogni látszanak. Amikor a fotonok gerjesztik az elektronokat, a kiugrott elektronok a negatív, a lyukak a pozitív oldal felé fognak áramolni, így jön létre az elektromos tér és az ebből adódó feszültség. Ha a napelemhez külső áramkört kapcsolunk, akkor a mozgó elektronok a félvezetőn át a cella tetején lévő fém csatlakozó felé áramolnak, míg a „lyukak” ellentétes irányban, a cella alján lévő fém

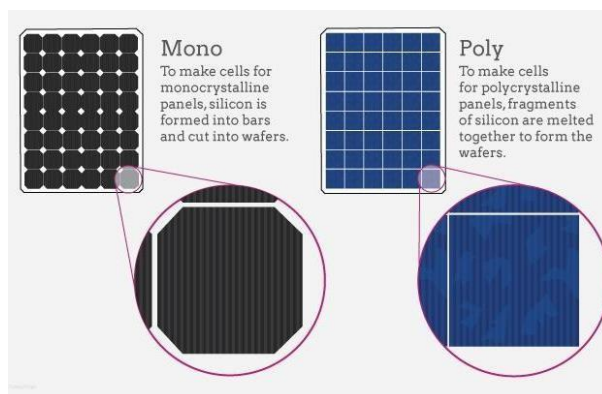


2.1. ábra: a napelem szerkezete (forrás: saját ábrázolás)

csatlakozó felé, ahol feltöltődnek elektronokkal a külső áramkör másik oldaláról (a cella tetejéről). Ezt a feszültséget a belső elektromos mező (amely a p-n kapcsolódás helyén jön létre) eredményezi.

2.3 A napelemek fajtái

A napelemek két nagy csoportja a kristályos és a vékonyfilm napelem. Az előbbi további két csoportra bonthatjuk: monokristályos és polikristályos napelem (2.2. ábra). A piaci hasznosítást figyelembe véve a kristályos napelemek tekinthetők a legkiforrottabb és a legelterjedtebb technológiának.



2.2. ábra a mono- és a polikristályos napelem
(forrás: internet)

A vékonyrétegű napelemek hatásfoka általában 5-8%, ami azért elmarad a kristályos panelekétől, így a vékonyrétegűek 2,5-3-szor nagyobb felületet igényelnek ugyanakkora teljesítmény eléréséhez, mint a kristályosak.

2.4 Előnyök és hátrányok, a típusok összehasonlítása

Monokristályos napelem

A monokristályos napelem nyolcszögletű és szürkés, fekete árnyalatú. A napelem egymáshoz rögzített szilícium rétegekből áll, és jól elkülönülő kristályszerkezetet képző cellából épül fel. A gyártás során először egy henger alakú kristálytömböt állítanak elő a szilíciumból, amit szeletelnek és többször felületeznek. Ezzel a gyártási technológiával jobban el lehet helyezni őket a panel felületén. Elhelyezés szempontjából a leggazdaságosabb megoldásnak a nyolcszögalak tekinthető. A legjobb hatásfokkal (15-17%) a monokristályos napelem bír, ugyanakkor a tájolásra és a dőlésszögre sokkal érzékenyebb. A szórt napfényt például nem hasznosítják olyan jól.

Polikristályos napelem

A polikristályos napelemek cellái kékes-lila színűek és négyzet alakúak. A gyártása jóval kevesebb energiát és időt igényel, mint a monokristályosé, így általában alacsonyabb az

előállítási költségük is. Ennek a paneltípusnak a hatásfoka alig marad el az előzőekben ismertetett fajtától, általában 14-16%. Ez a változat kevésbé érzékeny a dőlésszög és tájolási beállításokra, mert a szórt fénnel is képes hatékonyan gazdálkodni. Az előnyök mellett meg kell említeni a polikristályos napelem egyik legfőbb hátrányát is, azt, hogy a növekvő hőmérsékletre teljesítménycsökkenéssel reagálnak. Összességében viszont ez a változat számít jelenleg a legelterjedtebbnek. Ilyen típusú panelekből áll a háztartási méretű napelemes rendszerek többsége és a nagyobb erőművek is.

Vékonyrétegű napelem

Ennél a típusnál a hordozórétegre gözőlik fel vékony filmréteggént a félvezető felületet. A kész terméken látható halvány csíkok utólagos, lézeres bevágások, amelyek a kedvezőbb feszültség-áramerősség arány beállítása miatt szükségesek. Az előállítása viszonylag rövid időt vesz igénybe. Egyik legnagyobb előnye, hogy hajlékony, így akár domború felületeken is könnyedén telepíthető. Hatásfoka viszont elmarad a mono- és polikristályos napelemekétől. Emiatt is sokkal nagyobb felületen lehetséges ugyanakkora energiamennyiséget előállítani a vékonyrétegű napelem segítségével.

Hazánkban a kristályos napelemek telepítésénél az optimális dőlésszög 45° , a vékonyfilmrétegű napelemek esetében viszont ettől az értéktől akár 15° -kal ($30-60^\circ$) is el lehet térni, mivel nagyobb szögtartományban is le tudják adni a névleges teljesítményüket. A költségei szintén alacsonyabbak, viszont ezen napelemek hatásfoka mindössze 6-8%. E tulajdonságuknál fogva csak nagyon ritkán telepítik háztetőre, alkalmazása inkább ott jellemző, ahol a hagyományos táblás kialakítás nem megoldható. A vékonyrétegű napelem egyik további nagyobb előnye, hogy jobb a hőmérsékleti együtthatója, így a rendkívül meleg területeken (sivatagok) is alkalmazhatók. A jelenleg legelterjedtebb és piacon is kapható vékonyrétegű napelem technológiák a következők:

- amorf szilícium (aSi) és mikromorf (μ Si) szilícium,
- CdTe, azaz kadmium-tellurid technológia,
- CIGS, CIS, azaz réz-indium-gallium-diszelenid és réz-indium-diszelenid

Hibrid napelem

A hibrid napelem igen speciális kategóriát képvisel a panelek között (2.3 ábra). Ahogy a neve is jelzi két eljárás, kerül benne ötvözésre. A hibrid napelem egyszerre működik hagyományos napelemként és napkollektorként, vagyis energiát és meleg vizet is termel egyszerre. Működési elve, hogy a panelt érő napsugarak elsősorban a szilícium rétegnek köszönhetően előállítják a villamosenergiát, és ezzel párhuzamosan a panel hátuljára szerelt folyadékot keringető kollektor a panel felmelegedéséből származó hőt hasznosítja. Az áramló folyadék emellett hűti is a panelt, amely így nem melegszik túl és így nagyobb marad a teljesítménye.



2.3. ábra: a négy fő napelemtípus (forrás: internet)

További 2 innovatív napelem típus, amelyekben nagy potenciál van:

Polimer / organikus napelem

Az organikus napelem elsőre sokban hasonlít a vékonyrétegű napelemre, de míg a vékonyrétegű napelemek esetén még a szilícium a félvezető réteg alapja, addig az organikus napelemek esetén, már különleges módon előállított molekulaláncok adják ugyanezt a réteget. Két fő típust különböztethetünk meg: félvezető organikus polimer napelemek és fényérzékeny, festett cellák. Ennek a technológiának az előnye, hogy előállítása sokkal környezet barátabb és olcsóbb megoldást nyújt a jelenleg elterjedt szilícium alapú napelemeknél. Felvihető más anyagokra is pl. fém, műanyag. Flexibilis, színezhető, mintázható, nagy felületek bevonására is alkalmas, így sokféleképpen felhasználható. Hátránya, hogy jóval rövidebb élettartammal rendelkeznek, (kb. 7-8 év) és jóval kisebb hatásfokkal működnek (kb. 6-7%) (forrás: [2.24], [2.25])

AuREUS napelem

Egy mérnökhallgató olyan új anyagot dolgozott ki, ami gyümölcs- és zöldség hulladékból származó lumineszcens részecskék felhasználásával elnyeli a nap ultraibolya sugarait, hogy aztán látható fénné alakítsa. Ez azért hatalmas előny, mert az ultraibolya sugarak még a felhős napokon is elérik a földet, ami azt jelenti, a technológia városi területeken való alkalmazásában óriási lehetőségek rejlenek, de hasznos lehet olyan helyeken is, ahol nincs elég hely a hagyományos napelemek számára. A prototípus egy kétszer három lábnyi méretű panel volt, amelyet Maigüe az egyik ablakára szerelt fel, és elegendő áramot termelt vele napi két telefon feltöltéséhez. Elképzelése szerint az AuREUS alkalmas teljes épületek burkolására, függőleges napfarmokat hozva létre; a felhőkarcolók burkolata akkor is energiát termelne, ha nem néz a nap felé, ugyanis képes a falakról, járdákról és más épületekről visszaverődő sugárzást is összegyűjteni. A technológia teljesen fenntartható, a gyártás során a helyi terményekből kivont lumineszcens részecskéket gyantába szuszpendálják, az így kapott anyag pedig formára önthető, falakhoz rögzíthető vagy két üveglap közé illeszthető. Az átalakított látható fény visszaverődik a panel széleire, ahol szabályos napelem cellák alakítják elektromos árammá.



2.4. ábra: a polimer/organikus napelem (forrás: internet)



2.5. ábra: az AuREUS napelem (forrás: internet)

2.5 Felhasználás

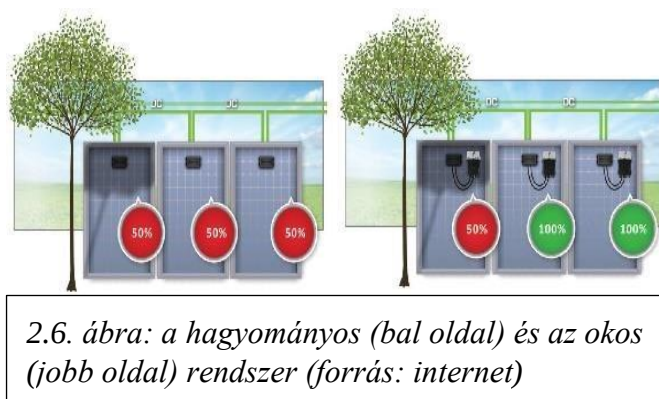
Napelemekkel az életünk minden területén találkozunk. Ahogy már írtunk róla a műholdak és több újtechnológiai berendezések is napenergiával működnek már hosszú évtizedek óta. Családi házakra a 80-as években kezdték el feltelepíteni és sok közülük még mindig működik, akár az eredeti inverterrel együtt. Azóta számtalan helyen találkozhatunk napelemekkel. Ipari, mezőgazdasági létesítmények, önkormányzatok, cégek, utcai lámpák, sebességmérők is fel vannak szerelve napelem cellákkal. Egyre több olyan tárgyat fejlesztenek ki, amelyek napelemmel működnek, pl. napelemes járművek, működőképes napelem autó, kerti világítás, telefontöltő. (forrás: [2.27])

2.6 Az inverter

A napelemek által megtermelt egyenáram inverter segítségével alakítható át váltóárammá. Ezáltal az inverter teremti meg a kapcsolatot a napelemek és az áramszolgáltató hálózata, illetve a váltóáramon működő eszközök között. Két típusú inverter létezik: a hagyományos és az úgynevezett okos inverter. A fő különbség a két típus között az, ahogy a napelem panelek közti teljesítmény-különbségeket kezelik.

A hagyományos inverterek valójában sehogyan. Mivel a napelemek sorba vannak kötve így az egy körön (stringen) lévő napelemek egyenkénti teljesítménye mindig a leggyengébben teljesítő napelemével azonos. A napelemek teljesítménye változhat befolyásoló tényezők (pl. árnyék) miatt. Ilyenkor is a leggyengébben teljesítő napelem teljesítménye lesz a mérvadó. Ennek a problémának a megoldására szolgál az okos inverter. A megoldás egyszerű, de növeli a beruházási költséget. Minden napelem mögé be kell építeni egy optimalizáló modult. Ezzel a

megoldással, ha egy napelem valamiért veszít a teljesítményéből, az csak rá vonatkozik, a többi napelem a saját maximumán teljesít továbbra is. A 2 megoldást hasonlítja össze a 2.6. ábra.



2.6. ábra: a hagyományos (bal oldal) és az okos (jobb oldal) rendszer (forrás: internet)

2.7 Napelemes rendszerek

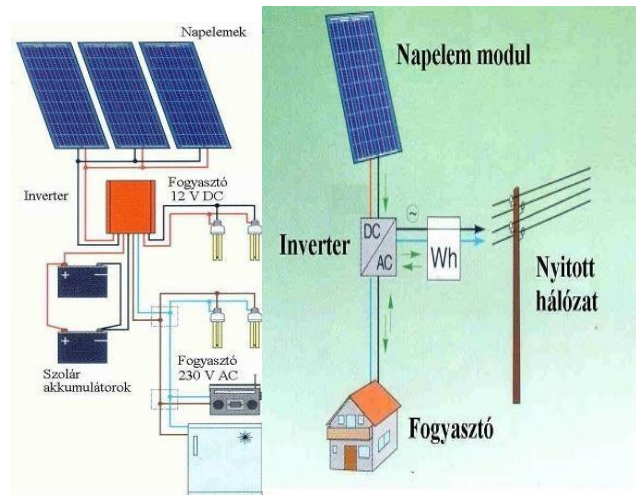
A napelemes rendszer akkor alakul ki, ha a napelem paneleket összekötjük és egy inverterrel hasznosítjuk az általuk termelt energiát. Ez a rendszer különböző méretű és bonyolultságú lehet. Különböző technológiával készült napelemeket használhatunk és mi döntjük el, hogy hálózatra csatlakoztatjuk vagy sziget üzemű rendszerként használjuk.

Hálózatra kapcsolt

Hálózati visszatáplálásról akkor beszélünk, ha a napelemek által szolgáltatott feszültséget közvetlenül váltófeszültséggé alakítjuk át, ellátjuk a fogyasztókat, viszont amikor nincs fogyasztás, akkor a hálózatra táplálunk rá. Amennyiben a napelemek nem termelnek villamos energiát, természetesen azt a hálózatról vételezzük. A hálózati visszatáplálás fontos területe a családi házak, amelyeknél ha többlet energia termelődik, akkor azt vissza lehet táplálni a hálózatra, és erre a célra kialakított speciális, kétirányú mérőóra számlálja a hálózatra termelt és elfogyasztott villamos energiát. Ekkor a hálózat egy végtelen kapacitású akkumulátorként üzemel. A 2.7. ábra egy hálózatra kapcsolt és egy szigetüzemű rendszert hasonlít össze.

Szigetüzemű

Szigetüzemről akkor beszélünk, ha a villamos energiát napelem modulokkal termeljük, és az energiát akkumulátorokban tároljuk. A fogyasztókat ennek segítségével elláthatjuk akár 12 V, vagy 24 V egyenfeszültséggel. Amennyiben szükség van rá inverter segítségével akár ~230 V feszültségű fogyasztókat is üzemeltethetünk. Jellemző megoldási módja a szigetüzemnek például a tanyák villamosítása, melyek messze esnek a közcélú villamos energia hálózattól.



2.7. ábra: egy hálózatra kapcsolt (bal oldal) és egy szigetüzemű (jobb oldal) napelemes rendszer

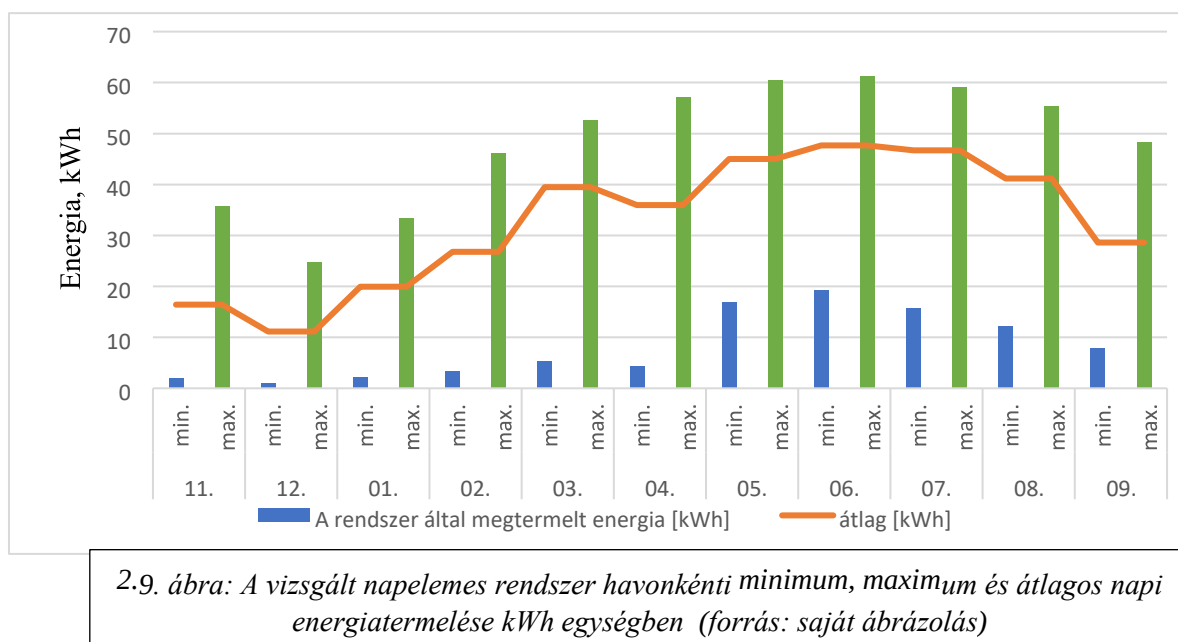
2.8. Napelemes kiserőmű egy családi ház tetején

Kutatómunkánk egyik részeként megvizsgáltunk egy működő napelemes rendszert, vizsgáltuk, hogy miként alakul a termelés természetes körülmények között. Csapatunk egyik tagja, Tóth Rita családja egy éve telepített napelem-panelet a családi házuk tetejére, így az ő rendszerükre vonatkozó adatokat használtuk. A ház tetején lévő kiserőmű 16 darab JA Solar 540 wattos, monokristályos napelem-panelből áll, melyek összterülete $41,36 \text{ m}^2$. Ezek a panelek délkeleti tájolásúak és 30° -os dőlésszögben vannak felszerelve. A rendszerbe szerelt inverter típusa Fronius symo 10.0. A napelem-panelek összteljesítménye 8640 watt.



2.8. ábra: a kép a vizsgált napelem-panelet mutatja be. (forrás: saját kép)

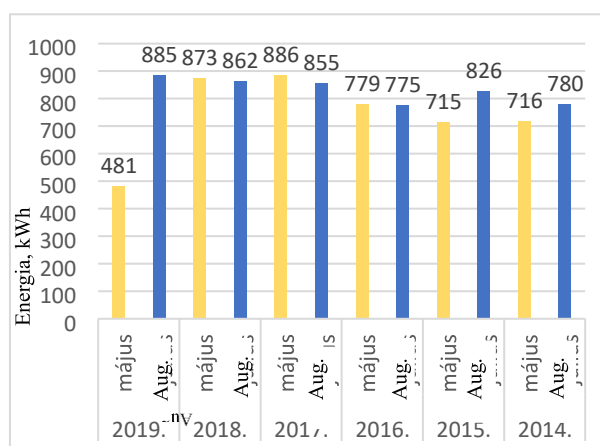
Az elemzéshez havonként, a működés kezdetétől a dolgozat készítéséig (2021.novembertől 2022.szeptemberig) ábrázoltuk a napelemes rendszer által termelt legmagasabb (max.), legalacsonyabb (min.) napi energiatermelés értékét, illetve a havonkénti napi átlagot (2.9. ábra).



Ennek alapján megállapítottuk, hogy a min. és max. változása az egyes hónapokban megegyezik az átlagtermelés változásával. Az adatokat elemezve érdekesnek találtuk, hogy áprilisban a rendszer a márciusihoz képest kevesebb energiát termelt. A másik érdekes észrevételünk pedig az volt, hogy a májusi legmagasabb érték nagyobb volt, mint az augusztusi max., és az átlag is csupán 3,62%-kal volt kevesebb. E két érdekes adat okát keresve összevetettük adatainkat egy az interneten talált, több éve működő, hasonló teljesítményű kiserőmű adataival.

Az internetes ábrák [2.29] adatai alapján kiderült, hogy a rendelkezésre álló 6 év (2014.-2019.) adatai között csak egyszer fordult elő (2017-ben), hogy az áprilisi termelés kevesebb volt a márciusinál. Ebből arra következtettünk, hogy ezt csak valamilyen időjárási tényező okozhatta ebben a két évben, de általában nem jellemző.

A másik információval kapcsolatban az internetes forrás alapján saját ábrát is készítettünk (2.10. ábra), a két hónap energiatermelését hasonlítottuk össze (május és augusztus) az adott években. Az esetek felében (2018, 2017, 2016) a májusi termelés volt a nyereségesebb, pedig mi úgy gondoltuk, hogy Magyarországon az augusztusi kellene a nagyobb legyen. Utánajártunk, hogy mi okozhatja e jelenséget.



A napelem energiatermelését rengeteg tényező befolyásolja: a panelek dőlésszöge, tájolása, a napfény beesési szöge, a globálisugárzás stb. Ezek közül, ami mindegyik napelemet szinte

ugyanolyan mértékben érint Magyarországon, a globálisugárzás, ami a Napból közvetlenül érkező (direkt) sugárzás és az égboltról érkező szórt (diffúz) sugárzás összege.

A májusban mért globálisugárzás 14,75%-kal kevesebb, mint augusztusban mérhető [2.30], mégis mondhatjuk, hogy az általunk talált mérések jelentős részében a májusban termelt érték magasabb, vagy majdnem ugyanolyan jó volt. Ennek az lehet az oka, hogy a napelem teljesítményét a hőmérséklet is befolyásolja. A napelemeknek a hőmérséklet növekedésével csökken a teljesítményük. Rendszerint ez meg van adva a napelem dokumentációjában, általában -0.29 és $-0.5 \text{ } ^\circ\text{C}$ értékek [2.31]. A családi házon lévő napelem adatlapján ez az érték $-0.5 \text{ } ^\circ\text{C}$. Ez azt jelenti, hogy a laboratóriumi körülmények között a névleges teljesítmény mérése 25°C -on történik, és ehhez képest, ha egy fokkal emelkedik a napelem hőmérséklete a teljesítmény hány százalékkal csökken. Tehát a forróbb augusztusi napokban hiába nagyobb a globálisugárzás értéke, sok esetben mégse tudja teljesen hasznosítani azt a rendszer, a napelem magasabb átlaghőmérséklete miatt. Így fordulhat elő, hogy májusban, amikor még hűvösebb az idő akár kedvezőbb is lehet a globálisugárzás és hőmérséklet együttes hatása a napelemek energiatermelése szempontjából. Ez az észrevételünk alátámasztja pl. a hibrid PV/T kollektork létjogosultságát.

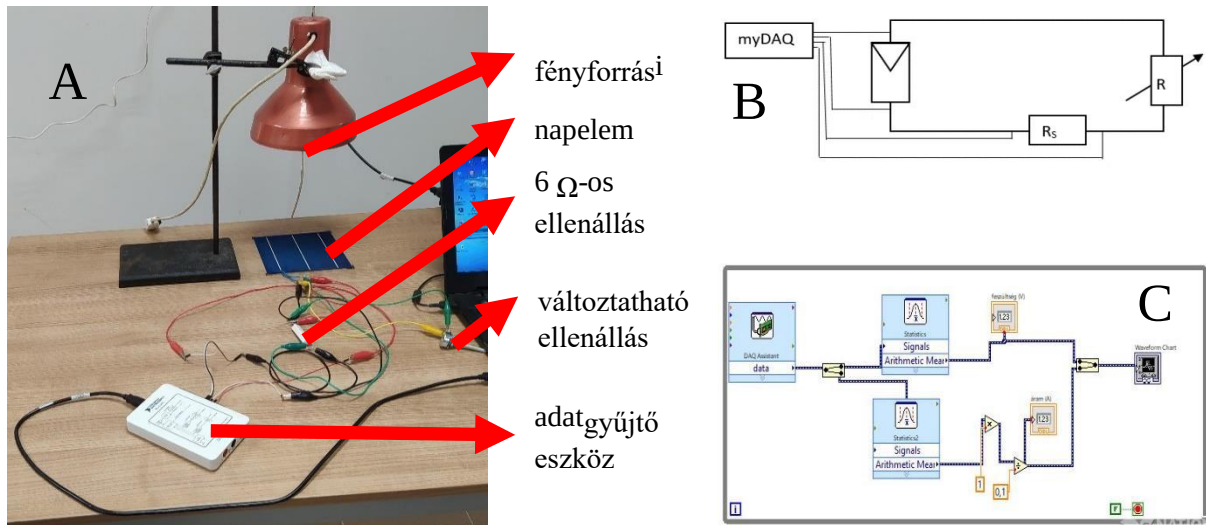
3. A napelemcella teljesítményének kísérleti vizsgálata

A mai világban fontosnak tartjuk az áramellátási kérdésekre vonatkozó innovatív megoldásokat, így pl. a napelemes rendszerek alkalmazását. Mivel a napelemes rendszerek különböző feltételek mellett működhetnek, kíváncsiak voltunk arra, hogy például hogyan befolyásolja a teljesítményt, ha a napelem koszos, vizes, vagy árnyék vetül rá esetleg felhős az ég. A szakirodalomban több helyen olvastuk [3.1.], [3.2.], hogy a napelem teljesítménye csökken, ha az előbbi tényezők legalább egyike megvalósul. Ezek mértékét szeretnénk volna méréseinkkel vizsgálni. Mérési eredményeink közvetlenül lehetővé teszik a napelem teljesítményének ($P=U \cdot I$) megadását a különböző kísérleti elrendezésekben és a hasznos teljesítmény és összes teljesítmény hányadosával a hatásfok értékek is meghatározhatók. A különböző feltételek mellett kapott teljesítmények összehasonlításával pedig következtetések vonhatók le.

3.1 A mérések menete és adatgyűjtés

Laboratóriumi környezetben végeztük méréseinket, melyekkel a napelem különböző feltételek melletti karakterisztikáinak felvétele volt a célunk. Egy $156 \text{ mm} \times 156 \text{ mm}$ területű, tokozás nélküli, polikristályos napelemmel folytattuk le a vizsgálatokat, amire a 24 cm távolságból, 90° -ban érkezett a 40 wattos izzó fénye. Ezt a beállítást használtuk végig, kivéve azoknál a méréseknél, ahol a fény beesési szögét változtattuk. A teljesítmény meghatározásához különböző terhelési ellenállásokon feszültség (U) és áramerősség (I) értékek mérésére volt szükség. Az áramerősség méréshez egy 6 ohmos ellenállást használtunk, s ezt söntként (R_s) az áramkörbe iktattuk. A változtatható ellenállás egy $0\text{-}50 \text{ ohm}$ ellenállású potenciométer volt. Az

adatgyűjtés során myDAQ AD konverter egységet használtunk, és egy LabVIEW programmal ellátott számítógép gyűjtötte az adatokat.



3.1. ábra: „A” kép: a mérési keretrendszer (forrás: saját ábrázolás; fotó: Tóth Rita.). „B” kép: a mérőáramkör (forrás: internet). „C” kép: A LabVIEW program (forrás: saját ábrázolás).

Az adatgyűjtő feszültség jeleket tud fogadni. A feszültség és áramerősség szorzataként meghatározható teljesítményhez az adatgyűjtés során a változtatható ellenállás különböző értékeinél mérjük a napelem kivezetései közti feszültséget és a beiktatott ismert értékű sönt ellenálláson mérhető feszültséget, amiből Ohm törvénye ($R=U/I$) alapján meghatározható az áramerősség. Az áramerősséget a feszültség függvényében ábrázolva megkapjuk az I-V karakterisztikát, az összetartozó áramerősség és feszültség értékek összeszorozásával kapott teljesítményt a feszültség függvényében ábrázolva pedig megkapjuk a napelem P-V karakterisztikáját, melynek maximuma jelenti az adott feltételek mellett a napelemmel nyerhető maximális teljesítményt. Ha az egyéb befolyásoló tényezők hatását kiküszöböltük (ceteris paribus), tehát csak az adott mérés kapcsán történt változás hat a napelemre az alapbeállítás mellett (például: szennyeződés, vízcseppek stb.), akkor ezen maximális teljesítmények értékéből, illetve értékeik összehasonlításából következtethetünk arra, hogy az egyes kísérleti elrendezésekben változtatott körülmény hogyan befolyásolja a napelem teljesítményét.

Mivel kicsi a napelem, a mért értékek helyett gyakran a referenciához viszonyított értékeket használjuk az eredmények értékelésénél.

A következő fejezetben részletezzük az egyes mérések feltételeit, menetét, bemutatjuk a mérés során nyert eredményeket és értékeljük is azokat.

3.2. Eredmények

Bemutatjuk a referenciaként használt alapmérést és vizsgáljuk a teljesítmény hőmérséklettől függését, a teljesítmény alakulását szórt fény estén, különböző árnyékolások hatását, vízcseppek megjelenése, szennyeződés hatását, valamint a sugárzás beesési szögétől függést.

Nagyon fontosnak tartjuk utolsó mérésünket, melynek során a teljesítmény napelemet borító áttetsző anyag rétegvastagságától függését vizsgálja.

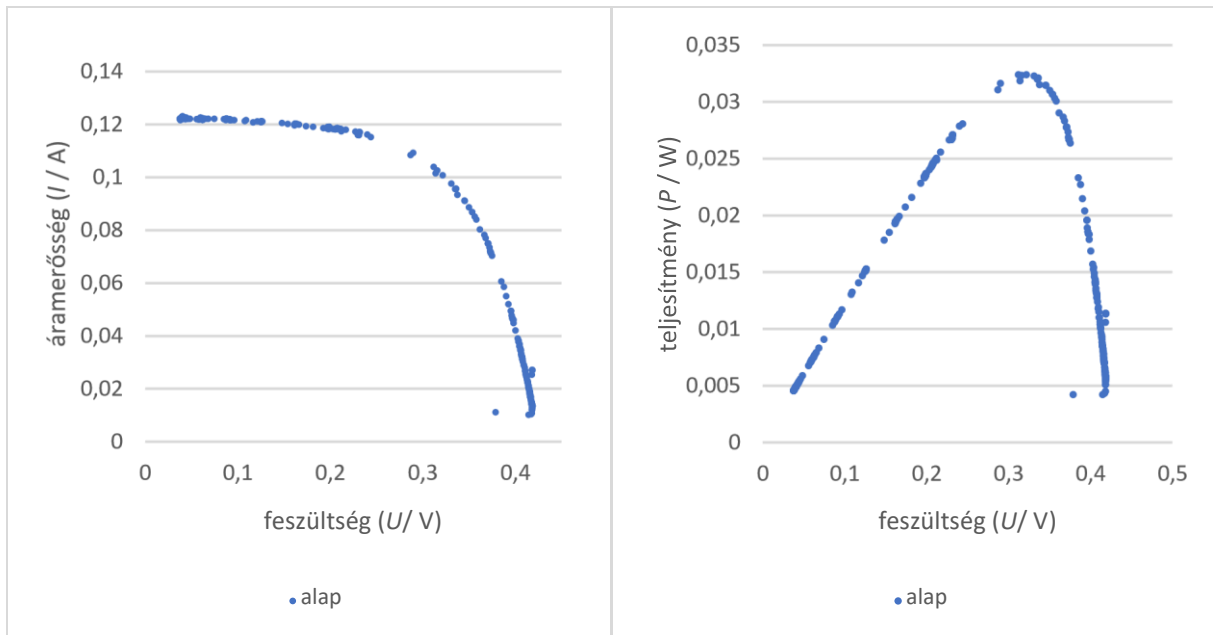
1. mérés: Alap

Tekintsük ezt a mérést az úgynevezett „alaphelyzet” (későbbiekben: alap) vizsgálatának. A napelem vízszintesen feküdt az asztalon, 90°-ban érkezett rá a 40 wattos izzó által kibocsátott fény, 24 cm távolságról. A feszültség és áramerősség adatok mért kapcsolatát a 3.2. ábra bal oldali képe mutatja be.

A 3.2. ábra jobb oldali képe a feszültség (U) és teljesítmény (P) adatok viszonyát mutatja be. Ha a 3.2. ábra két grafikonját összehasonlítjuk egymással, akkor elmondhatjuk, hogy a teljesítmény akkor a legnagyobb, amikor a feszültség függvényében az áramerősség még nem kezd el hirtelen csökkeni. Miután az áramerősség hirtelen lecsökken, a teljesítmény grafikon is meredeken csökken. A napelem maximális teljesítményét a maximális érték adja, ami három tizedesjegy pontossággal ennél a mérésnél 0,032 W.

A vizsgált napelem hatásfoka a maximális teljesítmény és a napelemre érkező teljesítmény hányadosával határozható meg. Esetünkben a 40 wattos izzó fénye egy 0,24 m sugarú gömb felszínén oszlana el egyenletesen. Nekünk $0,156 \times 0,156 \text{ m}^2$ a napelem felület, akkor a számítás a következő: $\frac{0,156 \times 0,156}{4 \times 0,24^2 \times \pi} \times 40 = 1,345 \text{ W}$. Ekkora teljesítmény érkezett tehát a napelem felületére. Ezt az értéket 100%-nak véve határozzuk meg a hatásfokot. A napelem maximális teljesítménye 0,032 W volt.

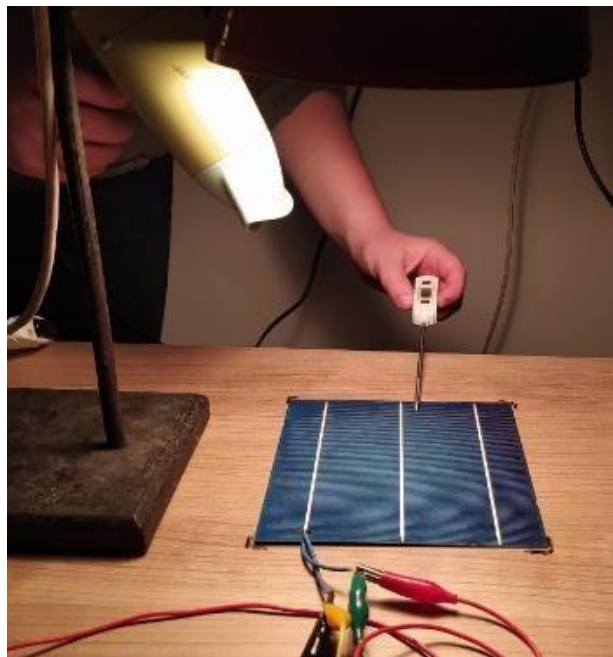
A hatásfok tehát: $\frac{0,032}{1,345} = 0,0238$; ami az eredeti energia 2,38%-a. Ez jóval alatta van az irodalomban elvárt 12-14%-os hatásfoknak egy polikristályos napelem esetén. Ennek oka, hogy valójában a napelem középpontja van csak 24 cm távolságra, a többi pontja távolabb, illetve a napelem speciális, tokozatlan. Ezek a tényezők azonban az összes mérésünkénél fennállnak, így relatív mérést alkalmazva az eredmények korrekt módon összehasonlíthatók.



3.2. ábra: Bal oldal: az alap mérés I-V karakterisztikája (forrás: saját ábrázolás). jobb oldal: a beállítás teljesítmény-feszültség grafikonja (forrás: saját ábrázolás).

2. mérés: Hőmérséklet-változástól függés

Ennél a vizsgálatnál a napelem szintén vízszintesen feküdt az asztallapon, a fény 90°-ban érkezett a felületére, 24 cm-ről, a 40 wattos izzóból. A napelem hőmérséklete a többi mérés során és ennek a kezdetén is 28,7 °C volt, ahonnan egy hajszárító segítségével felmelegítettük 40,1°C-ra, és amint elérte ezt a hőmérsékletet, tehát +11,4 °C-os hőmérsékletváltozást, megkezdtuk a mérést. A vizsgált idő (85 másodperc) alatt a napelem 33,3 °C-ra hűlt vissza.

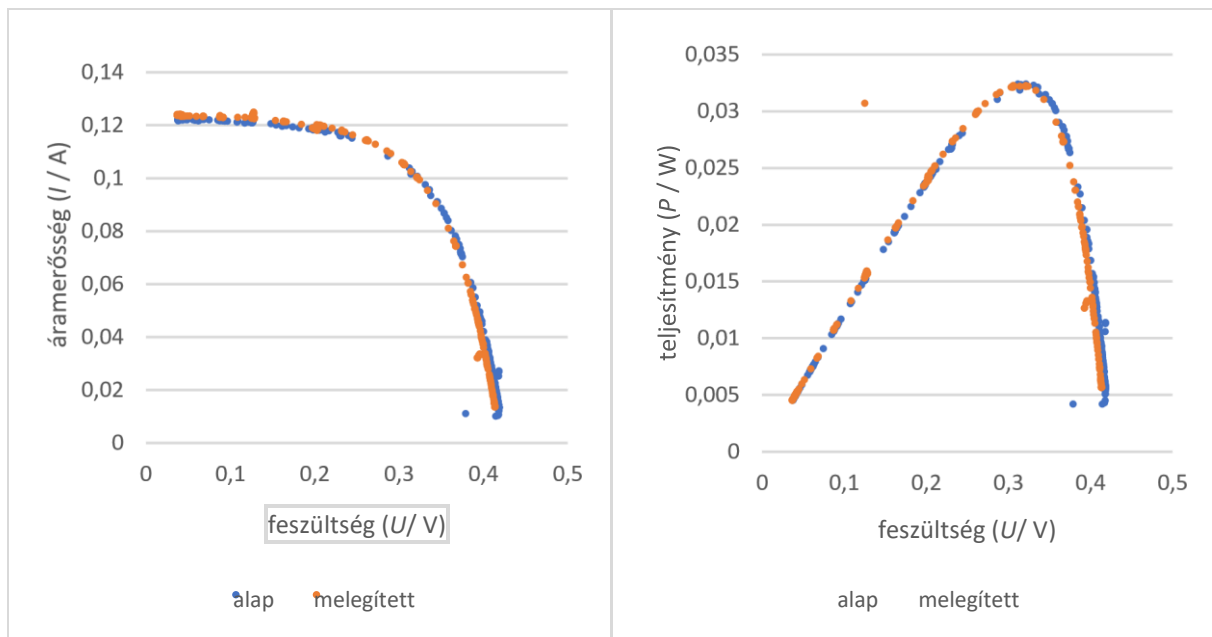


3.3. ábra: a mérőállás a 2. mérés során (forrás: saját ábrázolás – fotó: Tóth Rita)

A melegítés hatására nem tapasztalunk (vö.

3.4. ábra) grafikonok alapján lényeges

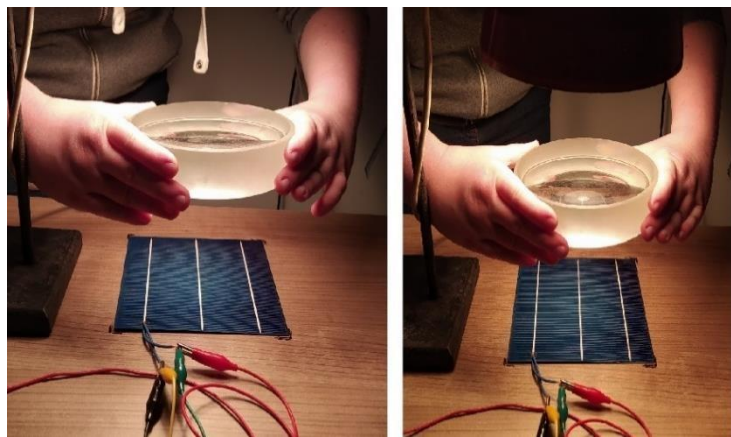
változást +11,4°C hőmérsékletváltozás esetén, bár a maximális teljesítmények közelében kivehető, hogy a kézzel jelölt, alacsonyabb hőmérsékletű napelemnél a teljesítmény értékek kicsit magasabbak, mint a barnával jelölt melegebb esetben. Nagyobb hőmérsékletváltozási szcenáriókat nem mértünk, de a természetben könnyen előfordulhat, hogy egy árnyékmentes területen álló napelem felülete jobban felmelegszik. A napon lévő napelemek hűtési lehetőség nélkül akár 75°-80°C-ra is felmelegedhetnek. Ilyenkor ezen eszközök teljesítménye akár a felére is csökkenhet [3.1]. A teljesítménycsökkenés optimalizálása érdekében javasolt a napelemes rendszerek hűtését biztosítani.



3.4. ábra: a melegített napelem I-V karakterisztikája (bal oldali kép), és az adott feszültséghez tartozó teljesítménye (jobb oldali kép). Forrás: saját ábrázolás.

3. mérés: Szórt fény vizsgálata

Ennél a vizsgálatnál a napelem szintén vízszintesen feküdt az asztallapon, a fény 90°-ban érkezett a felületére, 24 cm-ről, a 40 wattos izzóból. Az izzó elé, a napelem felett adott távolságban egy szórólencsét helyeztünk el, aminek a fókusz távolsága 24 cm. Két esetet tanulmányoztunk, amik abban tértek el egymástól, hogy különböző magasságban



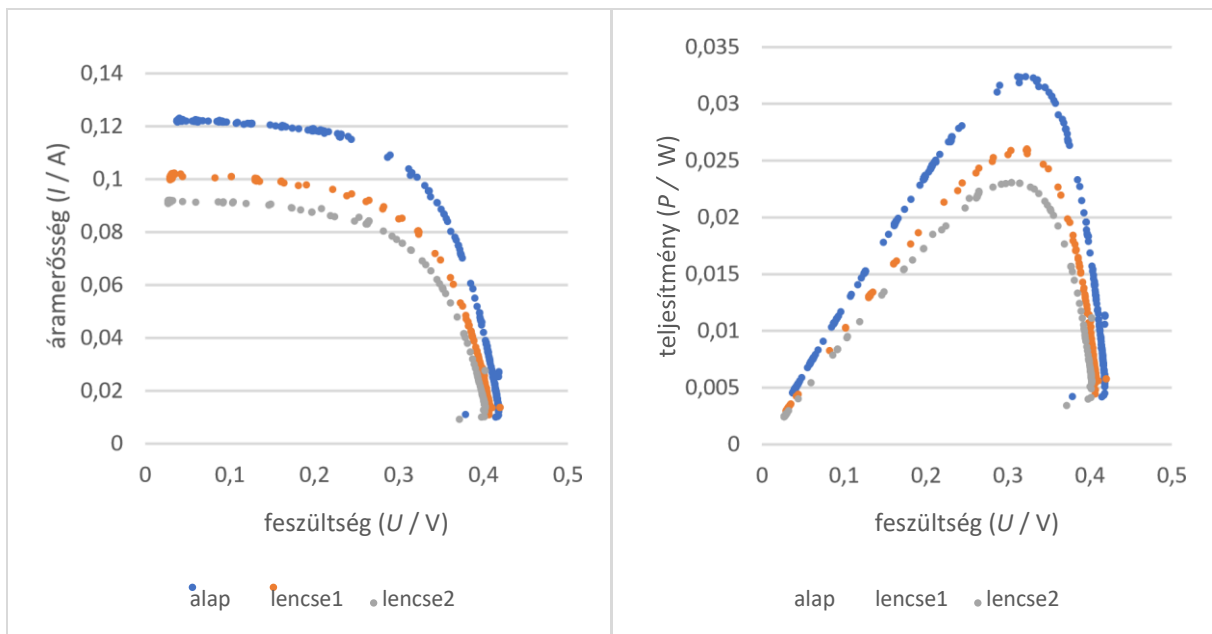
3.5. ábra: a mérőállás a 3. mérés során.

A bal oldali, amikor a szórólencse 18 cm-re van a napelemtől, a jobb oldali, amikor 12,5 cm-re. (forrás: saját ábrázolás – fotó: Tóth Rita)

helyeztük el a szórólencsét a napelem fölött: az első vizsgált alkalommal a

napelemtől számított 12,5 cm (lencse1), a második esetben 18 cm (lencse2) magasan volt a szórólencse közepe (3.5. ábra).

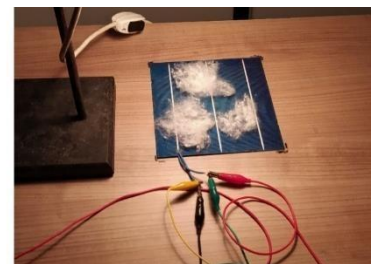
A mérések összehasonlítása (3.6. ábra) után azt tapasztaltuk, hogy szemmel is látható különbség van a vizsgálatok között annak függvényében, hogy az izzótól kiinduló fény mekkora hányada éri el a napelem felületét. Minél szórtabb a fény, ami a napelem felületére jut, annál kisebb lesz a teljesítménye.



3.6. ábra: az áramerősség (bal oldali kép) és a teljesítmény (jobb oldali kép) értékei a feszültség függvényében, a különböző elhelyezkedésű szórólencsék esetén.

4. mérés: Felhők árnyékoló hatása

Ennél a vizsgálatnál a napelem szintén vízszintesen feküdt az asztallapon, a fény 90°-ban érkezett a felületére, 24 cm-ről, a 40 wattos izzóból. A mérés során a 3.7. ábrán látható módon felhőket modellező vattákat helyeztünk el a napelemen. Most is két esetet vizsgáltunk: az elsőnél vékonyabb, kevésbé tömött vatta pamacsokat

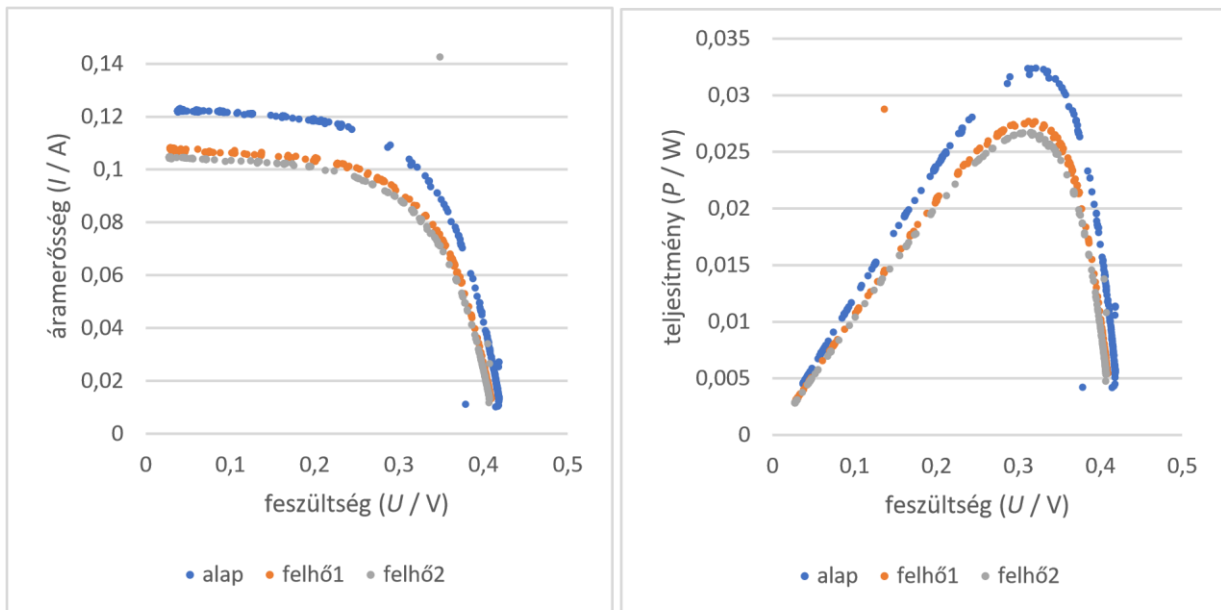


3.7. ábra: a mérőállás a 4. mérés során.

A „fátyolfelhők” a bal oldali képen láthatóak, a „gomolyfelhők” a jobb oldalin. Forrás: saját ábrázolás - fotó: Tóth Rita

raktunk a napelemre, ezek szimbolizálták a „fátyolfelhőket” (felhő1). A másodikonál vastagabb, tömöttebb darabokat raktunk a napelemre, ezek a „gomolyfelhőket” (felhő2) jelképezték.

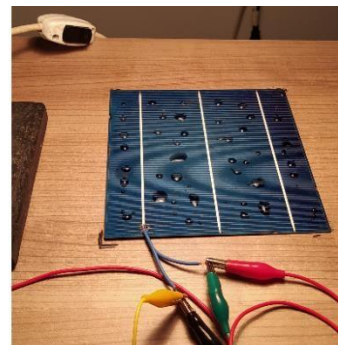
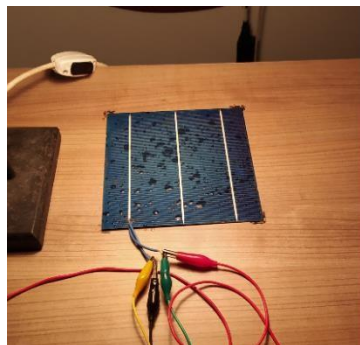
A mérések összehasonlítása (3.8. ábra) után azt tapasztaltuk, hogy a „felhős ég” lényegesen befolyásolja a napelem teljesítményét. A kétféle „felhő” eredménye között azonban nem volt olyan nagy különbség, ami betudható annak, hogy a két vizsgált „felhőtípus” kísérleti megvalósítása között mégsem volt akkora különbség, mint amekkorát terveztünk. A gomolyfelhőket legalább kétszer vastagabbra kellett volna gyártanunk, hogy a különbség jól érzékelhető legyen. Mivel a felhők nem tömör anyagból készültek, a rajtuk átjutó fény hasonlóképp szórt volt, mint a szórólencsék esetén.



3.8. ábra: az alap, a „fátyolfelhő (felhő1), és a „gomolyfelhő” (felhő 2) mérések összehasonlítása, az áramerősség (bal oldali kép) és a teljesítmény (jobb oldali kép) értékei a feszültség függvényében. (forrás: saját ábrázolás).

5. mérés: Vízcseppek hatása a napelem felületén

Ennél a vizsgálatnál a napelem szintén vízszintesen feküdt az asztallapon, a fény 90°-ban érkezett a felületére, 24 cm-ről, a 40 wattos izzóból. A mérés során a napelem felületére vizet

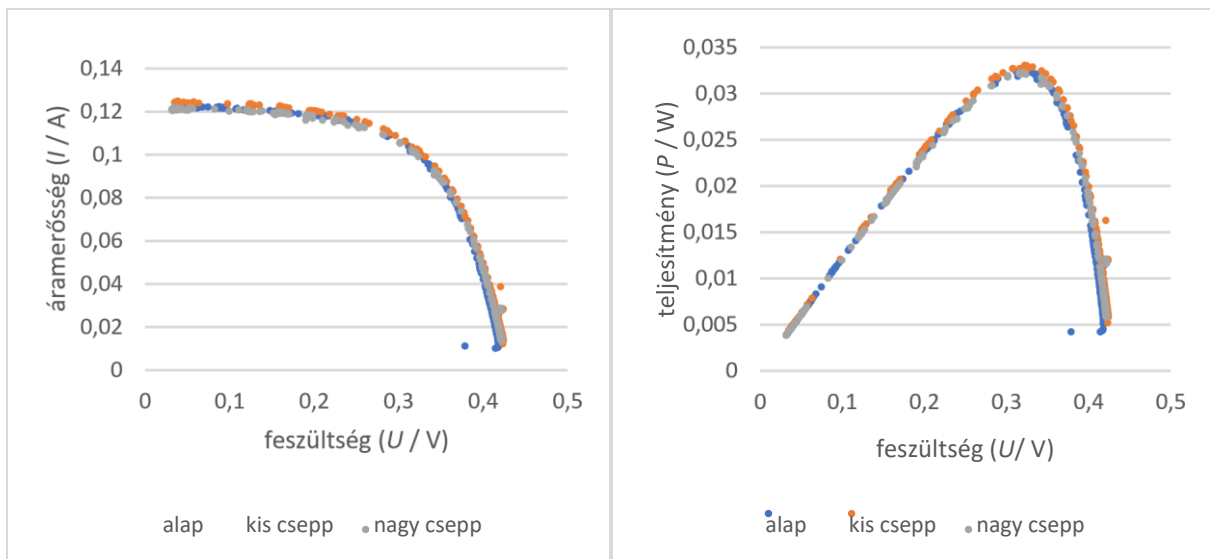


juttattunk. Szintén két esetet 3.9. ábra: a mérőállás az 5. mérés során (forrás: saját vizsgáltunk: az első esetben a vizet ábrázolás; fotó: Tóth Rita)

A bal oldali képen az apró vízcseppek egymáshoz viszonylag egy spriccelővel fűjtük a napelemre közel helyezkednek el a napelem felületén.

(3.9. ábra bal oldali kép), így a *A jobb oldali képen a nagyobb vízcseppek egymástól távolabb cseppek kisebbek lettek, de sokkal helyezkednek el a napelem felületén sűrűbben helyezkedtek el (kis csepp).* A második esetben a vizet pipettával csepegtettük (3.9. ábra jobb oldali kép). Az így keletkezett cseppek jóval nagyobbak lettek, ellenben ritkábban voltak (nagy csepp). A napelemre kerülő víz mennyiségét egyik esetben sem mértük meg, viszont megismertünk egy módszert arra, hogy hogyan lehetne utólag meghatározni a víz mennyiségét. A képeket szürke árnyalatú módra állítjuk. Ha azok a pixelek, ahol vízcseppek vannak néhány árnyalattal eltérnek a környezetük színeitől, akkor a képek pixelenként Excel táblázatba importálva meghatározhatjuk, hogy a napelem mekkora felületét borította víz [3.3]. Ennek a módszernek a megvalósítása nem kötődik feltétlenül ehhez a dolgozathoz, így mi sem foglalkoztunk vele ebben a leírásban.

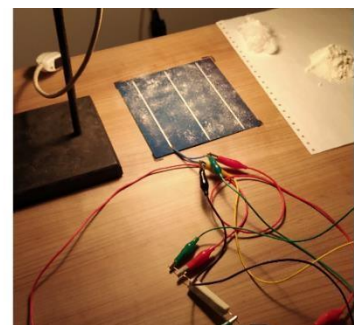
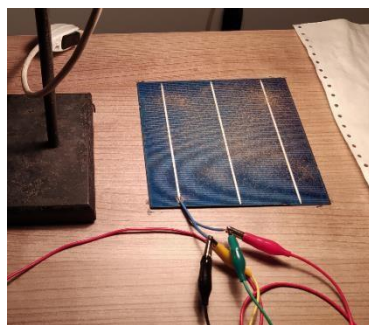
A kiértékelés után (3.10. ábra) azt tapasztaljuk, hogy amikor a napelem felülete vizes volt, nagyobb teljesítmények voltak mérhetők. A mérések alapján azt is állíthatjuk, hogy a cseppek méretétől és elhelyezkedésétől nem függött számottevően ebben a kísérletben a teljesítmény. Az, hogy a napelem teljesítménye akkor nagyobb, amikor víz van a felületén, részben a víz hűtő hatásával magyarázható, de az is szerepet játszhat benne, hogy a víz megváltoztatja a napelem optikai tulajdonságait.



3.10. ábra: az alap, a kis csepp és a nagy csepp mérések összehasonlítása; az áramerősség (bal oldali kép) és a teljesítmény (jobb oldali kép) értékei a feszültség függvényében (forrás: saját ábrázolás).

6. mérés: Szennyeződés a napelem felületén

Ennél a vizsgálatnál a napelem szintén vízszintesen feküdt az asztallapon, a fény 90°-ban érkezett a felületére, 24 cm-ről, a 40 wattos izzóból. A mérés során a napelem felületére különböző színű és állagú porokat szórtunk. Két esetet vizsgáltunk, ahol az elsőben a napelem felületére vékony réteg homokot (3.11. ábra, bal oldali kép), majd miután



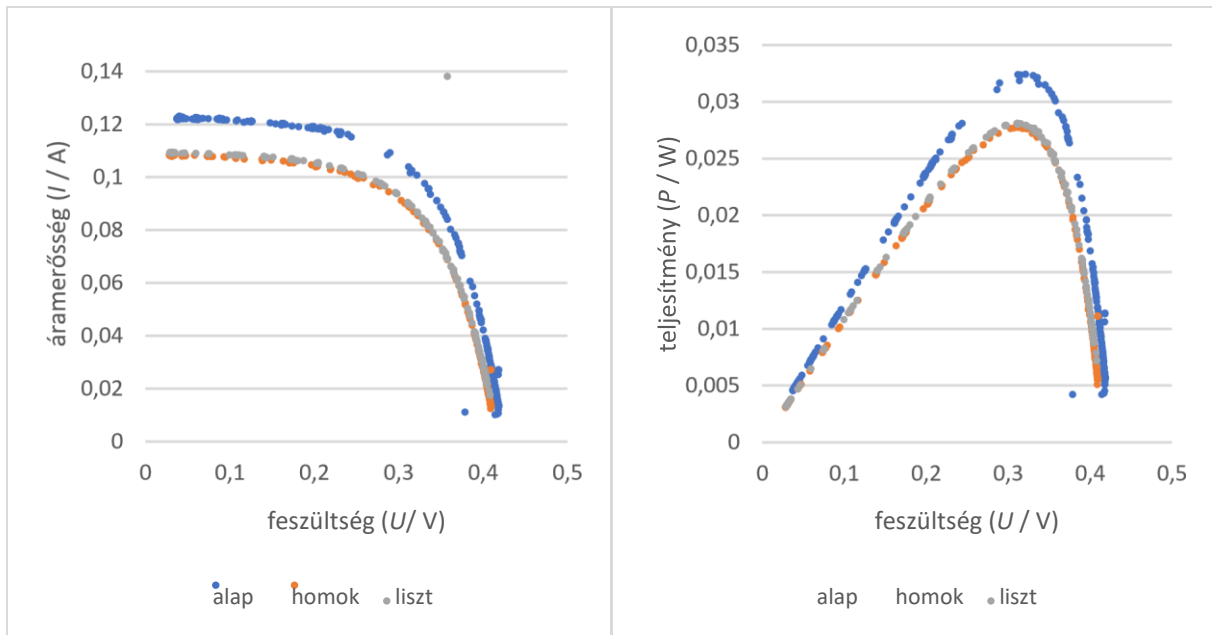
3.11. ábra: a mérőállás a 6. mérés során (forrás: saját ábrázolás; fotó: Tóth Rita)

A bal oldali képen a napelem felületére vékony rétegben homok van szórva.

A jobb oldali képen a napelem felületére vékony rétegben liszt van szórva.

alaposan letisztítottuk, vékony réteg lisztet (3.11. ábra, jobb oldali kép) szórtunk. Mivel a liszt fehér, a homok pedig sötétszürke színű volt, így azt is meg tudtuk nézni, hogy a napelem felületén lévő szennyeződés színe befolyásolja-e a teljesítményt.

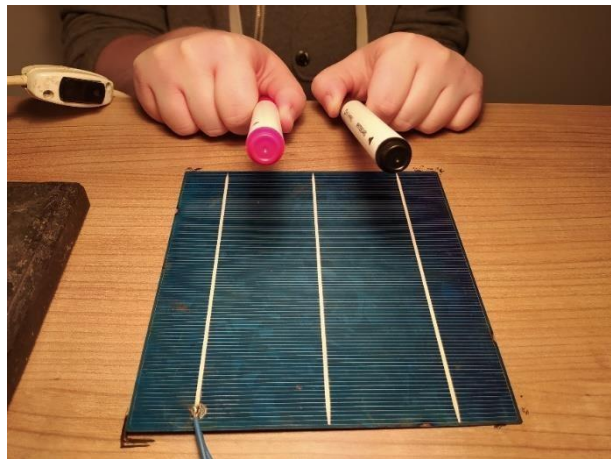
A mérések összehasonlítása (3.12. ábra) után láthattuk, hogy a napelem felületén lévő bármilyen szennyeződés jelentősen befolyásolja, csökkenti a napelem teljesítményét, ellenben azt tapasztaltuk, hogy a szennyeződés színe irreleváns volt, ugyanis a két szín közötti mérések során nem volt jól látható különbség. A szennyeződésekkel (annak színétől függetlenül) az energia kevesebb része jut el a napelem felületére, így logikus, hogy teljesítménycsökkenést eredményez.



3.12. ábra: az alap, a homokos napelem és a liszt napelem mérések összehasonlítása; az áramerősség (bal oldali kép) és a teljesítmény (jobb oldali kép) értékei a feszültség függvényében. (forrás: saját ábrázolás).

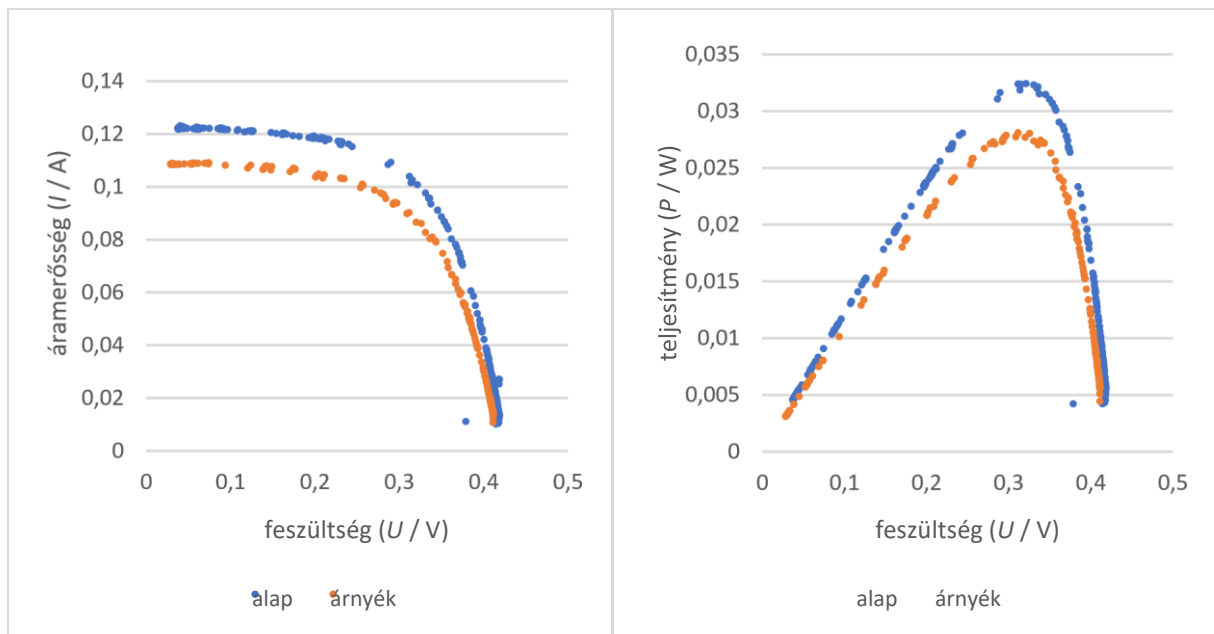
7. mérés: Éles határvonalú, átlátszatlan tárgy árnyékoló hatása Ennél a vizsgálatnál (3.13. ábra) a napelem szintén vízszintesen feküdt az asztallapon, a fény 90°-ban érkezett a felületére, 24 cm-ről a 40 wattos izzóból. A napelem fölé két táblafilcet tartottunk, amik az árnyékot szimbolizálták (jelen esetben például két vékonyabb faágat).

A kiértékelés után (3.14. ábra) azt tapasztaltuk, hogy a napelem teljesítménye szemmel láthatóan csökken, ha valamekkora felületére árnyék vetül. A csökkenés



3.13. ábra: a mérőállás a 7. mérés során. forrás: saját ábrázolás – fotó: Tóth Rita
A képen a napelem felületére árnyék vetül.

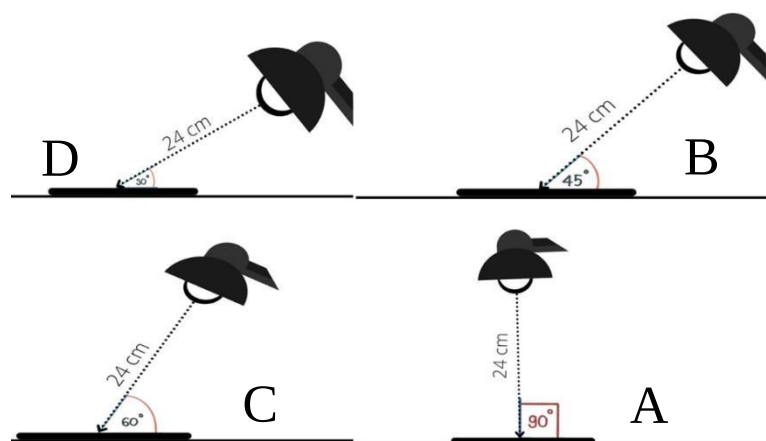
(mértékének) oka: hogyha egy/több cella árnyék alatt van, akkor nem csak az nem fog ideiglenesen működni, hanem a szomszédságában lévő néhány másik cella sem. Illetve sorba kötött, tehát egy stringen lévő napelemek esetén, ha az egyikre árnyék vetül az negatívan befolyásolja a többi teljesítményét is (2.6. ábra; [3.2.] forrás). Ezért csökkent le számottevően a napelem teljesítménye, már kis árnyékolás esetén is. Azt a problémát, hogy a többi napelemet is negatívan befolyásolja az egyikre érkező árnyék, ki lehet kiküszöbölni az irodalomfeldolgozásnál már említett okos inverter alkalmazásával.



3.14. ábra: az alap és az árnyékos mérés összehasonlítása; az áramerősség (bal oldali kép) és a teljesítmény (jobb oldali kép) értékei a feszültség függvényében (forrás: saját ábrázolás).

8. mérés: A fény különböző szögekben esik a napelem felületére

Ennél a vizsgálatnál a napelem szintén vízszintesen feküdt az asztallapon, és 24 cm-ről a 40 wattos izzóból különböző szögekben esett a fény a napelem felületére. Az eddigi 90°-os (3.15/A ábra) beesési szög mellett most vizsgáltunk 45° (3.15/B.ábra), 60° (3.15/C. ábra) és 30°-os (3.15/D. ábra) beesési szöget is. De az izzó és a napelem távolsága végig 24 cm maradt.



3. 15. ábra: a mérőállás sematikus rajza a 8. mérés során (forrás saját ábrázolás; készítette Tóth Rita)

„A” kép: a fény 90°-ban érkezik a napelem felületére.

„B” kép: a fény 45°-ban érkezik a napelem felületére.

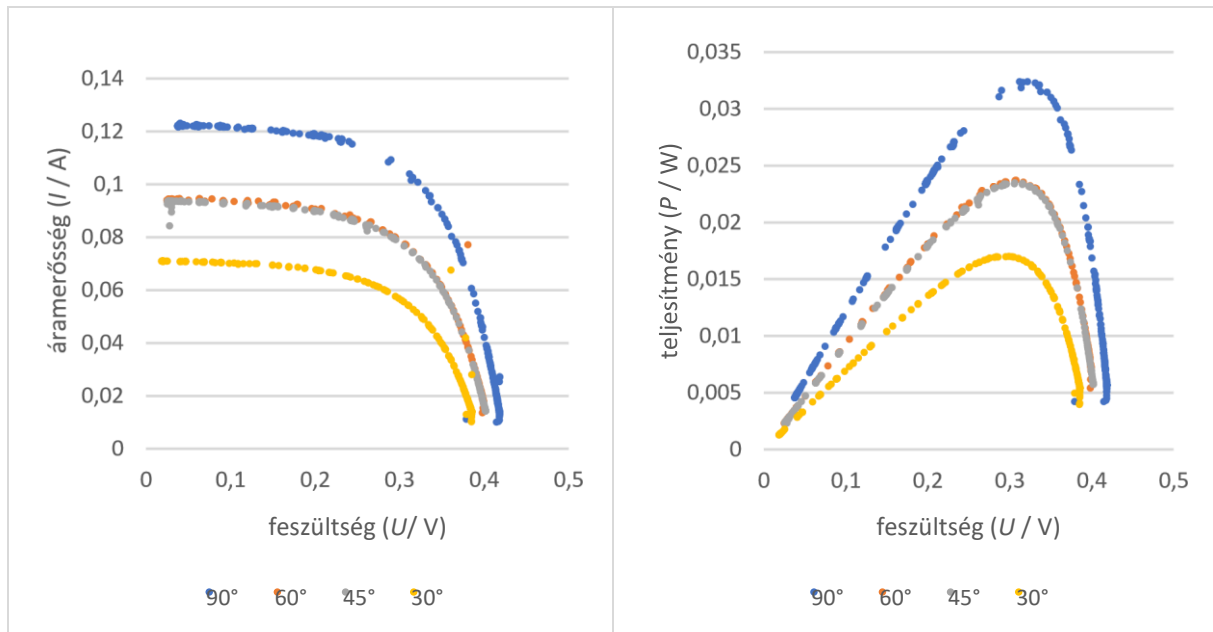
„C” kép: a fény 60°-ban érkezik a napelem felületére.

„D” kép: a fény 30°-ban érkezik a napelem felületére.

A mérések összehasonlításánál (3.16. ábra) azt láthatjuk, hogy a napelem teljesítményét jelentősen befolyásolja a fény beesési szöge.

Akkor a legnagyobb a teljesítmény, ha a fény merőlegesen érkezik, míg akkor a legkisebb, amikor 30°-os szögben (a vizsgált mérési adatok közül). A 45° és a 60°-os beesési szög esetén mért adatok szemmel láthatóan nem térnek el olyan lényegesen egymástól, ebben a tartományban a teljesítmény nem olyan érzékeny a fény beesési szögére. További mérésekkel pontosítható lenne a kapcsolat, de

a jelen mérési adatok alapján is megállapítható, hogy a vízszintessel bezárt szög és a teljesítmény kapcsolata nem lineáris.



3.16. ábra: a fény különböző vízszintessel bezárt szögeinél az eredmények összehasonlítása; az áramerősség (bal oldali kép) és a teljesítmény (jobb oldali kép) értékei a feszültség függvényében (forrás: saját ábrázolás).

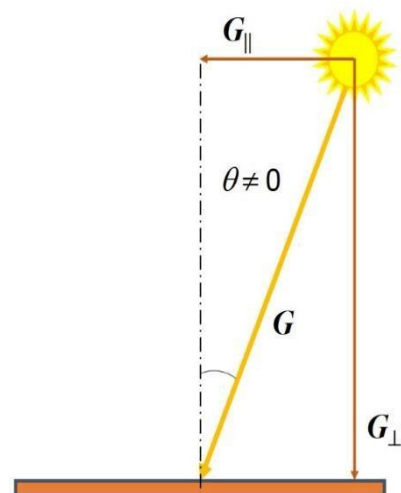
Az interneten [3.4] találtunk a kiszámításhoz egy összefüggést, ezzel ki lehet számolni a pontos értéket. Ha a fénysugarak nem merőlegesen érkeznek a napelemre, akkor a cosinus szögfüggvény használatával a G vektort felbonthatjuk 2 komponensre:

- I. $G_{\perp}$ – ez az a komponens, amit a napelem hasznosítani fog, ez merőleges a panelre
- II. $G_{\parallel}$ – ez az a komponens, ami nem hasznosítható, ami a hasznosítás szempontjából elveszik.

A $G_{\perp} = G \cos(\theta)$. Ez a θ szög, nem a napsugarak beesési szöge a napelemre, hanem 90° - a beesési szög (a beesési szög pótszöge), amit elevációs szögnek neveznek.

Ennek alapján, kiszámoltuk a mért szögekre a merőleges esethez viszonyított arányokat:

- 30°-os beesési szög esetén: $G_{\perp} = 100 \times \cos(90^\circ - 30^\circ = 60^\circ) = 50\%$. A mérésünk alapján ez 53%.
- 45°-os beesési szög esetén: $G_{\perp} = 100 \times \cos(90^\circ - 45^\circ = 45^\circ) \approx 71\%$. A mérésünk alapján ez 72%.



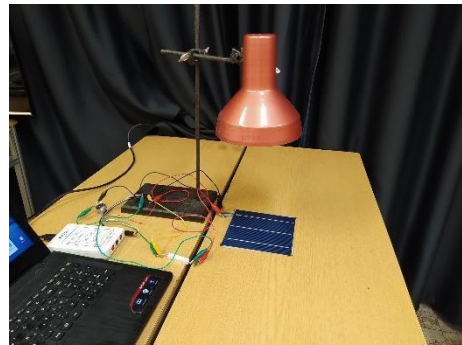
3.17. ábra: módszer a napelem teljesítményének kiszámítására, ha a fénysugár nem 90° -ban érkezik a napelemre. (forrás: internet)

□ 60°-os beesési szög esetén: $G^{\wedge} = 100 \times \cos(90^{\circ} - 60^{\circ} = 30^{\circ}) = 87\%$. A mérésünk alapján ez 72%.

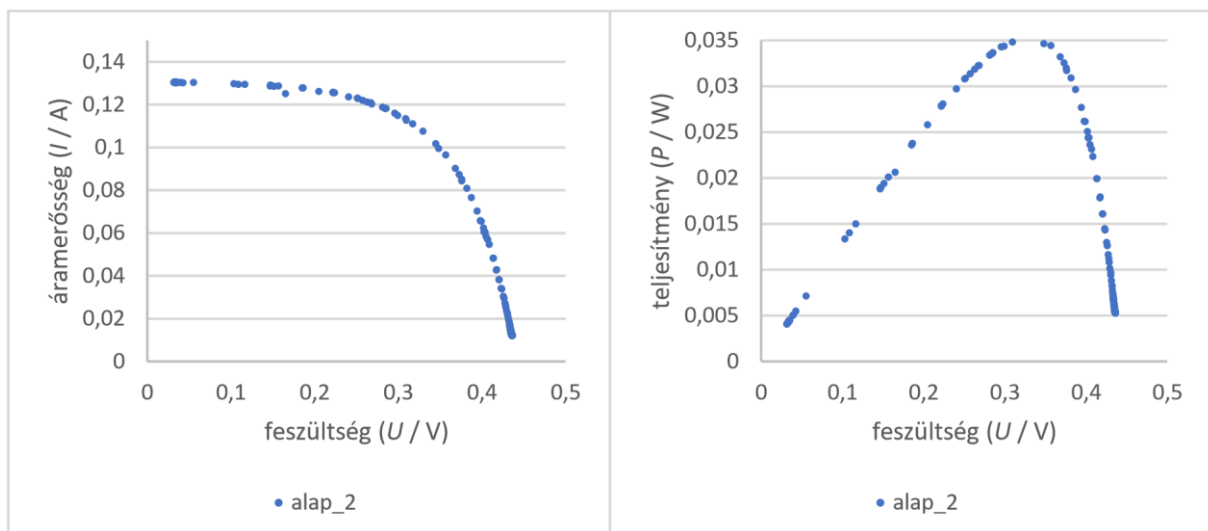
A 30° és 45° mérésénél egész jó közelítő eredményt kaptunk tehát az irodalmi értékhez, így ennek alapján elmondhatjuk, hogy a mérési eredmények alátámasztják az elméletet. A 60-nál kapott nagy eltérés mérési, vagy beállítási hiba miatt adódhatott.

9. mérés: Alap_2

A dolgozat készítése közben kétszer végeztünk összehasonlító méréseket, ugyanazzal a napelemmel (tehát 156 mm x 156 mm alapterületű, tokozás nélküli eszköz). Mivel a mérőállást nem állt módunkban még egyszer minden szempontból pontosan ugyanúgy felépíteni, mint az előző méréssorozat esetén, ezért ismét elvégeztük az ún. „alap” mérést (továbbiakban „alap_2”) (3.18., 3.19. ábra), hogy a mért adatok relatív összehasonlítását a következő méréssorozatunknál is meg tudjuk tenni.



3.18. ábra: a mérőállás a 9. mérés során. A napelem ún. „alap_2” beállítása. (forrás: saját ábrázolás- fotó: Pitlik Dóra)



3.19. ábra: a bal oldali az alap_2 mérés I-V karakterisztikája látható, a jobb oldali ábra a beállítás teljesítményének grafikonja a feszültség függvényében. (forrás: saját ábrázolás).

10. mérés: A napelem felületére áttetsző anyagból készült rétegek kerülnek

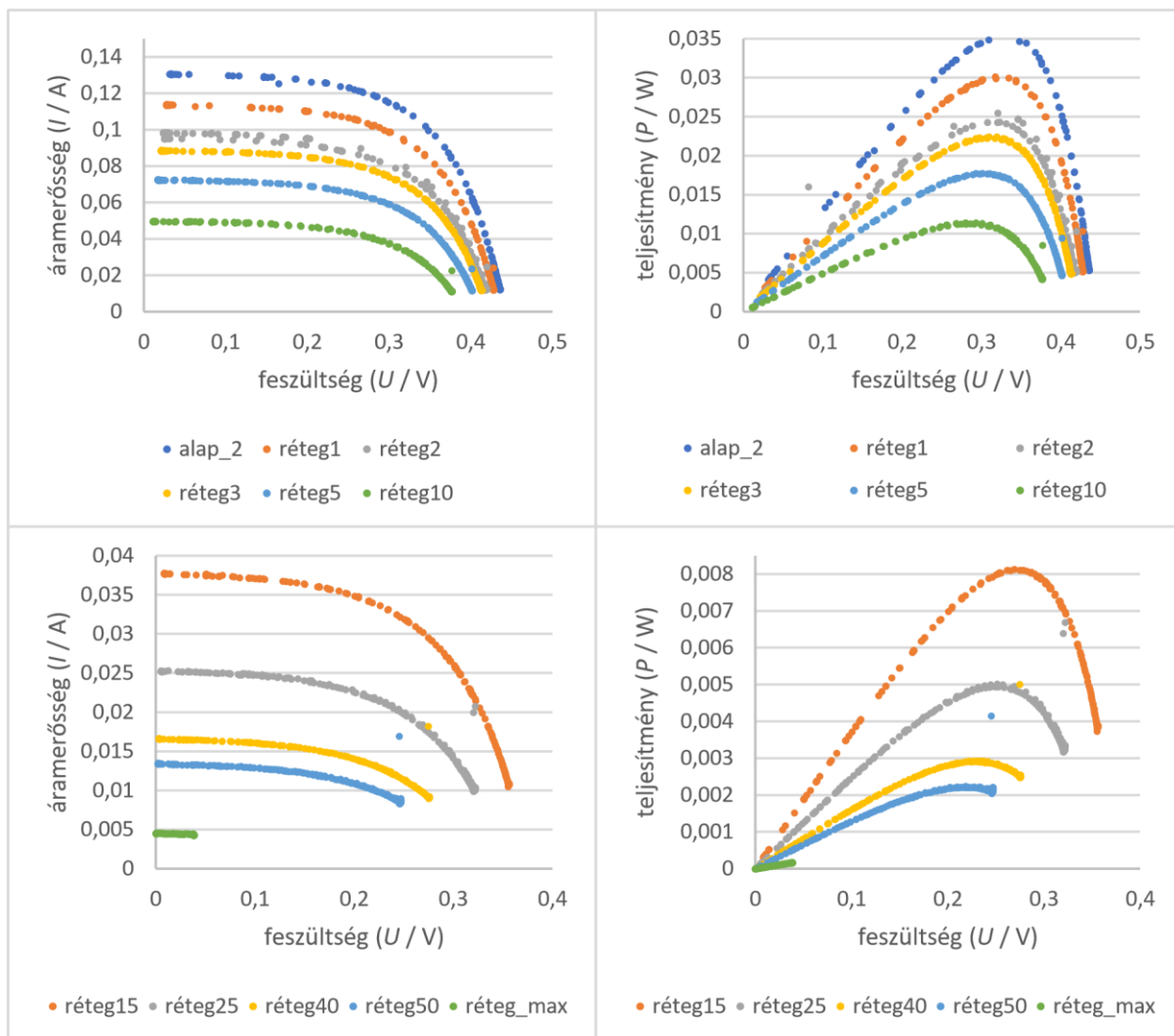
E mérés során az vizsgáltuk, hogyha egy napelemre azonos anyagból készült áttetsző rétegeket helyezünk (szimbolizálva ezzel a napelemet bevonó kosztól és egyéb behatásoktól védő bevonatokat, vagy az egyre vastagabb felhóréteggel borított égboltot) különböző vastagságban, akkor mit tapasztalunk az I-U (A-V) és a P-U (W- V) grafikonokon. A méréshez műanyagból készült irrattartót használtunk, amiből először egyet sem, majd egyet, kettőt, hármat, ötöt, tízet, tizenötöt, huszonötöt, negyvenet és végül ötven darabot helyeztünk rá a napelemre úgy, hogy az egész felülete el legyen takarva (3.20. ábra). Ötven réteg után is azt tapasztaltuk, hogy a napelemen mérhető feszültség még nem nulla, ezért a végén, az ötven réteg tetejére még egy kartonpapírt is helyeztünk, hogy összehasonlíthassuk az így mért (összességében legkisebb) adatokat a többivel.



3.20. ábra: a mérőállás a 10. mérés során. A napelem felületén különböző mennyiségű réteg található (balról jobbra, majd fentről lefelé haladva: a bal felső képen 1, majd 3, 10, 25, 50 réteg, a jobb alsó képen pedig az 50 réteg felett még egy kartonból kivágott négyszög). (forrás: saját ábrázolás fotó: Pitlik Dóra)

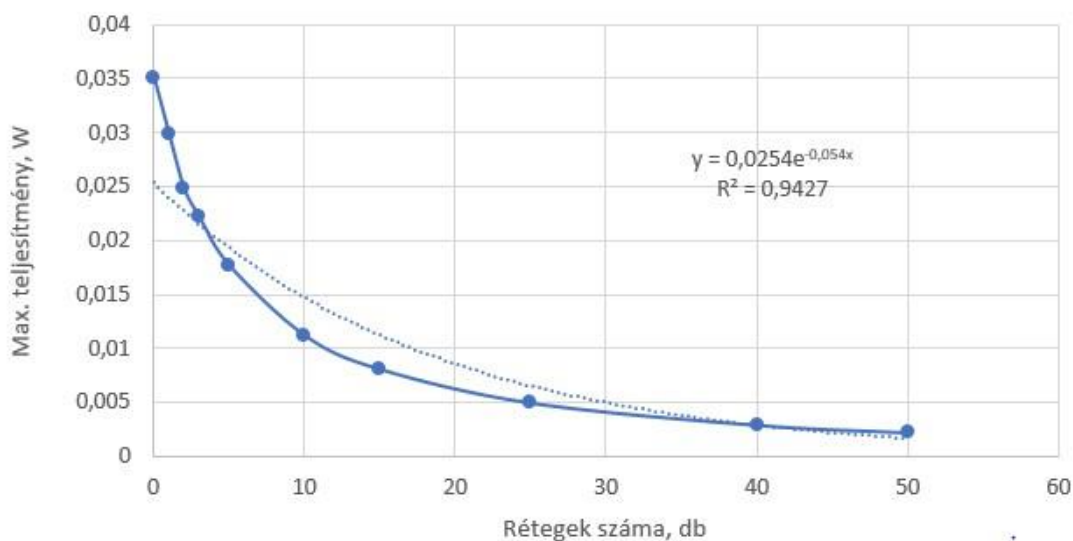
A kiértékelés után jól láthatóvá vált a grafikonokon, hogy minden egyes alkalommal, amikor növeltük a rétegek számát csökkent a teljesítmény. Az első esetben 85%, a másodikban 70%, amikor 50 réteget raktunk rá, akkor 6,3% és a végén, amikor a kartont is rátettük, akkor 0,48% (majdnem 0) lett a teljesítmény az alap_2 méréshez viszonyítva (3.21. ábra jobb oldala).

Az ábrákon az I-V és a P-V karakterisztikák láthatók, mindkét esetben két diagramon a jobb átláthatóság miatt.



3.21. ábra: az áramerősség (bal oldal) és a teljesítmény (jobb oldal) értéke a feszültség függvényében. (forrás: saját ábrázolás)

A 3.22. ábra a rétegvastagság függvényében mutatja a maximális teljesítmények alakulását.



3.22. ábra Maximális teljesítmények az átlátszó rétegek vastagságának függvényében

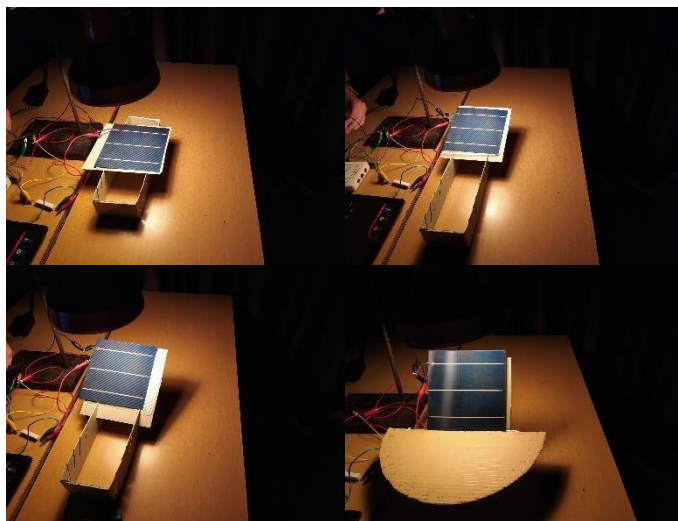
A maximális teljesítményekre exponenciálisan csökkenő függvény illeszthető. Az egyenlet 0,9427 korrelációs együtthatóval leírja a maximális teljesítmény rétegvastagságtól való függését.

11. mérés: A napelem különböző szögekben áll

Ez a méréssorozat a napelem dőlésszögéhez kapcsolódott.

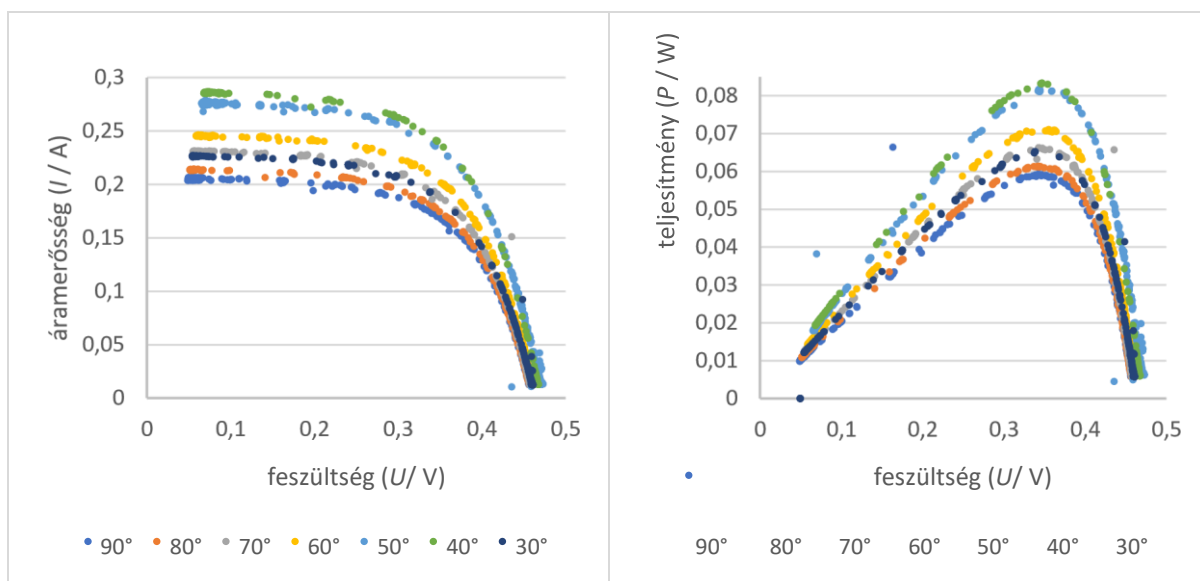
A mérések során a lámpának sem a magasságát, sem az irányát nem változtattuk. Készítettünk kartonból egy olyan szögmérőt, ami egy összeragasztott karton téglatest palástjának 4 oldala, amibe meghatározott szögenként kis mélyedéseket vágtunk.

Ebbe egy kartonlapot helyeztünk, amire magát a napelemet is tettük, így változtatva meg a fénysugarak napelemhez viszonyított szögét (3.23. ábra).



3.23. ábra: a mérőállás a 11. mérés során. A napelem 90°-ban fekszik (bal felső kép); a napelem 70°-ban fekszik (jobb felső kép); a napelem 50°-ban fekszik (bal alsó kép); a napelem 30°-ban fekszik (jobb alsó kép) a szögmérőn. (forrás: saját ábrázolás- fotó: Pitlik Dóra)

Sajnos a mérésünk eredeti célja nem valósult meg, ugyanis nem számoltunk azzal a tényezővel, hogyha a lámpa távolságát a napelem középpontjától nem változtatjuk, akkor a napelem lámpától mért távolsága minden egyes szögváltoztatásnál változik, így nem hasonlíthatók abból a szempontból össze (3.24. ábra) az eredmények, amiből szeretnénk volna.



3.24. ábra: az áramerősség (bal oldal) és a teljesítmény (jobb oldal) értéke a feszültség függvényében a napelem különböző szögekben való állásakor. (forrás: saját ábrázolás)

A diagramokon látható, hogy a legnagyobb áramerősség, illetve teljesítmény nem abban az esetben adódott, amikor a napelemre 90°-ban esett a fény, ami azzal magyarázható tehát, hogy a napelem kisebb szögeknél közelebb volt a fényforráshoz, így több energia érkezett a felületre a sugárzásból. A következő mérésekkel (l. 12. mérés) igazoltuk, hogy a napelem cellán nagyobb áramerősség mérhető, ha közelebb van a lámpához; ezáltal a teljesítménye is nagyobb lesz.

12. mérés: A napelem különböző távolságra van a lámpától



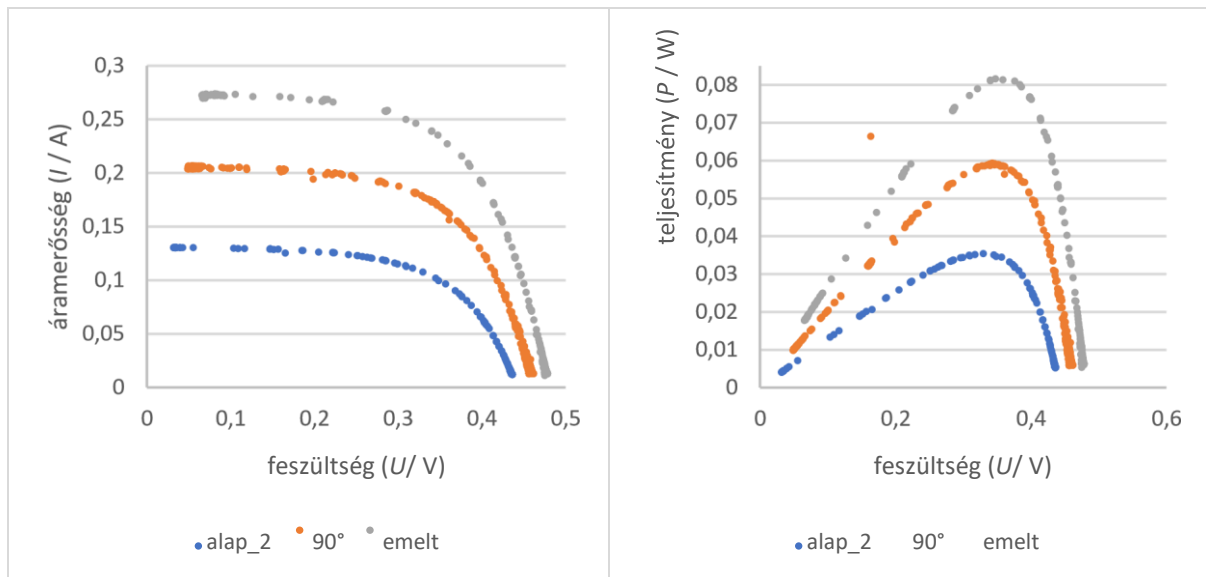
Ebben a mérésben az előző kísérlet okát támasztjuk alá mért adatokkal. Három mérést hasonlítunk össze: az „alap_2”, a „90°” és azt a mérést, ahol a napelemet egy emelvényre helyeztük. Az első esetben a napelem 24, a másodikban 18, a harmadikban pedig 12 centiméterre volt a lámpától.

A fénysugarak beérkezési szögén nem változtattunk, tehát továbbra is 90°-ban érkeztek a napelemre (3.25. ábra).

A grafikonokon azt láthatjuk, hogy abban az esetben a legnagyobb a mért áramerősség és teljesítmény, amikor a napelem a legközelebb volt a lámpához. Ezt a hatást a természetben nem figyelhetjük meg, hiszen a Nap olyan távol van a földtől, hogy néhány 10 centiméter már nem befolyásolja a hatását a napelem teljesítményére. Ellenben a laboratóriumi mérés során igenis látványos a hatása, hiszen amikor a napelem 18,5 centiméterre volt a lámpától, akkor 169%, amikor pedig 12 centiméterre volt, akkor 231% volt a teljesítménye az „alap_2”

méréshez viszonyítva (3.26. ábra).

3.25. ábra: a mérőállás a 12. mérés során. A napelem 24 (felső kép), 18,5 (középső kép) és 12 (alsó kép) centiméterre van a lámpától. (forrás: saját ábrázolás-fotó: Pitlik Dóra)



3.26. ábra: Az áramerősség (bal oldal) és a teljesítmény (jobb oldal) értéke a feszültség függvényében, amikor a napelem különböző távolságban van a lámpától. (forrás: saját ábrázolás)

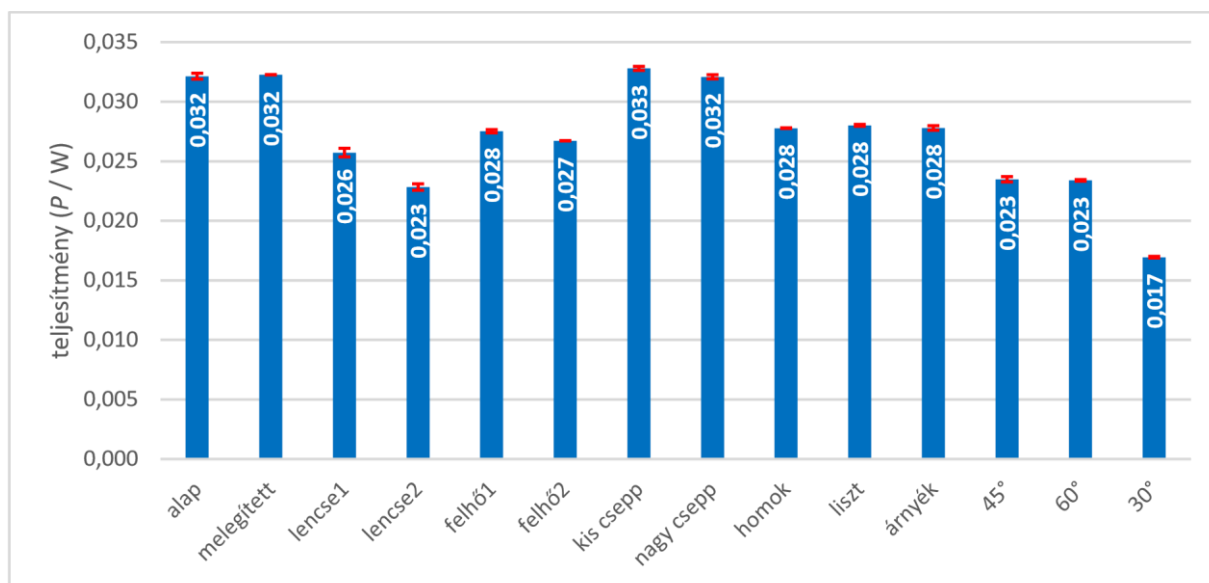
3.3 Összegzés

Egy 156 mm · 156 mm területű, tokozás nélküli, polikristályos napelem a kísérleteinkben végig ugyanolyan mesterséges megvilágítás alatt volt. Alapbeállításként egy normál, 40 W-os izzó fénye a modul középpontjától 24 cm távolságból világította meg a modult 90°-os beesési szögben.

Ezzel az alapbeállítással vettünk fel napelem karakterisztikát, majd az ekkor mérhető maximális teljesítményhez viszonyítottuk a különböző esetekben mérhető maximális teljesítményeket. A napelem teljesítményét az alapbeállításhoz képest számottevően negatívan befolyásolták az alábbi módosítások: a szórt fény szimulálása szórólencsével; a felhők szimbolizálása vatta pamacsokkal; a koszolódás modellezése különböző porok használatával; továbbá a napelem felületére vetülő árnyék; s végül a napelemre érkező fénysugarak beesési szögének merőlegeshez képesti változtatása.

A méréseink alapján a kis hőmérsékletnövekedés (2. mérés) nem okozott lényeges teljesítmény csökkenést. Kis teljesítmény-növekedést eredményezett az 5. mérés (a napelem felületén lévő vízcseppek), összevetve az alap mérés eredményeivel. Amikor a hasonló két-két mérést (például: a kis és nagy vízcseppeket, a felhőket vagy a két koszolódást) összevetjük egymással, akkor nem látható lényeges eltérés a grafikonokon ábrázolt értékek között. Viszont a szórólencse helyzete és a különböző beérkezési szögek között egymáshoz viszonyítva is eltéréseket fedezhetünk fel a diagramon (3.27. ábra).

A második mérésorozat alkalmával vizsgáltuk a napelem felületén lévő áttetsző rétegek száma, a napelem dőlésszöge és a napelem lámpától mért távolsága függvényében a mérhető maximális teljesítményt. A távolság esetén alátámasztásra került, hogy minél közelebb van a napelem a lámpához, annál nagyobb a teljesítménye, az elmélet szerint a távolság négyzetével fordítottan arányos az egységnyi felületre merőlegesen eső sugárzás.



3.27. ábra: a maximális teljesítményeket összefoglaló diagramm a különböző mérések során, melyeket az „alap” méréshez viszonyítottunk (a mérések a dokumentumban felsorolt sorrendben és néven követik egymást balról jobbra haladva. (forrás: saját ábrázolás)

A rétegvastagság méréseinek elemzése után szépen kirajzolódott, hogy a napelemen lévő rétegek negatívan befolyásolják a napelem teljesítményét. Minél több réteg van a napelem felületén, annál kisebb a teljesítménye. A rétegvastagság méréseinek maximumaira egy exponenciálisan csökkenő függvényt illesztettünk. Az alábbi 3.28. ábrán összesítettük a maximális teljesítmények számszerű alakulását és a százalékos eltéréseket a referenciához viszonyítva.

mérés			maximális teljesítmény [W] Eset és ideális (alap_2)	
alap	0,032	100%	alap_2	0,035139431 100
melegített	0,032	100%	réteg1	0,02990259 85,097
lencse1	0,026	81%	réteg2	0,024858973 70,744
lencse2	0,023	72%	réteg3	0,022235515 63,618
felhő1	0,028	88%	réteg5	0,017723785 50,438
felhő2	0,027	84%	réteg10	0,011252426 32,307
kis csepp	0,033	103%	réteg15	0,008114711 23,093
nagy csepp	0,032	100%		

			réteg25	0,004990267	14,201
homok	0,028	88%			
liszt	0,028	88%	réteg40	0,002930659	8,34
árnyék	0,028	88%	réteg50	0,00222924	6,344
45°	0,023	72%	réteg_max	0,000168524	0,48
60°	0,023	72%	90°	0,059279	168,697
30°	0,017	53%	magas	0,081326	231,439

3.28. ábra: a mérések során a maximális teljesítmények százalékos értéke az alap mérésekhez képest.
(forrás: saját ábrázolás)

Úgy véljük, hogy a dolgozatban részletesen bemutatásra kerülő eredményeink minden napelemet használni, napelemes rendszert optimálisan működtetni kívánó felhasználó számára jól hasznosíthatók, és hozzájárulnak a napelemek teljesítmény-viszonyairól rendelkezésre álló ismeretek bővítéséhez.

Hivatkozások

- [2.1] <https://www.eu-solar.hu/blog/a-napelem-tortenete/>
- [2.2] https://solarkonstrukt.hu/hirek/a_napenergia_tortenete_ki_talalta_fel_a_napelemet
- [2.3] <https://www.eu-solar.hu/blog/napelem-fajtak/>
- [2.4] <https://innovativnapelem.hu/napelemek-osszehasonlitasa.html>
- [2.5] <https://innovativnapelem.hu/napelem-fogalma.html>
- [2.6] <https://nvsolar.hu/melyik-napelem-rendszert-valasszam/>
- [2.7] <https://www.otthonokismegoldasok.hu/tipp-2/a-napelem-tortenete-egy-19-eves-tininekkoszonhetunk-mindent/>
- [2.8] <http://zoldenergia.eu/index.php/80-cikkek/108-napelemek-mukodese-es-alkalmazasa>
- [2.9] <https://nvsolar.hu/a-napelemek-mukodese/>
- [2.10] <https://liner.hu/hulladek-fenntarthato-napelem/>
- [2.11] <https://www.eu-solar.hu/blog/magyarorszag-legnagyobb-naperomuvei/>
- [2.12] <https://www.muszaki-magazin.hu/2021/06/02/napelempark-kaposvar-hataraban/>
- [2.13] <https://sokszinuvidek.24.hu/viragzo-videkunk/2020/02/10/magyarorszag-legnagyobb-naperomuve-kapuvári-naperomu/>
- [2.14] <https://www.mnnsz.hu/100-mw-os-napelem-eromvet-kapcsolnak-a-halozathoz-kozep-keleteuropaban/>
- [2.15] https://www.elobolygonk.hu/Klimahirek/Energia/2018_12_21/ismeri_magyarorszag_legnagyobb_naperomuveit
- [2.16] <https://www.mnnsz.hu/jol-teljesített-a-tesztüzem-alatt-a-legnagyobb-magyar-naperomukapuváron/>
- [2.17] <https://napelem.us/napelem-teljesitmeny-kisokos/>
- [2.18] <https://www.mnnsz.hu/szolar-segedletek/napsugarzas-napfenytartam-es-felhozetmagyarorszagon/>
- [2.19] https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/varosok_jellemzoi/Budapest/
- [2.20] <https://www.sulinet.hu/tovabbtan/felveteli/ttkuj/10het/foci/foci10.html>
- [2.21] https://wagnersolar.hu/napelem-termeles-online-napi-es-eves-termelesiadatokkal/?gclid=Cj0KCQIA95aRBhCsARIsAC2xvfzs32jeqoj7VnjBfOCtUFOifhXbCzXzDBw_DbkgP9kC8t6fXZ4DUCmoaAqxnEALw_wc
- [2.22] <http://docplayer.hu/28920861-Egy-hazai-naperomu-tapasztalatai.html>

- [2.23] <https://mvmoptimum.hu/termek/lakossagi-termek/energiatarolas/otthoni-energia-tarolasimegoldasok/>
- [2.24] <https://www.mnnsz.hu/organikus-napelem/>
- [2.25] <https://innovativnapelem.hu/polimer-vagy-organikus-napelem-technologia.html>
- [2.26] <https://en.futuroprossimo.it/2020/11/aureus-finestre-solari-che-catturano-i-raggi-uv-e-liconvertono-in-elettricita/>
- [2.27] <https://www.mnnsz.hu/napenergiaval-mukodo-targyak/>
- [2.28] https://napelem.blog.hu/2017/07/03/hogyan_termelj_tobbet_napelemes_rendszereddel
- [2.29] <https://napelemtechnika.hu/hirek/45-napelem-bemutato-rendszer-online-termelesi-adatai>
- [2.30] https://met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_visszatekinto/elmult_evek_idojarasa/main.php?no=0&ful=7
- [2.31] <https://www.futurasun.com/en/temperature-coefficient/>
 - [3.1] <https://raketa.hu/van-ertelme-huteni-a-napelemeket>
 - [3.2] https://privatenergia.hu/hrf_faq/mi-tortenik-ha-arnyekot-kap-napelem/
 - [3.3] <https://miau.my-x.hu/miau2009/index.php3?x=e0&string=robotesz>
 - [3.4] <https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/896>