



ÓBUDA EGYETEM

**Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Villamosenergetikai Intézet**

SZAKDOLGOZAT

ÓE-KVK

Hallgató neve: **Helmeczi Viktória**

2021.

Hallgató törzskönyvi száma: **T008106/FI12904/K**



ÓBUDA EGYETEM

**Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Villamosenergetikai Intézet**



Óbudai Egyetem
Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Villamosenergetikai Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Helmeczi Viktória

Szaktervezési száma: SZD21090213455153

Törzskönyvi száma: T008106/F112904/K

Neptun kódja: XXXXXXXXXX

Szak: villamosmérnöki (magyar nyelven)

Specializáció: Villamosenergetikai specializáció

A dolgozat címe: Napelem cellák hatásfokának vizsgálata a megvilágító fény intenzitásának függvényében

A dolgozat címe angolul: Investigation of the efficiency of solar cells as a function of the intensity of illuminating light

- A feladat részletezése:**
1. Irodalmi kutatás
 2. Módszer fejlesztés a napelemet érő fényintenzitás változtatására és mérésére
 3. Mérés elvégzése
 4. Kapott eredmények ábrázolása, értékelése, elemzése

A kiadott téma elévülési határideje: -

Beadási határidő: 2021. 12. 15.

A szaktervezési feladat: Nem titkos.

Kiadva: Budapest, 2021. 12. 14.

P.H

Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom:

Ungvári Zoltán

belső konzulens

külső konzulens



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, 2021. 12.14.

.....
hallgató aláírása



Tartalom

1 Bevezetés	1
2 Szakirodalom	3
2.1 Publikációk a témával kapcsolatosan.....	3
2.2 A nap működésének rövid bemutatása	4
2.3 Napelemek villamos paramétereinek általános bemutatása.....	5
2.4 Épületbe integrált fotovoltaiikus megoldások.....	11
2.5 Napelemek osztályozása	13
2.5.1 Szilícium alapú napelemek	13
2.5.2 Réz-indium-gallium-szelenid napelem	14
2.5.3 Kadmium-tellurid napelem	14
2.5.4 Gallium-arzenid napelem	14
2.5.5 Perovszkit napelem	15
2.5.6 Réz-cink-ón-szulfid napelem	15
2.5.7 Amorf szilícium napelem.....	15
2.5.8 Festékérzékenyített napelem.....	15
2.5.9 Szerves napelem.....	16
2.5.10 Napelem cellák hatásfoka	16
2.6 Vizsgált napelem cellák bemutatása	17
2.6.1 Szilícium alapú napelem	17
2.6.2 Festékérzékenyített napelem	21
3 Alkalmazott kutatásmódszertan	25
4 Kísérleteim leírása	28
4.1 Kísérlethez használt eszközök	28
4.1.1 Spektroradiométer.....	28
4.1.2 Hőmérsékletmérő.....	29
4.1.3 Álló napszimulátor.....	30
4.1.4 LED-es napszimulátor	32



4.2 A kísérleteim végrehajtásához használt kapcsolási rajz bemutatása	34
5 Mérési adatok elemzése	36
5.1 Adat kiolvasási folyamat.....	36
5.2 Mérési eredmény ábrázolása.....	38
5.2.1 Monokristályos napelem:.....	38
5.2.2 Polikristályos napelem:.....	41
5.3.3 Festékérzékenyített napelem:.....	44
5.3 Mérési eredmények elemzése	45
6 Összefoglalás	48
7 Summary	49
8 Köszönetnyilvánítás.....	50
9 Irodalomjegyzék	51
10 Ábrajegyzék	53
11 Táblázatjegyzék	55

1 Bevezetés

A XXI. század egyik legfontosabb kérdése a villamosenergia-ellátás megfelelő minőségben való biztosítása. A globális energia igény egyik legnagyobb kihívását az energiahordozókészletek jövőbeli kimerülése, illetve ezeknek a földrajzilag egyenlőtlen eloszlása jelenti. A fentebb említett probléma hozzájárul ahhoz, hogy a földrajzilag kedvezőtlen körülményekkel rendelkező országok energiaiimport-igénye növekedjen. Korunk másik fő problémája a jelentős mértékű károsanyag-kibocsátás és a klímaszennyezés jelenti, amely hozzájárul a globális klímaváltozáshoz. A nem megújuló energiaforrások elégetése az üvegházhatású gázok légkörben megjelenő koncentráció növekedését okozza, amely a Föld átlaghőmérséklet növekedését eredményezi [1].

Ezen kihívások tették világossá, hogy az energiafelhasználás és az ezáltal keletkező károsanyag-kibocsátás mérték nélküli növekedése nem fenntartható folyamat. A kutatók álláspontja szerint a fosszilis energiahordozók használata helyett, illetve csökkentése mellett az alternatív energiák lehetséges kihasználása sokat javítana a környezetünk állapotán. A megújuló energiaforrások használata nem szennyezik a környezetet, mindemellett mindig a rendelkezésünkre állnak, ugyanis olyan energiaforrásokról beszélünk, melyek folyamatosan újratermelődnek, mint a fa vagy folyamatosan jelen vannak és ezáltal kimeríthetetlenek, mint például a Nap. A megújuló-energiaforrások használata hozzájárul a fenntartható fejlődéshez, környezetbarát voltukból adódóan pedig segítenek a vízszennyezés, levegőszennyezés (üvegházhatású gázok koncentrációjának), üvegházhatás mérséklésében [2], [3].

A napsugárzás az egyik legfontosabb energiaforrásunk, energetikai felhasználása többféleképpen lehetséges. A napenergia-hasznosítások közül a fotovoltaiikus hatáson alapuló úgynevezett napelemek vagy más néven fotovoltaiikus eszközök fejlesztése a legintenzívebb. A napelem az úgynevezett fotovoltaiikus eszköz a napsugárzás energiáját közvetlenül elektromos energiává alakítja. Egyes kutatásokból az derült ki, hogy a napelemek fejlesztésének főbb mozgatórugói, hogy minél nagyobb hatásfokú és minél olcsóbb legyen. Ezen fő irányon belül a napelem-fejlesztésnek - a követelményeknek megfelelően - két alapvető irányzata van. Az egyik irány, amikor a célok közül a minél olcsóbb technológia megvalósítása kapja a prioritást, ilyen például az építészeti alkalmazás. A másik amikor csak a hatásfoknövelésre koncentrálnak az árral szemben, mint a világűrbeli alkalmazások [2].

A dolgozatom célja, hogy kísérleti úton megvizsgáljam az Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar Villamosenergetikai Intézet Alternatív Energiaforrások Tudásközpontjában található napelem cellák hatásfokát a beeső fény intenzitásának függvényében. A cél eléréséhez elsőnek irodalomkutatót végeztem a napelemek tématerületén, majd a következő lépésként a kísérleteket megterveztem. A piszkozati mérések lefolytatását követve újabb következtetések levonásával elvégeztem a kísérleteket, ezek eredményeit értékeltem, ábrázoltam és következtetéseket vontam le vontam le.

2 Szakirodalom

2.1 Publikációk a témával kapcsolatosan

Mihály Dávid Krisztián cikkében a napelem környezetre gyakorolt hatásáról írt. A cikkben központi kérdése: mennyire „zöld” a napelem. A környezetbarát energia előállítása az egyik legfontosabb feladatunk, hiszen a folyamatos fejlődések okán az energia szükséglet nő. Ebben a dolgozatban a hangsúlyt a fotovillamos elemek negatív hatásai kapták a pozitív polaritással vizet kereső vízirovarok kapcsán. Ezt a problémát kiküszöbölve érdes, matt felület létrehozása kielégítő lenne, ezzel a felületek poláris fényszennyezését is megoldanánk és a hatásfoka is nőne [4].

Bodnár István cikkében a hőmérséklet napelemre gyakorolt hatását figyelhetjük meg két esetben. Az egyik esetben a napelem hűtéssel van ellátva, a másikban viszont hűtés nélkül alkalmazzák. Ez a vizsgálat megmutatja, hogy a hőmérséklet növekedés eredménye a hatásfok romlása. A fény intenzitásának növekedése lineárisan növeli a napelem által leadott áramot, aminek a hatására a napelem hőmérséklete az átfolyó áramok négyzetével arányosan nő, ezáltal feszültség csökkenés következik be. A probléma megoldható, amennyiben a napelemeket hűtőberendezéssel látjuk el [5].

Zsiborács Henrik munkája az eddig még kevésbé ismert technológiát mutatja be, aminek keretein belül a napelemre vízpermetet juttatnak ki. Ebben a módszerben a víz elpárolgása hőt von el, ami hatására a napelem hőmérséklete csökken. Összehasonlító kísérletként a méréseket nem csak hűtött napelemeken végezték el, hanem hagyományos hűtés nélküli cellákkal is [6].

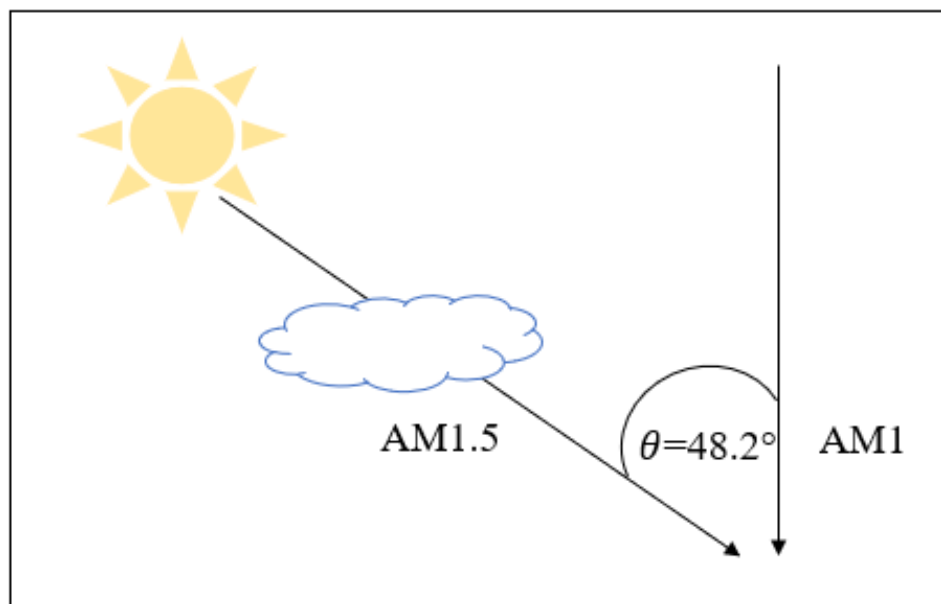
Hörömpöli Balázs, Dr. Rácz Ervin publikációjában monokristályos, polikristályos és festékérzékenyített napelemeket vizsgálatáról olvashatunk. A mérések kiértékelése során kiderült, hogy a kristályos napelemek karakterisztikája egyezést mutatott, míg ettől eltérő karakterisztikát rajzolt ki a DSSC, amely egyenletesebb, csúcs nélküli. Főbb különbséget valószínűsíthetően az optikai szűrő okozta, ami csökkentette a feszültséget, ami a festékérzékenyített napelemnél nem volt észrevehető [7].

Priyanka Singh, S.N. Singh, M.Lal, M.Husain által írt Temperature dependence of I–V characteristics and performance parameters of silicon solar cell című cikkben arról olvashatunk, hogy hogyan függ a napelemek üresjárási feszültsége és a görbéje a hőmérséklettől. A vizsgált hőmérsékleti tartomány 295-320 K. A maximális teljesítménypontnak megfelelő söntellenállás értékek szinte lineárisan csökkennek a hőmérséklettel. A sönt ellenállás feszültségtől való függése jelentős hatással van a görbére [8].

2.2 A nap működésének rövid bemutatása

A Nap egy fúziós reaktorként működik, ami másodpercenként 50 milliárd kWh energiát közöl a Föld irányába. Ez az energia magfúzió hatására jön létre, a hidrogén héliummá alakul. A Napot – bár nem az – kimeríthetetlen energiaforrásnak tekintjük a tömege miatt, hiszen a Föld súlyának 333 ezerszerese, ami a naprendszer 99,87%-ának felel meg és évmilliárdok óta szüntelen működik. Ennek ellenére a mai napig csak a hidrogén 28%-át használta fel. A Napból áramló energia elektromágneses hullám formájában kerül közlésre, ahol nincs szükség közvetítő közegre két test között. Nem a teljes közölt energia éri el a Föld felszínét, mert a beeső fény egy része visszaverődik és elnyelődik [2].

A napelemet érő fény szabványosítására bevezették az AM (air-mass) fogalmát. Az AM0 a légkörben még nem gyengített spektrumot jelöli, míg az AM1 a légkörön merőleges beesés mellett egyszeresen átjutott (tiszta égbolt esetén, tengerszint magasságában mérve) spektrumot mutatja. Az m értékét az $m = \sec\theta$ definíció adja, ahol θ a normálissal bezárt szög. Az AM1 a $\theta = 0^\circ$, az AM1.5 a $\theta = 48.2^\circ$ -nak felel meg [2].



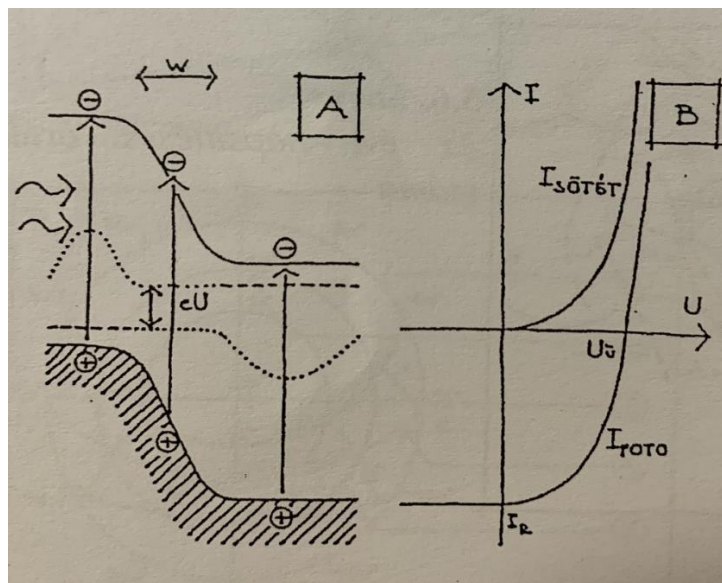
1. ábra AM definíció szemléltetése

Az 1. ábra az AM definíciót szemlélteti, ahol az AM1 a Föld felszínnel merőlegesen beeső fényt szemlélteti, míg az AM1,5 a Föld felszín merőlegesével 48,2 fokos szöget bezáró beeső fényt mutatja.

2.3 Napelemek villamos paramétereinek általános bemutatása

A napelem az úgynevezett fotovoltaiikus eszköz a napsugárzás energiáját közvetlenül elektromos energiává alakítja. A napelemeket alapanyag szerint csoportosíthatjuk. Más csoportosítási mód is alkalmazható, de az áttanulmányozott irodalmak alapján ez mutatkozott a legelterjedtebbnek. A napelemek közül a legelterjedtebb a hagyományos szilícium (Si) alapú napelem.

A szilícium alapú napelemtechnológiája régi múltra nyúl vissza, mert több mint 60 éve fejlesztették ki. A cellákban olyan fizikai folyamat játszódik le, amely során a foton-szilárd test közötti kölcsönhatás alapján töltéshordozók keletkeznek a félvezető anyagban. Az abszorbált foton a kristály vegyértékelektronjait gerjeszti, ami, ha elég erős, akkor egy elektront a vegyérték sávból a vezetési sávba vezet. Ehhez szükséges, hogy a foton energiája meghaladja a tiltott sáv szélességét. Így létre jön a vezetési sávban egy mozgásra képes elektron, valamint egy lyuk a vegyérték sávban. A rekombináció elkerülése végett a töltéshordozók szétválasztásra kerülnek egy a felület közelében lévő p-n átmenet segítségével. Így kerül az elektron az n-réteg, a lyukak pedig a p-réteg irányába. Ahhoz, hogy a rendszer elektromos generátorként tudjon viselkedni a cella két oldalához kivezetéseket kell kapcsolnunk, ahol a szétválasztott elektronok és lyukak összegyűjthetők [9], [10], [11]].



2. ábra A: Egyszerű pn-átmenet sávábrája fotogerjesztéssel, B: Az átmenet áram-feszültség karakterisztikája sötétben és megvilágítva [2]

A napelemeknél, akár a galvánelemeknél rövidzárási áram és üresjárási feszültség villamos paraméterek jellemzőek, amiket kis belső ellenállású árammérő és nagy belső ellenállású feszültségmérő segítségével tudunk mérni. A napelemek sarkára R ellenállást kapcsolva az $U_{\bar{u}}$ -nél (üresjárási feszültség) kisebb U feszültséget mérhetünk. Ezáltal csökken az elektromos tér töltéshordozó és szétválasztó hatása. Mindemellett az I fotoáram csökken az I rövidzárási áramhoz viszonyítva. A sötétáram és a fotoáram különbsége adja az átmenet eredő áramát, amelyet az (1) egyenlet szemléltet [2].

$$I = I_s \left[\exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right] - I_{ph} \quad (1)$$

I_s : telített áramsűrűség

I_{ph} : fotoáram

I: eredőáram

U: feszültség

k: Boltzmann-állandó

T: abszolút hőmérséklet

A fenti egyenletből $U=0$, illetve $I=0$ helyettesítéssel megkapható a rövidzárási áram és az üresjárási feszültség. A rövidzárási áram és az átmenet fotoárama ugyanaz.

$$U_{\bar{u}} = \frac{kT}{e} \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_s} + 1\right) = U_T \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_s} + 1\right) \quad (2)$$

k: Boltzmann állandó

T: abszolút hőmérséklet

I_{ph} : fotoáram

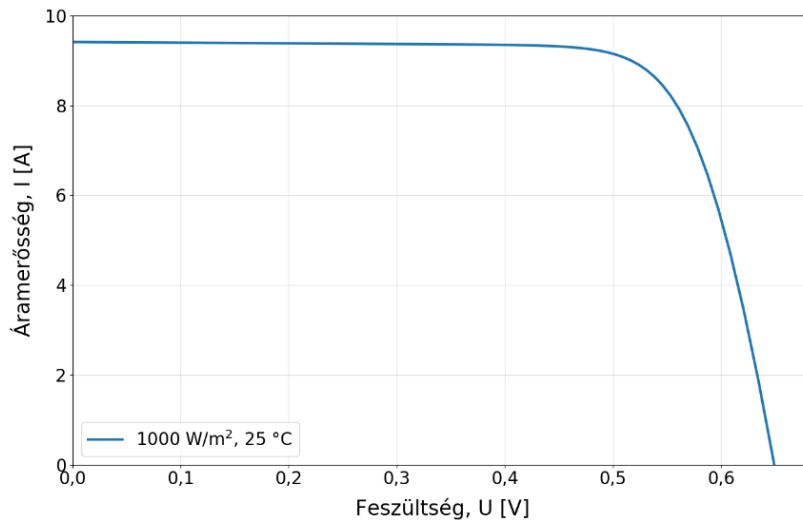
I_s : telített áramsűrűség

U_T : termikus feszültség

A fotoáram és a megvilágítás erőssége egyenesen arányos, a fotofeszültség logaritmikusan függ tőle. Az üresjárási feszültség I_s csökkentésével növekszik [2].

A mozgó alkatrészek hiányából fakadóan súrlódási hő és kopás nem keletkezik, ami a napelem berendezés egyik legfőbb előnye. Ezen pozitív tulajdonságnak következtében hang kibocsátás nem tapasztalható, karbantartása minimális, ellenben megbízhatósága és élettartama magas.

Számos előny mellett azonban beszélnünk kell némi hátrányról, ami közül legfőbb probléma, hogy szakaszos üzemű, tehát a működése időjárásfüggő, valamint korlátozottan szabályozható. Jellemző a napelemes rendszerekre az alacsony teljesítménysűrűség, ami költséges kezdeti beruházási költségekkel jár. Ezen kívül a napelem modulok hatásfoka viszonylag alacsony összehasonlítva más megújuló energia rendszerek hatásfokával [12]. Az üresjárási feszültség és a rövidzárási áram mellett fontos megemlíteni a napelem villamos áram-feszültség karakterisztikáját is, amelyet a 3. ábra szemléltet. Az ábrán a vízszintes tengelyen a villamos feszültség, a függőleges tengelyen a villamos áram található.



3. ábra Napelem villamos áram-feszültség karakterisztikája 1000W/m² beeső fényintenzitás és 25°C-os panel hőmérséklet esetén [15]

A napelem áram-feszültség karakterisztikája a következő matematikai kifejezéssel adható meg:

$$I = I_{PH} - I_0 \left(e^{\frac{V + I \cdot R_s}{V_T}} - 1 \right) - \frac{V + I \cdot R_s}{R_p} \quad (3)$$

Ahol:

I_{PH} – keltett fotoáram

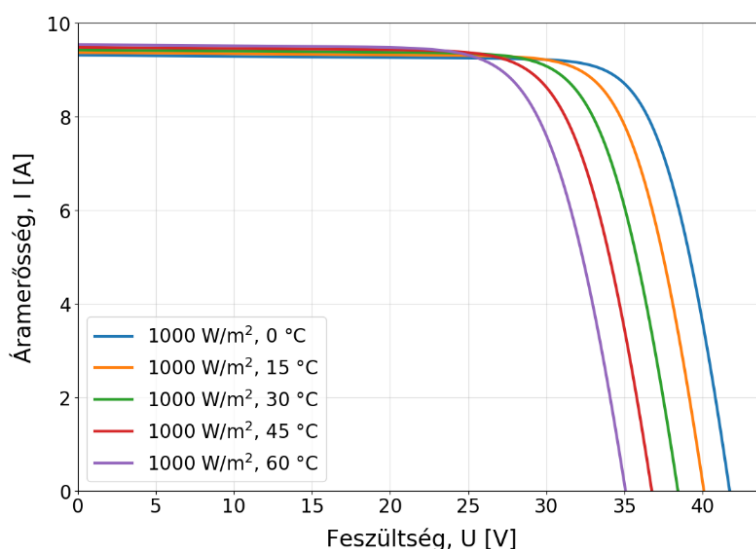
I_0 – telítési áram

V_T – termikus feszültség

R_s – soros ellenállás

R_p – sönt ellenállás

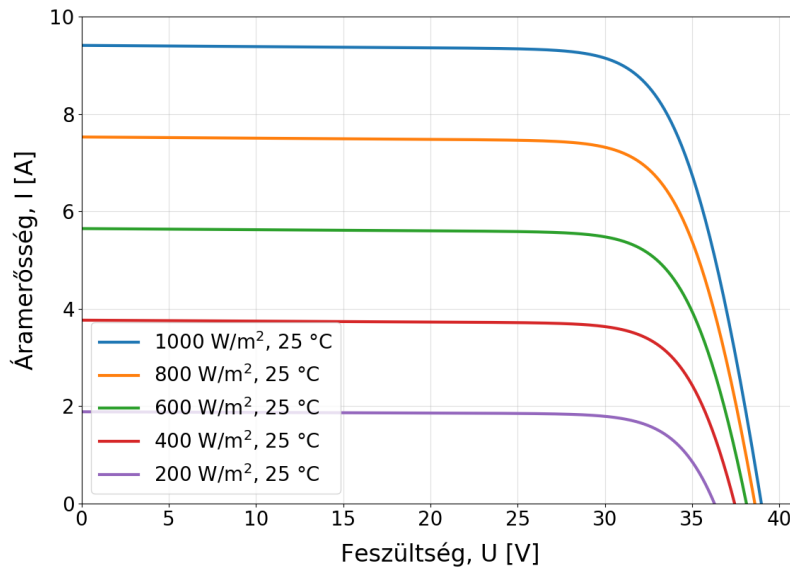
A soros ellenállás az érintkezési és egyéb ellátásokat tartalmazza, a sönt ellenállás pedig leírja a diffúziós veszteséget és a töltés rekombinációt az elem belsejében [10].



4. ábra A napelem villamos áram-villamos feszültség karakterisztika hőmérséklet függése azonos megvilágítási fényviszonyok (azonos fényintenzitás) esetén [15]

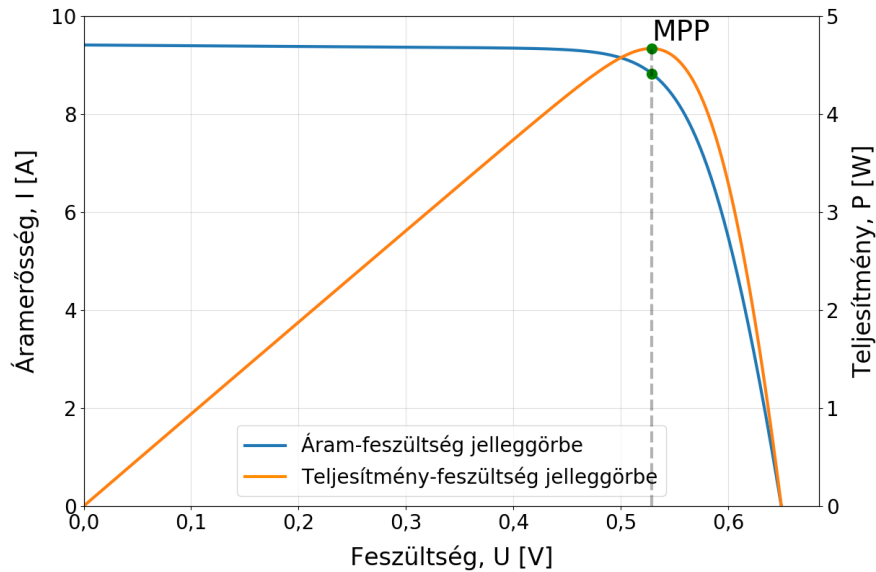
A 4. ábra szemlélteti a napelem villamos áram-villamos feszültség karakterisztika hőmérséklet függése azonos megvilágítási fényviszonyok (azonos fényintenzitás) esetén. Az vízszintes tengelyen található a villamos feszültség a függőleges tengelyen pedig a villamos áramerősség. A hőmérséklet növekedés hatására az üresjárási feszültség értékek csökkennek. Ahogyan az ábra mutatja a rövidzárási áram nem függ a napelem cella hőmérsékletétől.

Megemlíthető még a felületnek a tisztasága, a megvilágító fénynek az erőssége, illetve a megfelelő munkapont megválasztása. A modul hőmérsékletének növekedésével a villamos rövidzárási áram értékek is nőnek, mert a diffúziós állandó értéke és a töltéshordozók élettartama nő, amely a diffúziós hossz növekedésével jár. A termikusan generált kisebbségi töltéshordozók nagyobb koncentrációja miatt az I_s telítési árama olyan szinten megemelkedik, hogy az elérhető kimeneti feszültségek csökkenése lerontja a teljesítményt és a hatásfokot [13].



5. ábra A napelem villamos áram-villamos feszültség karakterisztika besugárzás függése azonos hőmérséklet esetén [15]

A hőmérséklet mellett a beeső fény intenzitása is befolyásolja a napelem panelek villamos paramétereit (például: I-U karakterisztika, villamos teljesítmény). A napból érkező fény mennyisége befolyásolja, ami az átlagos Föld-Nap távolság mellett a Föld légkörén kívül a sugárzásra merőleges felületen 1353 W/m^2 . A sugárzás egy része elnyelődik vagy visszaverődik, ezt az időjárási viszonyok, mint a páratartalom, illetve a felhősödés jelentős mértékben befolyásolja, amíg tiszta időben 1000 W/m^2 körülbelül a földre érkező sugárzás, addig felhős időben ez jelentős mértékben lecsökken, akár 200 W/m^2 -re. A besugárzás a napelemek rövidzárási áramát egyenes arányba befolyásolja, míg feszültség esetén kisebb mértékű változást okoz, jelentős változást csak nagyon alacsony sugárzás mellett láthatunk [10], [14].



6. ábra: A napelem villamos áram-villamos feszültség karakterisztikája és a napelem villamos feszültség-teljesítmény karakterisztikája [15]

A 6. ábrán a napelem villamos áram-villamos feszültség karakterisztikája és a napelem villamos feszültség-teljesítmény karakterisztikája látható. Ahol a feszültség és az áramerősség is magas értéken van ott találjuk a napelem maximális teljesítményét (angolul: Maximum Power Point, rövidítve MPP, amely az angol kifejezésből alakult mozaik szó). A napelem működésének az egyik kedvező feltétele, ha a maximális teljesítmény közelében tudjuk működtetni. Például a napelemre kapcsolt ellenállás értékét úgy célszerű megválasztani, hogy metsze a napelem jelleggörbéjét a munkapontban [15].

2.4 Épületbe integrált fotovoltaikus megoldások

Az építészetben a jövőben fontos irányzat a napelemek felhasználásának az épületbe integrált megoldások. Ez évek óta önálló irányzata a napelemek fejlesztésének. A napelemek árnyékoló, dekorációs céllal, többnyire üveg helyett kerülnek beépítésre, jellemzően félig átlátszó megoldásokkal. Ezek a napelemek mai viszonyban a hagyományos szilícium alapú napelemek többszörösébe kerülnek, mivel ezek egyedi kis szériás megoldások, éppen ezért alkalmazásuk nagyon ritka.



7. ábra Napelemes tetőfedés [17]

A tetőbe integrált vagy tetőfedés helyettesítő napelemes megoldás az egyik legelterjedtebb, mivel ez lehet akár zsindegy, cserégy vagy komplett tetőfedés helyettesítésére is alkalmazni. Ezek a megoldások, ahogyan már az előbbi bekezdésben említettem a hagyományos napelemekhez képest általában kétszer-háromszor többbe kerülnek, még ha leszámítjuk a kiváltott cserégy és tetőfedés árát. Ennek okáért ezeket nagyon ritkán alkalmazzák, általában csak bemutató vagy reprezentatív célból készül, ahol a gazdaságosság és a megtérülés nem fő szempont. Az épületbe integrált fotovoltaikus megoldások és a tetőbe integrált megoldások egyelőre 1 % alatti részesedést jelentenek a világ napelemes piacán. Igaz, hogy építészetiileg érdekes megoldás, viszont csak 10-15 év múlva lesz jelentősebb részesedésük, amennyiben ezek a megoldások a hagyományos építőanyag áraival is versenyképesek lesznek [16].



8. ábra Napelemes cserégy, zsindegy, komplett tetőfedés [17]

Az építészetben használt megoldások egyike a tetőcserép használat mellett, például a napelemes korlát használata, ami a 9. ábra 1. képen látható, ami amellett, hogy biztonságot nyújt, mint egy hagyományos korlát, mellette még energiatermelő szerepet is betölt.

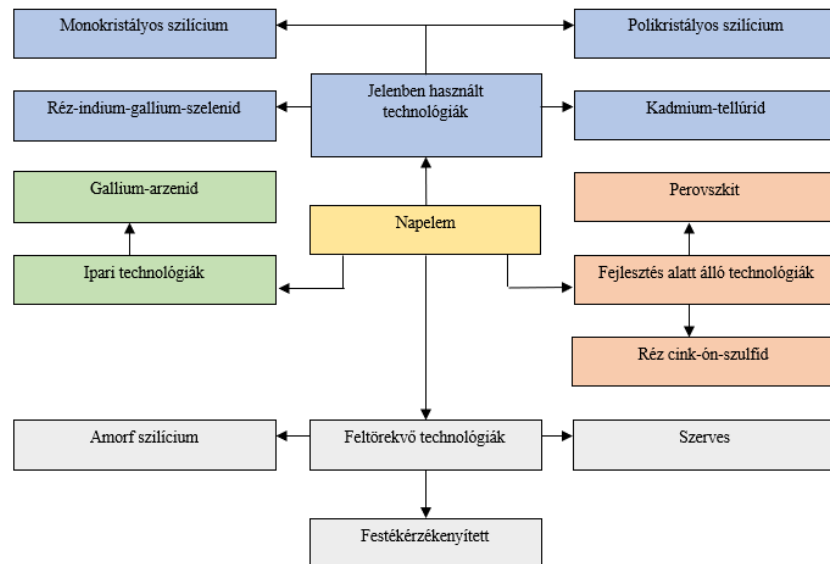


9. ábra (1) Napelemes korlát [32], (2) Napelem használata üvegfalként [33]

Üvegtetők és üvegezett homlokzat esetén is használhatunk napelemeket, ehhez egy vagy több rétegű üvegeket kombinálnak napelemmel, amelyeknél a napelemmodulok rögzíthetők bordás, pontmegfogásos és strukturális rendszer esetén is egyaránt. Ezeknek a szerkezeteknek nagy előnye, hogy egyszerre valósítják meg a természetes megvilágítást, az árnyékolást és az energiatermelés hármas egységét. A nyári hőterhelés csökkentése miatt a tetőfelületek esetén az árnyékoló hatás nagyon kedvező, viszont a homlokzaton a cellák a raszterüktől és a kialakítás módjuktól függően zavarhatják a kitekintést és a környezettel való kapcsolatot. A zavaró hatás elkerülése érdekében több lehetséges irányzat kialakult. Az egyik lehetőség az az úgynevezett „cutting” technológiával kialakított, egyedi mintára, raszterre kivágott elektronikus vezető LOW-E bevonat, amivel a betekintés csökkenthető és az árnyékolás úgy jön létre, hogy a környezettel való vizuális kapcsolat is megmaradjon. A másik megoldásnak a vékonytechnológiával létrehozott színezett vagy akár áttetsző napelemes üvegek jelentik, amelyeknek ma már 10-30%-os a fényáteresztő képessége. Ezek az új technológiák hatalmas lehetőségeket nyitnak meg mind üvegtetők, mind nyílászárók, üvegfalak, függönyfalak esetén, ahol már a magasházak homlokzatai is naperőművé válhatnak komolyabb építészeti kompromisszumok nélkül [17].

2.5 Napelemek osztályozása

A 10. ábrán a napelemek csoportosítása látható technológiai szempontból. Ilyen technológia szempont a jelenleg használt technológiájú napelem, ipari technológia, fejlesztés alatt álló technológia és feltörekvő technológia. Jelenleg használt technológiák közé sorolható a monokristályos napelem, réz-indium-gallium-szelenid, illetve a kadmium tellurid. Ipar esetén a gallium arzenid napelemet használják. Fejlesztés alatt áll a perovszkit illetve a réz cink-ón-szulfid napelem. A feltörekvő technológiák közé tartozik a festékképzékenyített napelem, illetve a szerves és az amorf szilícium napelem. A fejezet következő pontjában a 10. ábrán látható napelem típusokat fogom részletesebben bemutatni.



10. ábra Különböző napelem technológiák

2.5.1 Szilícium alapú napelemek

Az első típus, amit beszeretnék mutatni ebben a fejezetben az a kristályos szilícium alapú napelem, amelynek két fajtája van: mono- és polikristályos szilícium napelem. Az egyik a monokristályos szilícium napelem, ami az első generációba tartozik. A kerek szilíciumkristályokat Czochralski eljárással növesztik a szilícium olvadékból úgy, hogy egy kristálymagból kiindulva az kristálymagot kihúzza növesztik a kristályt a forgó olvadékból. A kristályok 30 centiméter átmérőjűek és egy méter hosszúak. Ezeket a kerek kristályokat legelőször négyzetes oszlop alakúra vágják, majd körülbelül 0,3 mm vastagra szeletelik. Az esetek többségében a kiindulási szelet típusú szennyezés 1-10 Ohm*cm. A legfontosabb lépés

a technológiában az n típusú réteg diffúziója egy foszfor forrásból. A további lépések pedig a hátsó fémkontaktus felhelyezése, a tükröződés elleni réteg és az előlapi kontaktusok kialakítása. A szilícium napelem másik fajtája a polikristályos napelem, ahol az olvadt szilíciumot lehűtik és durva szemcsés szerkezetbe, vagyis kristályszerkezetbe kristályosodik ki. A szerkezeten belül millimétertől-centiméterig terjedő egykristályok vannak egymás mellett. Az kristályosításra olvasztótégelyeket alkalmaznak. A polikristályos eljárásnál is a tömböt négyzetes oszlopokra vágják, majd 0,3 mm vastagra szeletelik. A vágás, illetve szerelés során az anyag körülbelül az 50% hulladékká válik [10].

2.5.2 Réz-indium-gallium-szelenid napelem

Manapság egyre nagyobb teret nyer a réz-indium-gallium-szelenid típusú napelemek. Az említett napelem pozitív tulajdonsága, hogy maga a napelemcella vékony és nagyon kedvező ára van. Hatékonysága átlagosnak mondható, körülbelül 15-18% [18].

2.5.3 Kadmium-tellurid napelem

A Mengyelejev féle periódusos rendszer II-VI csoportjának elemeiből álló napelem. Lakossági felhasználásban a jelenléte nem számottevő, inkább az iparban kap nagyobb figyelmet. A kadmium telluridot néhány μm vastagságú polikristályos réteg formájában ülepítik. A kadmium-tellurid napelem egy heteroátmenet a CdTe és egy nagyon vékony CdS réteg között. A CdTe szerkezetéből adódóan átlagosnál könnyebben bomlik, ezért különleges szerszámmal igényel a darabolása, ami általában gyémánt [10].

2.5.4 Gallium-arzenid napelem napelem

Ez a típusú napelem a nap által kibocsátott fény spektrumának elnyeléséhez ideális sávszélességű félvezetőket tartalmaz. A Mengyelejev féle periódusos rendszer III-V csoportjának elemei akár ötvözhetőek is, így több sávszélesség is elérhetővé válik. Abszorpciós együttható nagysága miatt ezen csoport elemeiből készült napelem ténylegesen vékonyréteg elemek. Jó minőségű rétegek előállítása az úgynevezett epitaxiális eljárással készül, kizárólag GaAs vagy germánium egykristályos hordozórétegen. Ennek a fajta napelemnek nagy előnye, hogy az egyrétegű napelemek között kimagasló hatásfokkal rendelkezik. A rendkívül magas

előállítási költségek miatt nem elterjedtek, használata kizárólag üreszközökben vagy koncentrátoros rendszerekben rentábilisak [10].

2.5.5 Perovszkit napelem

A perovszkit technológiájú cellák a perovszkit kristályszerkezet nevéből fakad. Ez a típusú cella szerves fém-halogeniden alapszik. Viszonylag régóta ismert technológia, amelynek már akkor is számos előnyét fedezték fel, mint például a magas abszorbeálási képesség, fényelnyelés képesség vagy az alacsony előállítási költség. Vastagsága a szilícium napelemhez képest 10^{-3} -szorosa, viszont a hatásfoka alacsonyabb [19].

2.5.6 Réz-cink-ón-szulfid napelem

A réz-cink-ón-szulfid napelem napelem a vékony film típusúak következő generációja, amelynek a fényelnyelő képesség kiváló a jó abszorpciós együtthatónak köszönhetően. Könnyen hozzáférhető elemekkel rendelkezik, aminek következménye az egyszerű előállítás. Mellette szóló érvek közé tartozik, hogy a gyártásánál felhasznált anyagok emberi szervezetre gyakorolt hatása nem káros, környezetbarát. A gyártási költsége alacsony [20].

2.5.7 Amorf szilícium napelem

Ebben az esetben más napelemekkel ellentétben olcsón hozzáférhető hordozó anyagot, nátron üveget használnak, amit szilíciummal borítanak be. Az amorf szilíciumot szilán gázból (SiH_4) plazmaülepítéssel készítik, alacsony hőmérsékleten. Itt nagy mennyiségben kerül be hidrogén, amivel javul az anyag minősége. Mivel magas az abszorpciós együtthatója, mindössze 1-2 μm vastag amorf szilícium elégséges. Az így kialakuló réteg semleges, de a reaktorgázhoz bór, illetve foszfor hozzáadásával p- és n- típusúvá tehető [10].

2.5.8 Festékérzékenyített napelem

A Grätzel-cellát, másnéven festékérzékenyített napelem cella technológiája nagyon egyszerű. A működéséhez szükséges egy ruténium alapú festékanyagra, mely optikailag gerjeszthető. Transzparens vezetőoxiddal (Transparent Conductive Oxide, TCO) ellátott üvegre visznek fel porózus TiO_2 -ot, amelyre további fényelnyelő (fényt abszorbeálni képes) képességű festékeket visznek fel. Az áramkört a jodid-alapú elektrolit és az azt befedő szintén TCO-dal borított üveg zárja [2].

2.5.9 Szerves napelem

A szerves fotovoltaiikus napelemek (OPV) nevüket onnan kapták, hogy az alkotóelemeik a szénelalapú anyagok. Mivel könnyűek, rugalmasak, félig átlátszóak, ezért üvegházaknál előszeretettel alkalmazzák, ezzel is csökkentve az ökológiai lábnyomot. Ez a napelem sokkal inkább környezetbarát, mint egy hagyományos szilícium alapú napelem, viszont elterjedését az alacsony hatásfok gátolja [21].

2.5.10 Napelem cellák hatásfoka

A következő ábrán látható diagram szemlélteti a különböző napelem technológiák hatásfokát. A hatásfok azt mutatja meg, hogy a napsütést milyen hatékonysággal alakítja át elektromos energiává. Vagyis, hogy adott felületen a napelem hány Watt energiát tud termelni.

$$\eta = \frac{V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF}{P_{in}} \quad (4)$$

ahol:

V_{oc} : üresjárási feszültség [V]

I_{sc} : rövidzárási áram [A]

FF: kitöltési tényező

P_{in} : a besugárzás intenzitása (W/m^2),



11. ábra Különböző napelem cellák hatásfoka [22].

2.6 Vizsgált napelem cellák bemutatása

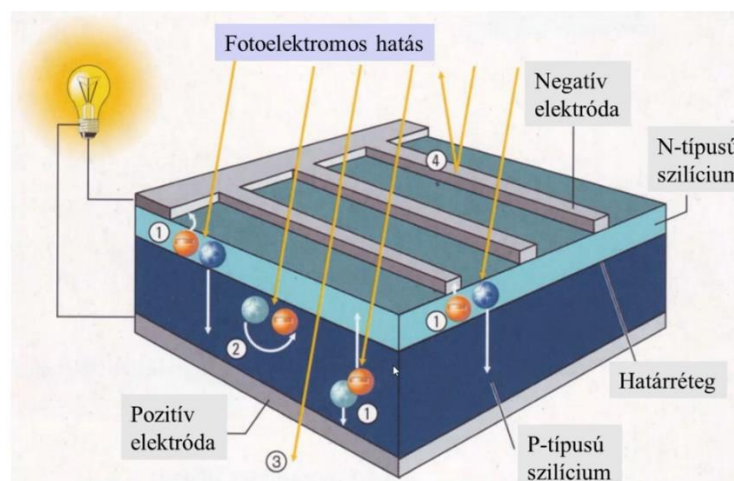
Ebben a fejezetben az általam vizsgált napelemeket bemutatom, illetve részletesen kitérek azok működésére. A következő napelemeket vizsgáltam: szilícium alapú mono- és polikristályos napelemet, illetve a festékérzékenyített napelemet.

2.6.1 Szilícium alapú napelem

A szilícium, mint nyersanyag a Földön a 3. leggyakrabban előforduló elem az oxigén és a hidrogén után. A periódusos rendszerben a rendszáma 14. Egy félfémes elem, a földkéreg tömegének 27,72 m/m%-át teszi ki. Habár, a Földön minden 6. atom szilícium, a természetben mégsem fordul elő elemi állapotban, kizárólag oxigénnel, illetve egyéb elemekkel találjuk, mint a kvarc és a szilikátok esetén is. 1985-ben 20%-os hatásfokot sikerült elérni szilícium alapú napelemekkel, ami az egyik legfontosabb mérföldkő volt a technikai fejlődésükben [23].

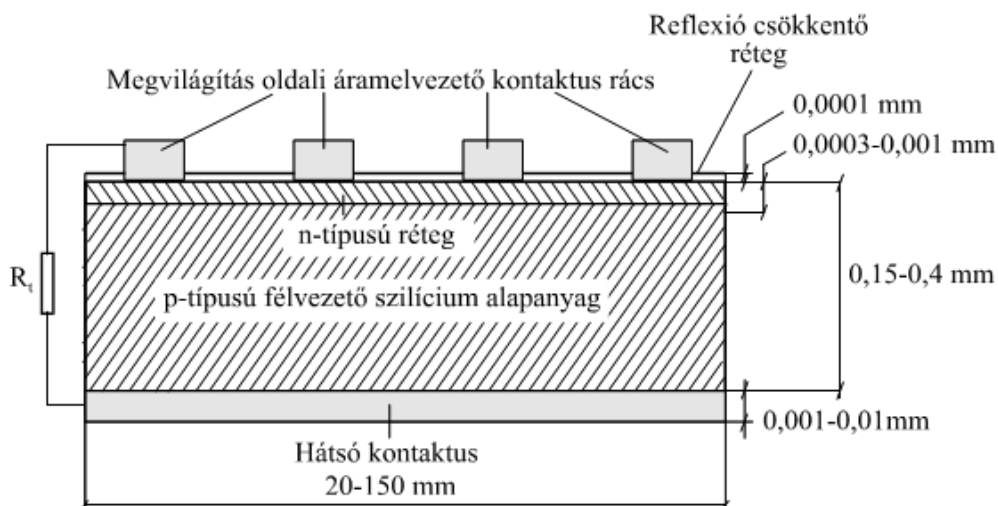
A napelem segítségével a Napból a Földre érkező elektromágneses sugárzást átalakítjuk villamos energiává. Az említett villamosenergia termelés leegyszerűsítve három egymást követő lépéssorozatra, amelyek: fényelnyelés, a töltések szétválasztása, a felhalmozott töltések továbbítása külső áramkörbe.

A 12. ábrán látható a hagyományos szilícium alapú napelem cella sematikus ábrája, megjelölve a fontosabb cella egységekkkel.



12. ábra Hagyományos szilícium napelem sematikus ábrája [34]

1. Fényelnyelés: más néven abszorpció, amely esetén a gerjesztett állapotú elektron a vezetési sávba kerül, amíg a lyuk a vegyérték sávba. A tiszta félvezetők rendkívül nagy abszorpciós tényezővel rendelkeznek, az abszorpciós sávjukban.
2. Töltésszétválasztás: A félvezető réteg belsejében az elektronok és lyukak szétválnak a pn átmenetben.
3. Töltésvezetés: A napelem két oldala között a töltésszétválasztás miatt potenciál különbség lép fel. A töltések elvezetését kontaktusok kialakításával lehet megoldani. A minél kisebb veszteségek elérésének érdekében a kontaktusok ellenállásának nagyon kicsinek kell lenni. A megfelelő fényelnyelő réteg a kimenő villamos teljesítmény optimális értékének eléréséhez szükséges fény frekvenciájától függően [24].



13. ábra A szilícium alapú napelem elvi felépítése, méretek megjelölésével [9]

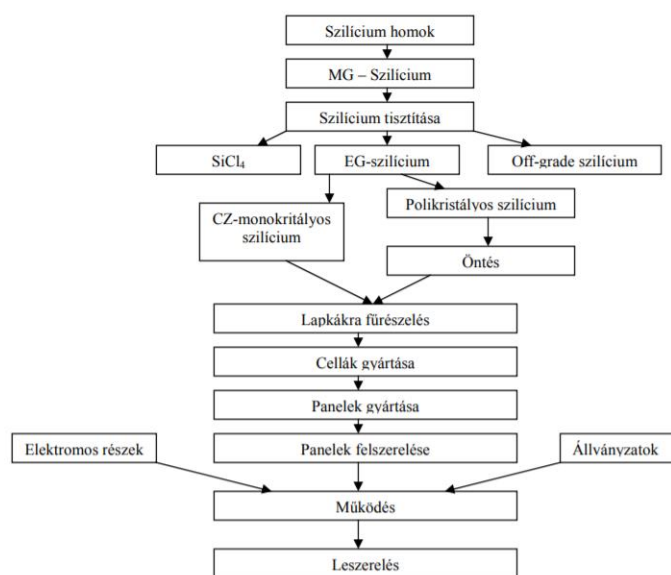
A napelem részegységei a következők:

- felső oldalon megtalálható áramelvezető kontaktusrács 0,0001 mm
- reflexiót csökkentő réteg 0,0003-0,001 mm
- töltésszétválasztó réteg 0,15-0,4 mm
- alapanyagréteg 0,001-0,01 mm
- alsó (hátsó) áramelvezető kontaktus 20-150 mm [10].

A kristályos szilícium alapú napelemek és a legtöbb félvezetőeszköz szeleten, úgynevezett „waferen” készül. Mivel a szilícium a természetben oxigénnel együtt fordul elő, ezért szükséges

a szétválasztásuk. Ezt az eljárást 1780°C-on ívkemencében szénnel redukálva valósítják meg. A tisztítása 300°C-on megy végbe sósavgázzal reagáltatva desztillációval.

A kristályos Si-öntecset két féle módon készíthetik. Vagy olvadék Si-ból oltókristály segítségével húzzák Czochralski, vagy polikristályos Si-rúdból függőzónás eljárással. A szétválasztáskor, kristályhúzás során az anyag tovább tisztul. Az öntecshez különböző adalékokat megfelelő mennyiségben adnak, hogy ezzel növeljék az öntecs minőségét. Az ingotok átmérője 4" – 12" (10,2 – 30,6 cm), hossza körülbelül 1 m. Gyémántvágó segítségével 1 mm vastagságúra szeletelik az öntecseket, majd ezután polírozással készülnek el a 300 – 600 μm vastag szeletek. A polikristályos szeletek előállítása esetén kikerüljük a kristályhúzást. Az elektronikai tisztaságú anyagot négyszögletű grafitedénybe öntik és kikristályosítják szabályozott hűtés mellett. A polikristályos szeletek előállítása egyszerűbb. Ennek az edénynek a mérete 30 cm x 30 cm. A kristálymérete a megszilárdult polikristályos anyagban néhány mm-től cm-es nagyságrendű lehet. Az előző módszerhez hasonlóan vékonyra szeletelik a nagy felületű darabokat. A mono- és polikristályos szilíciumhoz egyaránt félvezető homopoláris átmenetet alakítanak ki foszfornak (n-típusú adalékanyaggal) bórral (p-típusú adalékanyaggal) adalékolt szilícium lap felületén történő szétosztatásával. A pn-átmenet és az adalékolás általában diffúzióval történik termikus energia segítségével. A napelem érintkezői szitanyomással készülnek. Abszorpció és áramfelvétel céljából lézerrel mart rácsos érintkezős monokristályos e-szilíciumot alkalmaznak a hatékonyság maximalizálása érdekében. Antireflexiós réteggént, valamint szigetelőként oxidációs réteget hoznak létre, ami történhet hő általi oxidációval, anódos oxidációval, gázfázisból történő kémiai leválasztással vagy katódporlasztással. A leggyakrabban a száraz és nedves termikus oxidnövesztést használják, ami egy oxidáló kályhában 900 – 1200 °C-on történik. Ezt az oxidált felületet 450 °C-on hőkezelik formálógázban, így a felületi állapotok nagy mértékben lecsökkennek. A kapcsolatot a környezettel a fémzés hozza létre, ami lehet ohmos-jellegű vagy Schottky-átmenet. A fémét a félvezetőre vákuumpárologtatással, porlasztással, CVD eljárással lehet felvinni [2] [10].

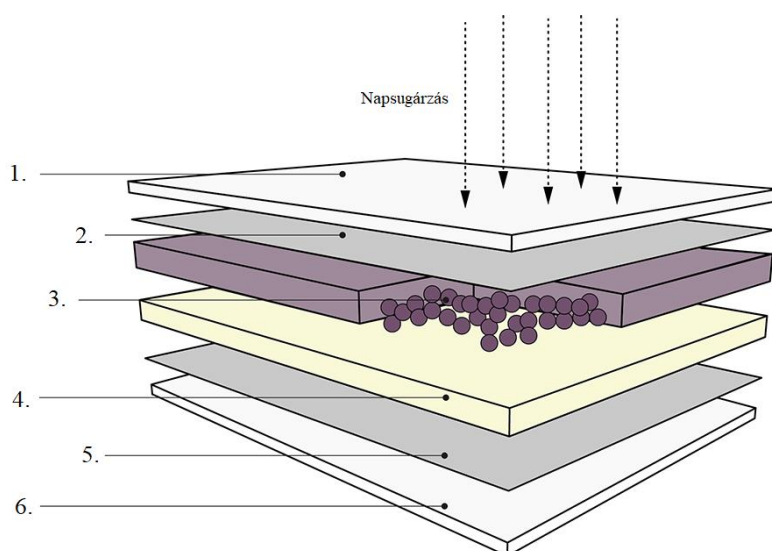


14. ábra Napelem gyártás főbb lépései [35]

2.6.2 Festékérzékenyített napelem

A festékérzékenyített napelemek (angolul: Dye Sensitized Solar Cell, rövidítve DSSC) a szilícium napelem technológiával ellentétben manapság még kevésbé elterjedt, bár nagyon ígéretes és gazdaságilag is kedvező. A DSSC egy nanostruktúrált fotoelektrokémiai eszköz, amely egy porózus titán -dioxid (TiO_2) filmből áll, és látható fényre érzékeny egyrétegű festékekkel van bevonva. A festék szerepe a napelemen a fényelnyelés és az elektromos áram előállítása. Ez a hatás a növényekben lejátszódó fotoszintézishez hasonlít, ezért gyakran szintetikus fotoszintézisnek nevezik. A DSSC napelemek alkotóelemei más technológiákhoz képest olcsóak és nagy mennyiségben hozzáférhetők. Az előállítása kevésbé költséges és viszonylag egyszerű. A napelemek lehetnek különböző színűek vagy akár átlátszóak is, súlyuk nem számottevő, felülete rugalmas [25].

A DSSC felépítése a következő ábrán látható:

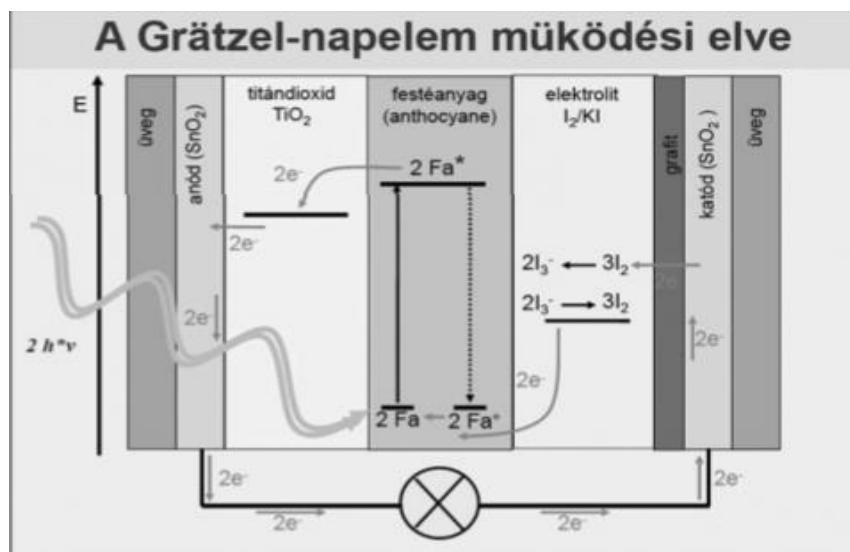


15. ábra A festékérzékenyített napelem cella felépítése [25]

Ahol:

- 1: üveghordozó
- 2: átlátszó félvezető oxid, TCO (transparent conducting oxide)
- 3: vékony TiO_2 réteg
- 4: a TiO_2 felületére abszorbeált festékmolekulák
- 5: elektrolit
- 6: TCO
- 7: platina-fémezés (Pt) [25].

A nagy felületű porózus TiO_2 -ot fedő festék, ami pár μm vastag, nyeli el a beérkező elektromágneses sugárzást. A festékréteg csak pár μm vastag. A felület több, mint ezerszerese a sima felületnek, ezért az abszorpció szinte teljes. A gerjesztés hatására az elektronok aktiválódnak a festékben. Ez az energiaállapot magasabban van, mint a TiO_2 vezetési sávja. Az elektronok a festék gerjesztett sávjából a TiO_2 vezetési sávjába injektálódnak. A gerjesztett elektronok hasznosulásához az injektálódásnak gyorsabban kell létre jönnie, mint a festékben kialakuló rekombinációnak. A mai Grätzel-cellának az injektálódás mértéke 90% [26].



16. ábra A festékkézenyített napelem működési elve [26]

A nagy belső felületű nanokristályos, porózus TiO_2 rétegben helyezkednek el a festékmolekulák. A Nap által kibocsátott fotonok abszorpciójakor a festékmolekulák elektronjai egy magasabb energiaszintre kerülnek és onnan TiO_2 rétegbe injektálódnak. A TiO_2 -mátrix elektrolittal, ami egy jodid/trijodid oldattal töltött pórusai minimum egy redoxaktív ionpárt alkalmaznak. Az oxidált festékmolekulát a jodid az elektrontranszferálás útján alap állapotába redukálja, ameddig önmaga trijodiddá oxidálódik. Míg a trijodid a hátsó elektródához diffundálódik, az elektronok is diffúzió hatására vándorolnak a TiO_2 -rétegen keresztül az első elektródához, miközben a fogyasztón át újra belépnek a cella hátsó elektródájához. Itt részt vesznek a redox reakciókban, ahol a trijodid átalakul jodiddá, vagyis regenerálódik. A DSSC és a hagyományos szilícium napelemek között működésbeli különbség, hogy itt a fotonok elnyelése és a létrejövő töltések elvezetése elkülönített funkcióként szerepel. A fotonoknak az elnyelését a festékanyag, a generált töltések elvezetését a félvezető réteg valósítja meg, míg a szilícium napelemek esetében ezen folyamatok az adalékolt félvezetőben

jönnek létre. Ezen típusú napelem technológia kiemelkedően fontos tulajdonsága és előnye más napelem technológiákkal szemben, hogy a hőmérséklet a hatásfokot nem befolyásolja. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy akár 20 °C, akár 60 °C esetén sincs működésbeli különbség, amíg szilícium napelem cella esetén akár 20%-kal is lecsökkenhet a teljesítménye. További előnye még a többi technológiával szemben, az alacsony károsanyag tartalom, a magas fényátersztő képesség, hiszen akár átlátszó is lehet a cella, vagy különböző színek közül is választható. A gyártási költségei alacsonyak, a felhasznált anyagoknak és az egyszerű gyártástechnológiának köszönhetően. A hatásfok egyenletességét segíti az, hogy a beesési szögre kevésbé érzékeny. A napelemek új fajta felhasználási módját is lehetővé teszik, mivel jó a fényátersztő képességük és az épületekbe integrálva korszerű, környezet- és felhasználóbarát építési elemként is szerepet játszanak. Az építészetben felhasználhatóak például energiatermelő tetőablakokként vagy rugalmas függönyként vagy akár membránként, amelyek ideiglenesen vagy vészhelyzetekben használhatók. Mivel még fejlesztési fázisban van ez a típusú napelem technológia, ezért még számos kihívással kell megküzdeni, annak érdekében, hogy kereskedelmi forgalomban nagyobb mértékben elérhetőek legyenek. A cellák alacsony stabilitása ellenére a konverziós hatékonysága folyamatosan javul és már összehasonlítható más PV technológiákkal. A cellák esetében alapvető elvárás, hogy stabilak legyenek az időjárási viszonyokkal szemben, mint a hőmérsékletingadozás, páratartalom változás, illetve a besugárzó fény intenzitásának mértéke [26], [27], [28].

Festékekkel érzékenyített napelem működési egyenlete a következőképpen írható le:

1. „A festékanyag elnyel egy beérkező fotont, és a kiindulási (S) állapotból gerjesztett (S*) állapotba kerül. A gerjesztett elektront a TiO₂ rétegbe juttatja, így összességében a folyamat során oxidálódik:



2. Az így leadott elektronok a TiO₂ vezetési sávjában a vezetőképes üveghordozó felé mozognak, azt elérve és a cellából kivezetve az ellenelektrodra jutnak vissza.
3. Az oxidált állapotú festékanyag I^-/I_3^- redox rendszer által redukálva visszakerül eredeti állapotába:



4. A I_3^- az ellenelektrodhoz diffundálva és ott redukálódva alakul vissza I^- -dá:



” [28].

3 Alkalmazott kutatásmódszertan

A tudományos kutatás fogalmát Gőcze Istvántól idézném:

„A tudomány, mint tevékenység céltudatos, szervezett es rendszerezett megismerés, alkalmazási es előrelátási mozzanatokot foglal magába, amelyek többnyire a tudománykutatás keretében testesülnek meg” [29].

Öt szakaszt különíthetünk el tudományos kutatás esetén. Minden egyes szakasz további feladatokat tartalmaz. Ezek mind egymásra épülnek, sorrendjük adott, nem felcserélhető, viszont szakaszokon belüli feladatok igen, többszörösen előforduló feladatok lehetnek különböző szakaszokban. A szakaszok végét valamilyen produktum elkészítése jelenti.

A tudományos kutatásom folyamatának szakaszai és főbb feladatai a következők:

1. Témaválasztás;
2. Előzetes tájékozódás;
3. Tervezés;
4. A kutatás lefolytatása
 - 4.1. Kutatási elővizsgálat;
 - 4.2. Adatgyűjtés;
 - 4.3. Adatfeldolgozás és -elemzés;
 - 4.4. Következtetések levonása, javaslattevél;
5. Az eredmények nyilvánossá tétele

A gyakorlatban különböző kutatási stratégiák alkalmazhatóak:

Kvalitatív kutatási stratégia esetén a probléma okait és az összefüggéseket kutatja. A kutatás alatt is változtatja a folyamatot, ezért kutatók kreativitási képessége meghatározó.

Kvantitatív stratégia, amit általában olyan témák kutatásában használnak, amely inkább valamilyen számértékhez köthető, és ezeket méréssel, teszteléssel, kísérlettel próbálják meg alátámasztani.

Az alábbi kutatási stratégiák közül a szakdolgozatom során fontos a számértékek, a mutatók, mérőszámok és az ezekből való következtetések levonása, tehát a kvantitatív stratégiába sorolható. Ezen belül kísérleti stratégia melyben a kutatók mindent pontosan ellenőriznek, kontrollálnak, nem a mennyiségre, hanem az adatok mélységére es minőségére koncentrálnak.

A tudományos kutatás folyamatát, módszereit, a szükséges eszközöket, idejét, meghatározza a kutatás jellege, ezért tudni kell ezek jellemzőit.

1.táblázat: A szakdolgozat tudományos kutatás elmélete és módszertana alapján különböző kategóriákba sorolása

Célja szerint		Kiindulási pont szerint	
<i>alap, fejlesztési, alkalmazott</i>		<i>hagyományos, akció</i>	
Rendeltetés szerint		A végrehajtás algoritmus szerint	
<i>elméletet megerősítő, elméletalkotó</i>		<i>tervvégrehajtáson alapuló, folyamat közben alakuló</i>	
Idődimenzió szerint	Adatforrások szerint	Jellege szerint	
<i>keresztmetszeti, logitudinális, koncentrikus</i>	<i>primer, szekunder, terciér</i>	<i>leíró, feltáró, ok-okozat elemző</i>	

A fenti táblázat, amely Dr. Hornyacsek Júlia A tudományos kutatás elmélete és módszertana munkája alapján különböző kategóriákba besoroltam, majd röviden ki is fejtettem az alábbi pontokba:

- Célja szerint: alkalmazott kutatás, amely konkrét tudás és módszerek megszerzésére irányuló kutatás, amely leginkább gyakorlatban használt.
- Kiindulási pont szerint: akciókutatás, mely során a helyzet értékelésével, majd egy adott akcióra rávilágítás kezdődik, a felmerült kérdésekre megjegyzéseket tesznek.
- Rendeltetés szerint: új elméletek megalkotása vagy meglévő elméletek hipotézisek bizonyítása vagy elvetése.
- A végrehajtás algoritmus szerint: előre eltervezett irány alapján kvantitatív jellegű kutatás.
- Idődimenzió szerint: keresztmetszeti kutatás, mivel egy adott időben vizsgál egy eseményt.
- Adatforrások szerint: primer kutatás információgyűjtésen alapul új adatok meghatározása, és azok értékelése történik.
- Jellege szerint: ok-okozat keresésre irányul a folyamatok okviszonyait vizsgálja. Célja, hogy megnevezze az okot és az okozatot, valamint azok viszonyát [29].

Dolgozatom célkitűzése: A dolgozatom célja, az Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar Villamosenergetikai Intézet Alternatív Energiaforrások Tudásközpontjában található napelem cellák hatásfokának megmérése a beeső fény intenzitásának függvényében. A cél eléréséhez először irodalomkutatást végeztem a napelemek tématerületén, majd ezt követően a kísérleteket megterveztem, amelynek a piszkozati részét lefolytattam. Ezekből újabb következtetések levonásával elvégeztem a kísérleteket. A kapott eredményeit értékeltem, ábrázoltam, majd ezekből következtetéseket vontam le.

4 Kísérleteim leírása

4.1 Kísérlethez használt eszközök

Ebben a részben a kísérleteimhez felhasznált eszközöket fogom bemutatni. A kísérleteimhez a spektrométert, napszimulátort, hőmérőt használtam. A következő alfejezetekben ezen eszközök technikai paramétereit fogom részletesebben kifejteni és bemutatni.

4.1.1 Spektrométer

A napszimulátorok fényintenzitás-hullámhossz spektrumainak mérésére Apogee PS-100 típusú spektrométert használtam, amely széles skálán 350-1000 nm hullámhossz tartományban képes mérni. A spektrométer a beeső fényt (az elektromágneses hullámokat) egy detektor, CCD kamera segítségével méri. A spektrométer az adatokat továbbítja optikai szálon keresztül továbbítja a célszámítógéphez, ahol a hozzátartozó szoftver segítségével megjeleníti a spektrumot [30].



17. ábra Apogee PS-100 spektrométer ábrája [36]

2.táblázat: Apogee PS-100 spektrométer paramétereit:

Hullámhossz érzékenység	350-1150 nm
Fényintenzitás kalibrációs tartományban	350-1000 nm
Hullámhossz felbontás	1 nm
Érzékelő típusa	CCD, 2048 pixel
Jel-zaj aránya	1000:1
Diffúz fény	<0,1 % 435 nm-en <0,5 % 600 nm-en
Kalibrációs bizonytalanság	±10 %
Üzemeltetési hőmérséklet	0 -60°C

4.1.2 Hőmérsékletmérő

A kísérleteim során egy Voltcraft K204 digitális négycsatornás hőmérőt alkalmaztam. Az említett hőmérsékletmérő széles hőmérsékleti tartományban dolgozik, -200 °C és $+1370\text{ °C}$ között, nagy mérési pontossággal. A készülékhez tartozik egy RS-232 nevezetű szoftver, amelyen keresztül számítógépen is olvashatóvá válnak az adatok az adatokat, illetve a hőmérséklet változást követhetjük az idő függvényében. Hosszútávú méréshez is alkalmas, mivel a készülék 16 000 mért érték adatát képes tárolni. Automatikus kikapcsolással rendelkezik, illetve átkapcsolási lehetőség van $^{\circ}\text{C}$ és $^{\circ}\text{F}$ között [31].



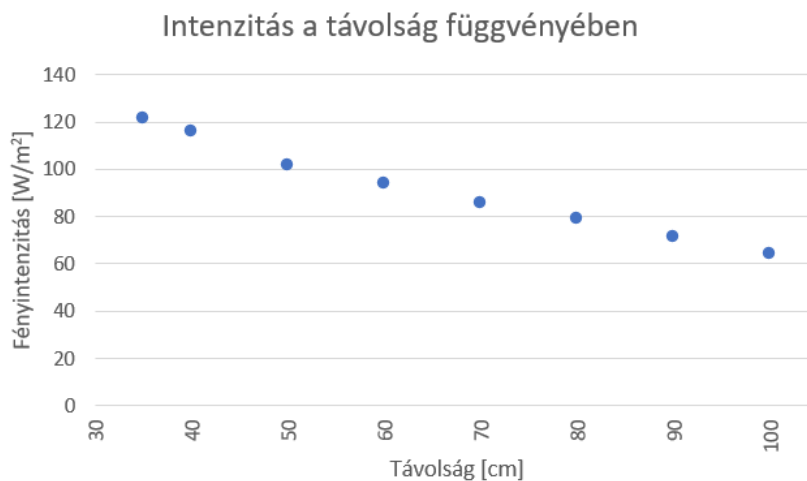
18. ábra Voltcraft K204 típusú digitális 4 csatornás hőmérő [37]

3.táblázat: A Voltcraft K204 digitális négy csatornás hőmérő adatlapja

Érzékelő típus	K
Kivitel	4 csatorna
Alappontosság	$\pm (0,3\%+1\text{ °C})$
Hőmérséklet felbontás	$0,1\text{ °C}$
Hőmérséklet maximum	$+1370\text{ °C}$
Hőmérséklet minimum	-200 °C

4.1.3 Álló napszimulátor

Az OE KVK VEI AET laboratóriumában található két darab napszimulátort összehasonlítottam. Mégpedig, megvizsgáltam a két napszimulátor által kibocsátott fény intenzitás értékeit. Elsőnek az álló napszimulátort vizsgáltam meg, annak intenzitás értékeit a távolság függvényében. Az álló napszimulátor esetén a céltárgyat (jelen esetben az Apogee PS 100 spektrométert) és annak helyét rögzítettem, majd a lámpák detektortól mért távolságát változtattam 30 cm-ről 100 cm-ig. A széles távolság tartomány alkalmazásával már lehetőségem volt a beeső fény intenzitás – távolság adatpontjait bemutassam. A kísérletet többször is elvégeztem, de a mért érték ingadozása nem volt számottevő, elhanyagolhatónak mutatkozott. A 19. ábrán az álló napszimulátor esetén láthatóak a fényintenzitás átlag értékek a távolság függvényében.



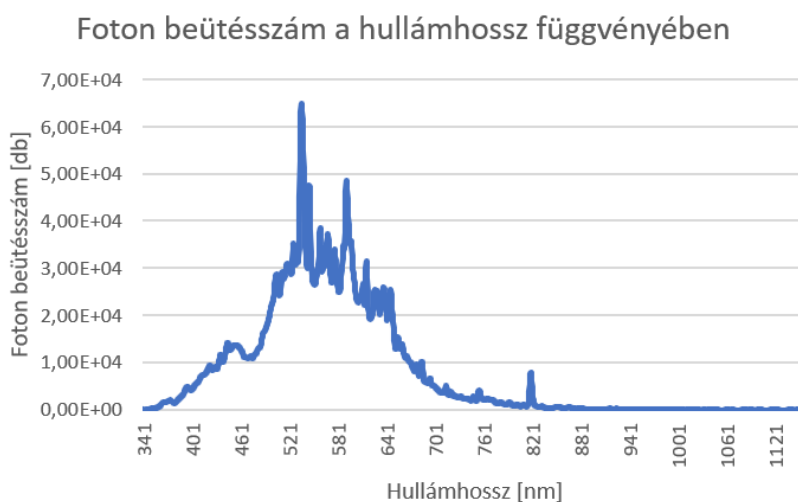
19. ábra Fényintenzitás a távolság függvényében (állónapszimulátor esetén)

Ahogy az a 19. ábrán látható, az állónapszimulátor fényintenzitása alacsonyabb a LED-es napszimulátorhoz képest, ezért a szakdolgozatomban nem ezt a fajta napszimulátort alkalmaztam a mérések lefolytatásához, hanem az Alternatív Energiaforrások Tudásközpontjában található LED-es napszimulátort. Az ajánlott beeső fény intenzitása 1000 W/m², melyet szabványban is rögzítenek. Ennek érdekében a minél magasabb fényintenzitást (egységnyi felületre vett beeső fény teljesítmény) kibocsátó napszimulátor alkalmazása volt a cél.



20. ábra Fényintenzitás a hullámhossz függvényében (állónapszimulátor esetén)

A fényintenzitás-hullámhossz függvény esetében nagyon széles hullámhossz tartományban mért a spektrométer, ennek oka, hogy az állónapszimulátor eltérő hullámhosszú fotonokat bocsát ki. 821 nm esetén látható egy nagy kiemelkedés

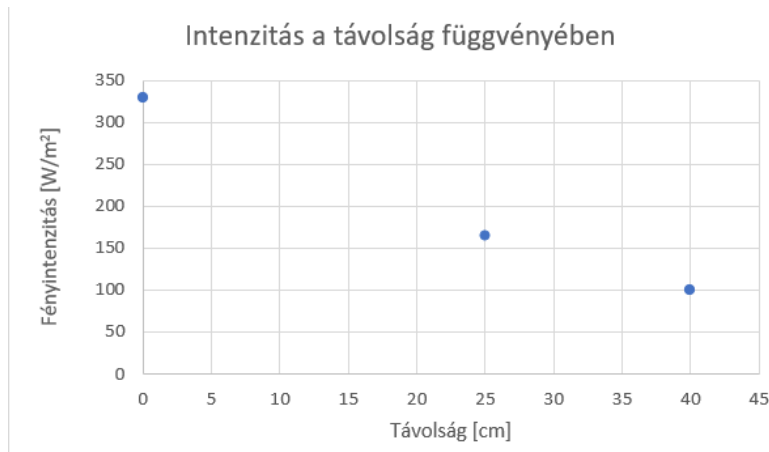


21. ábra Foton beütésszám a hullámhossz függvényében (állónapszimulátor esetén)

A 21. ábrán az álló napszimulátor fotonbeütésszám és a hullámhossz függvénye látható, amely 20 mérés átlagából adódott. A korábban már ismertetett Apogee PS-100 típusú spektrométerrel mértem, amikor mind a három lámpatest be volt kapcsolva. A napszimulátor 521 és 581 nm között mutat nagy spektrális, túszerű csúcsot, illetve 581 és 641 nm között is kiugrás van, viszont ez az előzőhöz képest nem olyan nagy.

4.1.4 LED-es napszimulátor

A LED-es napszimulátor esetén méretre kisebb eszközről van szó, de szemmel láthatólag magasabbak a fényintenzitás értékek. A 22. ábra a távolságok változtatásával megmutatja a fényintenzitás értékét.



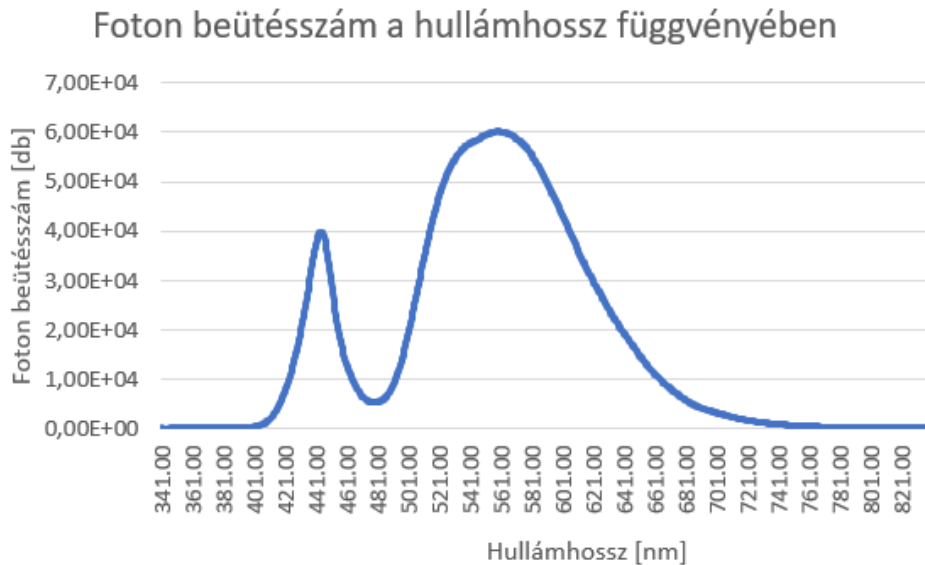
22. ábra Fényintenzitás a távolság függvényében (LED-es napszimulátor esetén)

Ez a fajta napszimulátor jobban teljesít, mint az állónapszimulátor, ezért ezt használtam, mivel ez jobban megközelíti a mérési eljárást, amit megkívánnak ezek a mérések. Ennek a napszimulátornak a maximális teljesítménye 400W. A 22. ábrán látható az intenzitás értéke a távolság függvényében, amiről leolvasható, hogy az általam alkalmazott távolságok esetén mekkora a fényintenzitás értéke. 0 cm távolság esetén 330 W/m^2 , 25 cm távolság esetén 165 W/m^2 és 40 cm távolság esetén 100 W/m^2 . Ezeket az adatokat eredetileg mV-ba a Steca TA ES1 típusú besugárzásmérővel kaptam meg és ebből az értékből a besugárzásmérő adatlapja szerint mV-ból átváltottam W/m^2 -be.



23. ábra Fényintenzitás a hullámhossz függvényében (LED-es napszimulátor esetén)

A LED-es napszimulátor amint az a fényintenzitás-hullámhossz jelleggörbéjén látszik a látható hullámhossz tartományban, vagyis 380 és 750 nanométer hullámhossz közé eső sugárzásban éri el a legmagasabb értéket. Egy kiemelkedő csúcs van az indigó színtartományában, illetve egy nagyobb rész van a sárga-narancs szín esetén is.

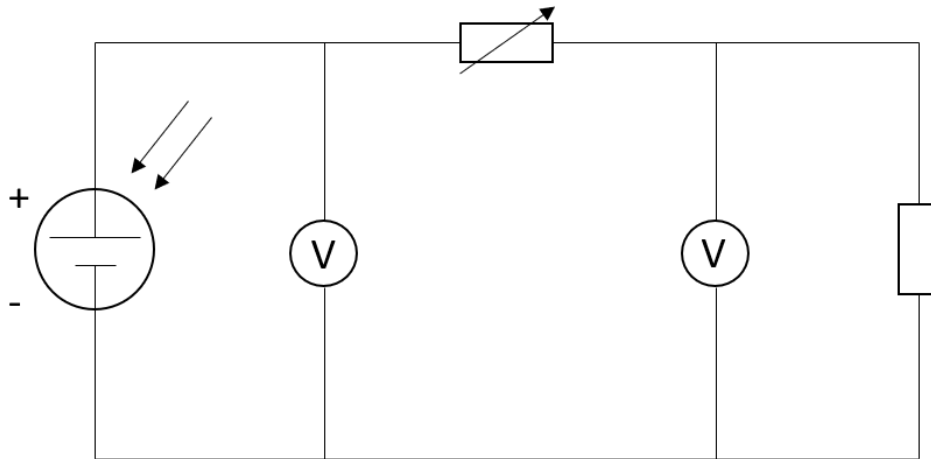


24. ábra Foton beütésszám a hullámhossz függvényében (LED-es napszimulátor esetén)

A LED-es napszimulátor fotonbeütésszáma látható a hullámhossz függvényében a 24. ábrán. Ahogyan az állónapszimulátor esetén, így ez is az Apogee PS-100 típusú spektrométerrel lett mérve, amikor a piros-kék-sárga fény egyszerre bevolt kapcsolva, ami végig kísért a mérés, mivel a munkám során is mindhárom színű fény bekapcsolva működött. Ahogyan azt a 23. ábránál említettem az indigó és a sárga tartományban mutat magas spektrális csúcsokat.

4.2 A kísérleteim végrehajtásához használt kapcsolási rajz bemutatása

Ebben a fejezetben a kísérleteim során alkalmazott kapcsolási rajzot mutatom be, amelyet két darab multiméter, egy darab sönt ellenállás és egy darab változtatható ellenállásból építettem fel.



25. ábra Kísérleteim során alkalmazott kapcsolási rajza

A 25.ábra a mérés elvi kapcsolási rajzát mutatja, ami szerint felépítettem a kísérleteimet. A kapcsolásba két feszültségmérőt helyeztem el, hogy a sönt ellenálláson és a változtatható ellenálláson eső feszültség értékeket tudjam rögzíteni. A napelemek méréséhez egy mesterséges fényforrást alkalmaztam, ami egy LED-es napfénystimulátor. Az alkalmazott napszimulátort részletesebben korábban bemutatam. A kísérleteim során két helyen mértem a feszültséget, a napelem cellán és a sönt ellenálláson. Ezen feszültségek mérésére egy ESCORT EDM-89S típusú digitális multimétert használtam, az értékeket jegyzőkönyv formájában rögzítettem Microsoft Excel táblázatkezelő szoftver segítségével. A sönt ellenálláson eső feszültség értékéből a cellán folyó áram értékét Ohm törvény segítségével ki tudtam számolni. A feszültség mérés azért volt preferált, mert a nagyon kis áramok mérése esetén az általam alkalmazott multiméter pontatlansága magasabb lehet, mint feszültségmérés esetén. A kísérleteimhez alkalmazott sönt ellenállás értéke 0,6 ohm. A sönt ellenállás hőmérséklettől való függését a kísérletek piszkozati részében elvégeztem és empirikus tapasztalat alapján azt kaptam, hogy az általam alkalmazott sönt ellenállás hőmérséklet független. A kísérleteim végrehajtása során, a napelemet a napszimulátor alá helyezve a tolóellenállás karját a végállásból, kiindulási állapotból a másikba húztam úgy, hogy közbenső pontokon állítottam meg a tolóellenállás karját, csúszkáját. A különböző ellenállás értékeket ugyancsak a piszkozati kísérletek, kísérleteim tervezési fázisaiban vettem fel. A különböző ellenállás értékeknél a

tolóellenállás karját megállítva a feszültség értékeket – mind a tolóellenálláson eső feszültséget, mind a sönt ellenálláson eső feszültséget – rögzítettem a jegyzőkönyvemben. A kísérletem során a napelemcellára applikáltam a Voltcraft K204 digitális hőmérsékletmérőnek az egyik bemenetét, ezzel mérve a napelem cella hőmérsékletváltozását, illetve egy másik bemenetével pedig a környezet hőmérsékletének változását mértem. A hőmérséklet adatait a készülékhez tartozó RS-232 nevezetű szoftveren keresztül számítógépen rögzítettem az idő függvényében. A mérés során a napszimulátor távolságát változtattam a napelemhez képest. Három távolság szerint vizsgáltam, 0 cm esetén, 25 cm esetén és 40 cm esetén.

5 Mérési adatok elemzése

A 25.ábrán látható kapcsolási rajz alapján feléptettem a kísérletet. A kapcsolási rajznak megfelelően két pont között mértem a feszültségértékeket: a változtatható ellenálláson eső feszültséget és a sönt ellenálláson eső feszültséget. A sönt ellenálláson eső feszültségből Ohm törvénnyel kiszámoltam az áramkörben folyó áramot. A mérési jegyzőkönyvemet MS. Excelben rögzítettem. A jegyzőkönyvemben található feszültségértékek további feldolgozását úgy, mint az adatok ábrázolását a MatLab 2020-as verziójú célszoftverében végeztem.

5.1 Adat kiolvasási folyamat

A mérés során az ESCORT EDM-89S digitális multiméterről az adatokat leolvastam, Microsoft Excel táblázatkezelő szoftverbe ezekből az adatokból jegyzőkönyvet készítettem, Az Excel egyik oszlopában a napelemen eső feszültséget a másik oszlopba pedig a söntellenálláson eső feszültséget rögzítettem. A sönt ellenálláson eső feszültség értékekből minden mérési pontban kiszámoltam az Ohm törvény $(I = \frac{U}{R})$ segítségével az áramkörben folyó áram értékét. A napelemre felhelyezett hőmérsékletmérővel, valós időben mértem a cella hőmérsékletét (kísérleteim során a cella melegedését jelentette) illetve a környezet hőmérsékletét. A kapott feszültség – áram adatpontok mellett rendelkezésemre állt az egyes kísérletekhez tartozó hőmérséklet értékek. A jegyzőkönyvből az adatokat jegyzetömbbe kimásoltam, majd a Matlab 2020-as verziójába importáltam. Következő lépésként az elektromos áram – feszültség (I-U) adatpontokat ábrázoltam. Az ábrázolt adatpontokra a napelem egyszerűsített áram-feszült egyenletét (11) egyenlet illesztettem.

A (10) egyenlet szemlélteti a napelem villamos áram-feszültség egyenletét, amely alapján elkészítettem ennek egyszerűsített egyenletét (11) egyenlet.

$$I = I_L - I_0 \left(e^{\frac{qV}{nkT}} - 1 \right) \quad (10)$$

q: elektron töltése ($q=1,6 \cdot 10^{-19}$ C)

V: elektromos feszültség [V]

n: idealitási faktor ($n=1$)

k: Boltzmann állandó ($k=1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K)

T: hőmérséklet [K]

I_0 : sötétáram [A]

I_L : fotoáram [A]

I: a cella árama [A]

A 10. egyenlet egyszerűsített egyenlete, amit a görbére illeszttem:

$$y = a - b(e^{c \cdot x}) \quad (11)$$

ahol az a, b és c konstans, amelynek a pontos értékét a Matlab szoftver adott meg. A szakdolgozatomban, azért választottam a TXT-be való importálást, mert az Excelben való véletlenszerű változást követően a MatLab-ban is bekövetkezhet a változás. A görbeillesztést követően az illesztett görbéről megkerestem azokat a villamos paramétereket, amelyek a hatások számításában szerepet játszanak. Ezek a villamos paraméterek a villamos üresjárási feszültség, villamos rövidzárási áram, maximális teljesítmény, kitöltési tényező.

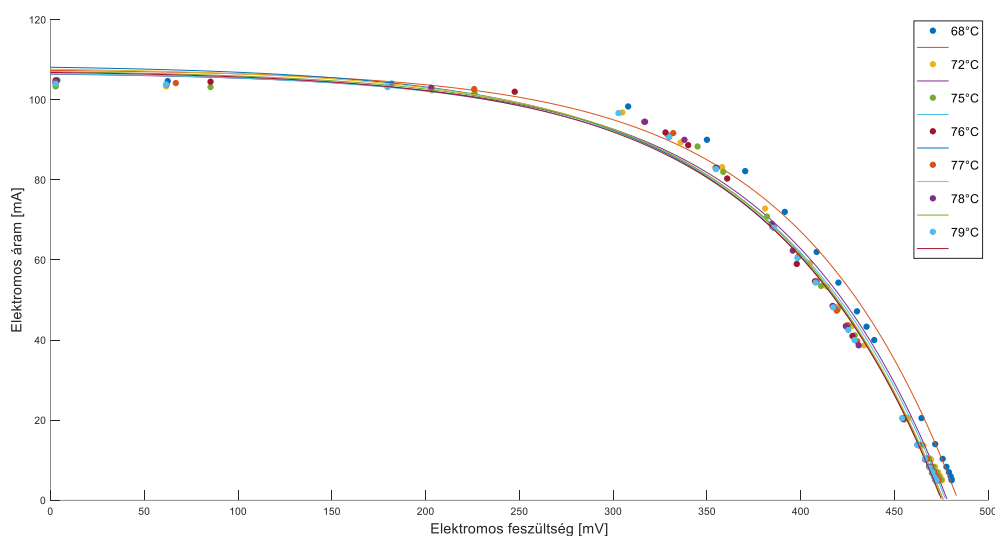
5.2 Mérési eredmény ábrázolása

Ebben a fejezetben szakdolgozatomhoz használt napelemek villamos áram – feszültség adatpontjait, valamint arra illesztett áram-feszültség karakterisztikát mutatom be.

5.2.1 Monokristályos napelem:

4.táblázat: Monokristályos napelem adatlapja

Gyártói szám	YH-46X76
Hossz	46 mm
Szélesség	76 mm
Típus	Monokristályos
Névleges feszültség	0,5 V
Névleges áramerősség	400 mA

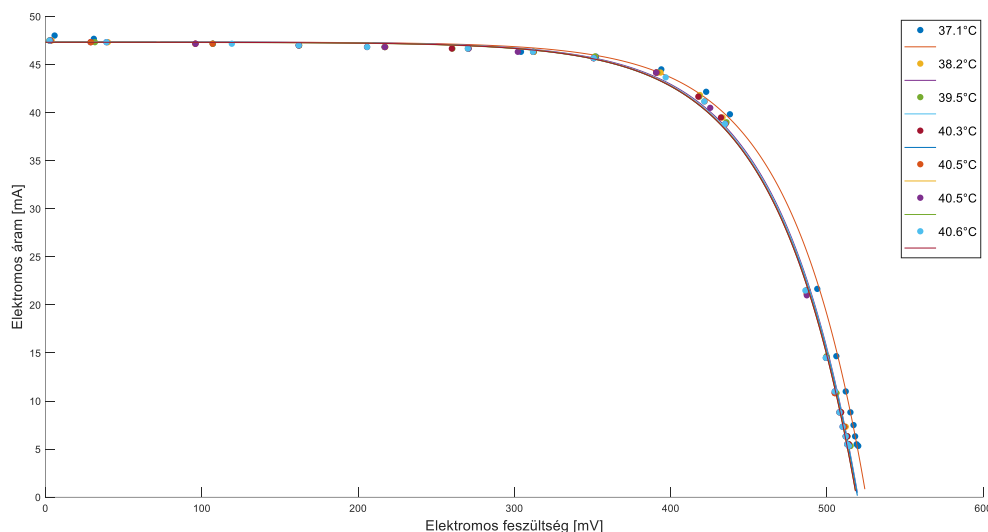


26. ábra Feszültség-áram karakterisztika 330 W/m² fényintenzitás esetén (monokristályos)

Az ábrán a 68 °C hőmérséklet értékhez a narancssárga színű görbe, a 72 °C-hoz a lila színű görbe, a 75 °C-hoz a világos kék, a 76 °C-hoz a sötét kék, a 77 °C-hoz a citromsárga, a 78°C-hoz a zöld és a 79 °C-hoz a piros színű görbe tartozik.

A 26. ábrán a villamos áram – feszültség adatpontokat, valamint az adatpontokra illesztett görbe látható a hőmérséklet függvényében. A napelem és a napszimulátor közötti távolság 0 cm volt, amelynél a fényintenzitás értéke 330 W/m². Mint az látható, a letörés mértéke ebben az esetben viszonylag nagy szöget zár be. Ebben az esetben a kezdeti hőmérséklet viszonylag magas

értékről indult, így a legmagasabb és a legalacsonyabb hőmérséklet között mindössze 11 °C különbséget mértem. A hét mérés alatt az alacsony hőmérsékletkülönbség hatására a feszültség-áram karakterisztika számottevően nem változott. A 26. ábra jól mutatja, hogy a legnagyobb áramerősség, ami 0 feszültségértéknél leolvasható 104 mA körül alakul, mind a hét mérés esetében. A legalacsonyabb áramerősséget 470-480 mV közötti feszültségértéken tapasztaltam. A legalacsonyabb hőmérséklet esetén a maximális teljesítményű pont 0,0298 W, a megemelkedett hőmérséklet során pedig 0,0284 W. Ezek között a különbség 5%, ami 0,0014 W teljesítménynek felel meg. Bár a mérések között nem volt nagy hőmérséklet eltérés, viszont ez a mennyiség is elegendő a látható teljesítmény különbséghez. A hatásfokot hét mérés átlagából számoltam, ami 0,0088%.

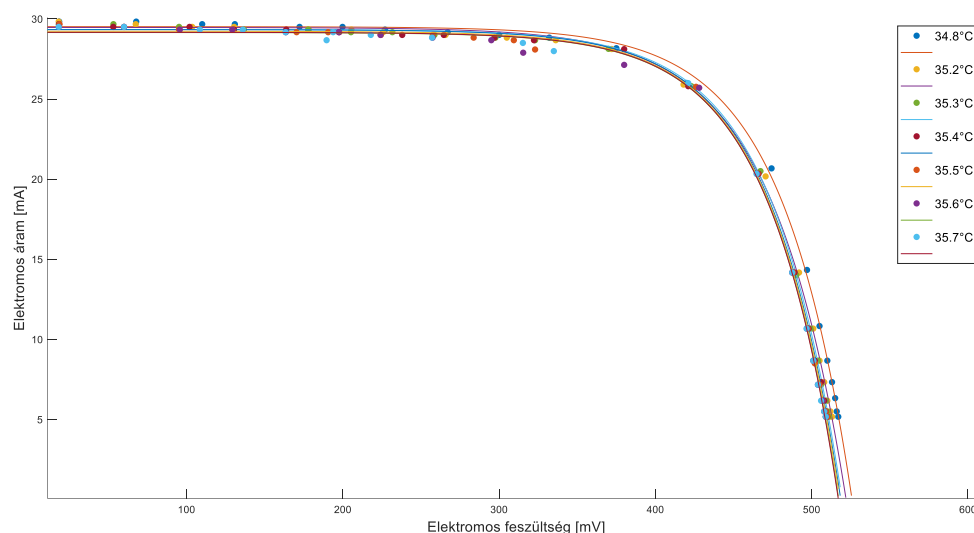


27. ábra Áram-feszültség karakterisztika 165 W/m² fényintenzitás esetén (monokristályos)

A napszimulátort 25 cm távolságra helyeztem el a napelemtől. Ennek következtében az általam alkalmazott LED-es napszimulátor kisebb mértékben melegítette a napelemet, így a hőmérséklet is alacsonyabb lett, valamint a mérések közötti hőmérsékletkülönbség is. A 28. ábra szerint a hét mérés esetén a karakterisztikák szinte megegyeznek, ami a minimális hőmérsékletkülönbségnek tudható be. 165 W/m² fényintenzitás során a legkisebb és a legnagyobb hőmérséklet maximális teljesítménypontja közel megegyező érték, vagyis 0,0176W és 0,0171 W. A kitöltési tényező minden esetben 0,7, ebből számítva a hatásfokot a hét mérés átlaga 0,0105%.

Az intenzitás függvényében a 26. ábra görbéje, illetve a 27. ábra görbáját összehasonlítva megfigyelhető, hogy az intenzitás értéke amikor lecsökkent 330 W/m²-ről 65 W/m²-ra a

rövidzárási áram értéke szinte a felére csökkent. A hatásfoka pedig a második esetben megnőtt, mivel 165 W/m^2 esetén már nem melegítette olyan mértékben a napelemcellát a napszimulátor.



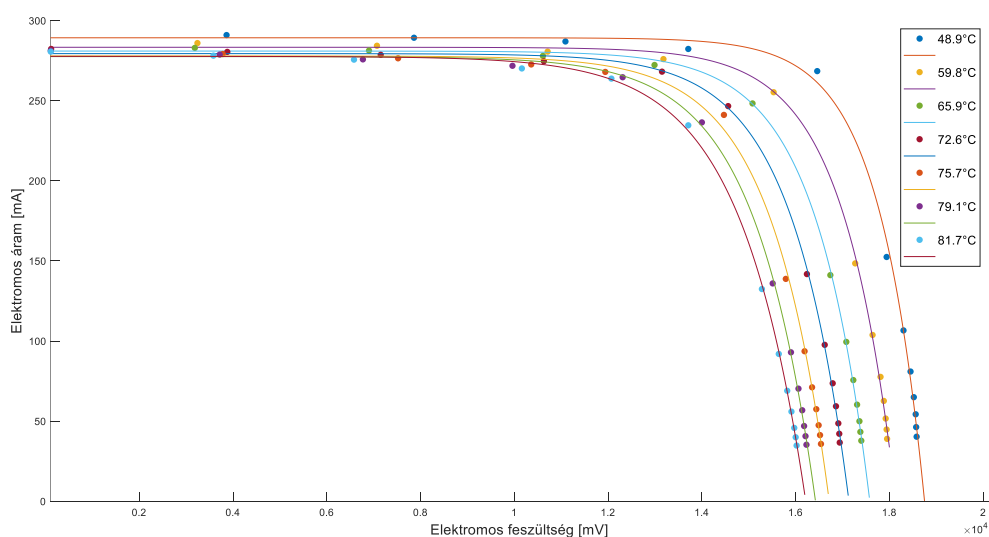
28. ábra Áram-feszültség karakterisztika 100 W/m^2 fényintenzitás esetén (monokristályos)

A távolság 40 cm-re növelése esetén a fényintenzitás értéke 100 W/m^2 -re csökkent. A rövidzárási áram szinte mind a hét mérés folyamán 29 mA körüli értékre esett. Megfigyelhető az is, hogy az üresjárási feszültség esetén is hasonló eredmények születtek. A hőmérséklet között nincs lényegi különbség, ennek a következménye, hogy a karakterisztika szinte megegyezik minden esetben. A hatásfokot kiszámolva 0,0111%-ot kaptam átlagosan.

5.2.2 Polikristályos napelem:

5.táblázat: Polikristályos napelem adatlapja

Gyártói szám	MWG-20
Külső méretek	505x353x25 mm
Típus	Polikristályos
Maximális feszültség	17.49 V
Maximális teljesítmény	20 W
Maximális áram	1.14 A
Üresjárási feszültség	21.67 V
Rövidzárási áram	1.22 A

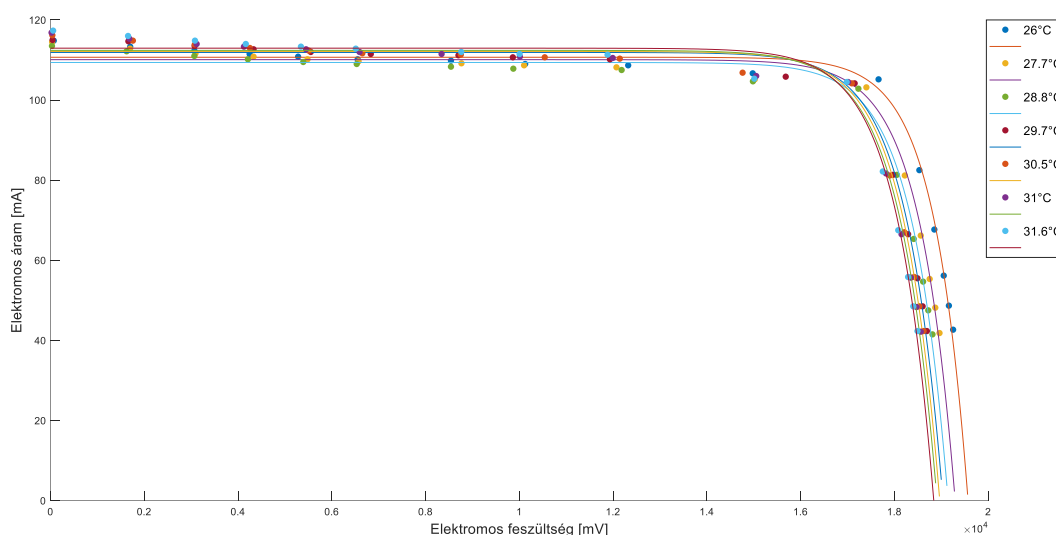


29. ábra Áram-feszültség karakterisztika 330 W/m² fényintenzitás esetén (polikristályos)

Az ábrán a 48,9 °C hőmérséklet értékhez a narancssárga színű görbe, a 59,8 °C-hoz a lila színű görbe, a 65,9 °C-hoz a világos kék, a 72,6 °C-hoz a sötét kék, a 75,7 °C-hoz a citromsárga, a 79,1°C-hoz a zöld és a 81,7 °C-hoz a piros színű görbe tartozik.

Polikristályos napelemet 0 cm távolságból megvilágítva a feszültség-áramerősség görbék hasonló képet mutatnak, mint a szakirodalomban. Ezen mérés során nagy hőmérséklet különbség adódott, amiből kifolyólag a görbék viszonylag nagy eltéréseket mutatnak, főleg az üresjárási feszültségnél. A kezdeti hőmérséklet 48.9 °C -ot mutatott, míg a mérés végén ez az érték közel duplájára 81.7 °C-ra emelkedett. Míg a rövidzárási áram esetén alacsony eltérések találhatók 289,31 mA a legkisebb hőmérséklet esetén és 277,71 mA a legnagyobb hőmérséklet során. Az üresjárási feszültség ennél jóval nagyobb eltérést mutatott, 18748 mV és 16195 mV

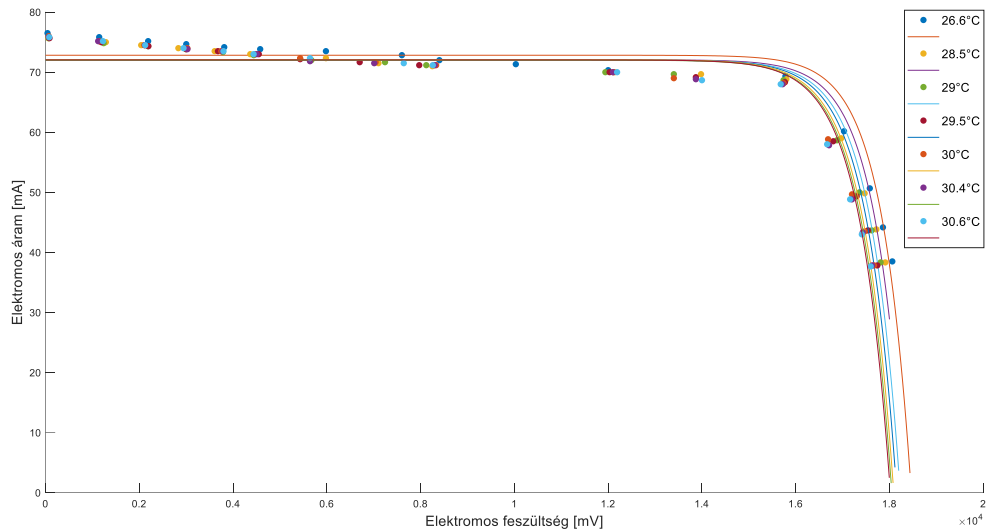
között helyezkedett el a mérések során. A maximális teljesítménypont a napelem felmelegedése előtt 4,35 W, felmelegedés után pedig 3,25 W. A hőmérséklet növekedés következtében a két mérés közötti eltérés 1,1 W, ami 25 %-os teljesítmény romlást jelent. A hatásfoka is jelentősen leromlott miután felmelegedett a napelem, melegedés előtt 1,3182 % volt, míg utána 0,9897 % értékre csökkent.



30. ábra Áram-feszültség karakterisztika 165 W/m² fényintenzitás esetén (polikristályos)

A 30. ábrán az áram-feszültség karakterisztika látható 165 W/m² fényintenzitás esetén. Lényeges hőmérséklet változás nem alakult, ami körülbelül egy tavaszi nap hőmérsékletének felel meg. A 7 mérés jelleggörbéi szinte párhuzamosan futnak egymással, lényegi különbség sehol nem tapasztalható, kiugró értékek nincsenek. A maximális teljesítménypontok között sem volt olyan nagy mértékű változás, a legnagyobb és a legalacsonyabb hőmérsékletű mérések között 3,8% teljesítmény eltérést mértem. A legnagyobb MPP 1,83 W, a legkisebb pedig 1,76 W. Ebben az esetben a hatásfok nem romlott jelentős mértékben, mivel a hőmérséklet nem változott nagymértékben, 1,11%-ról 1,04%-ra csökkent.

A rövidzárási áram a 29. ábrán látható értékhez képest kevesebb mint a felére csökkent. Ez a változás a fényintenzitás csökkenésének hatására következett be. Ezzel ellentétben az üresjárási feszültségre nincs hatással a fényintenzitás csökkenése, mivel az nagyságrendileg közel azonos a két mérés esetén.

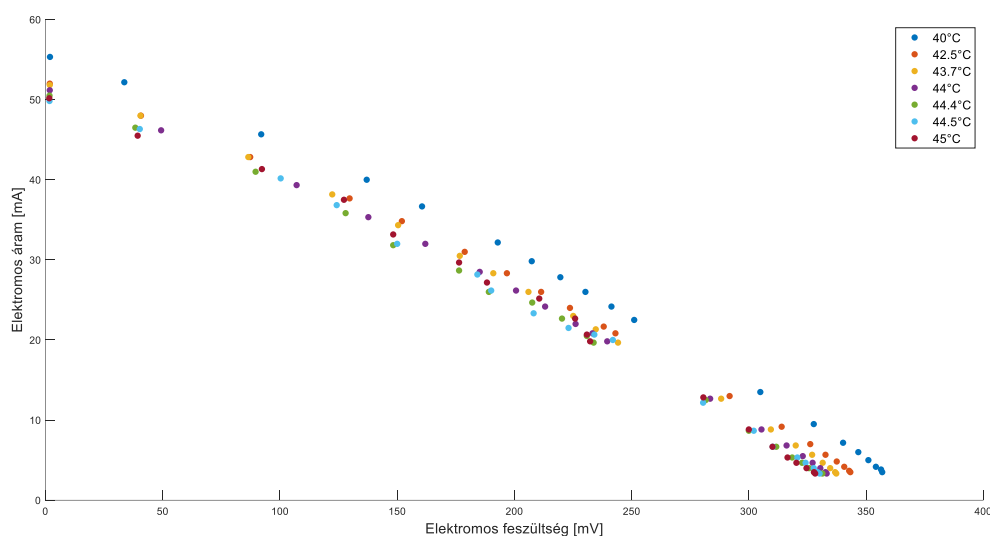


31. ábra Áram-feszültség karakterisztika 100 W/m² fényintenzitás esetén (polikristályos)

40 cm-es távolságra elhelyezve a napszimulátort a fényintenzitás csökkenés hatására, ami 100 W/m², a rövidzárási áram 76 mA értékre csökkent. A hőmérséklet 26,6 °C-ról 30,6 °C-ra emelkedett, ami összesen 4 °C különbséget jelent. Ez a változás közel azonos karakterisztikák kirajzolását eredményezte. Sem a rövidzárási áram, sem pedig az üresjárási feszültség nem mutat nagy változást, a maximális teljesítmény két szélső értéke 1,15 W és 1,1 W. A hatásfoka szinte semmit nem változott, végig tartotta az 1,1% körüli értéket.

5.3.3 Festékérzékenyített napelem:

Ebben a részben a kísérletem során alkalmazott festékérzékenyített napelem cella áram-feszültség karakterisztikáját ábrázoltam a hőmérséklet függvényében.



32. ábra Áram-feszültség karakterisztika 330 W/m² fényintenzitás esetén (festékérzékenyített)

A festékérzékenyített napelem esetén egészen más áram-feszültség jelleggörbét tapasztalhatunk, mint a mono- és polikristályos napelemeknél. A legalacsonyabb hőmérséklet 40 °C esetén a rövidzárási áram és az üresjárási feszültség a magasabb hőmérsékletű mérésekhez képest nagyobb értékeket vett fel. A DSSC karakterisztikájára lineáris trendvonal húzható. Ezen napelem esetén a mérés sikertelennek bizonyult, mivel a napelem nem generátorként, hanem ellenállásként viselkedett. Feltételezésem szerint ennek az oka túl alacsony fényintenzitás. A kísérleteimből az látszik, hogy ilyen megvilágítási körülmények esetén a napelem cella kedvezőtlen villamos áram-feszültség karakterisztikával rendelkezik. Vélhetően, magasabb beeső fény intenzitás esetén az villamos áram-feszültség karakterisztika exponenciális jelleget mutatnak.

5.3 Mérési eredmények elemzése

A szakdolgozatomban a fényintenzitás értékek 0 cm távolságnál 330 W/m^2 , 25 cm távolságnál 165 W/m^2 , illetve 40 cm távolságnál 100 W/m^2 , amit a napszimulátor állításával értem el.

Általában megfigyelhető, hogy a hőmérséklet változásának nagy szerepe van a napelemek működésében. Egy-egy mérés során azt tapasztaltam, hogy a hőmérséklet emelkedésével fordítottan arányos volt a teljesítmény értéke. A napszimulátor távolságát növelve a hőmérsékleti értékek egyre alacsonyabb intenzitású növekedést mutattak. Az üresjárási feszültség értékeit megvizsgálva kijelenthető, hogy a hőmérséklet hatására változik nagyobb mértékben, míg az ebben a tartományban megvizsgált fényintenzitás hatására kevésbé változik. A monokristályos napelem mérésénél magas hőmérsékletre indult, aminek hatására az üresjárási feszültség $470\text{--}480 \text{ mV}$ 0 cm esetén. A fényintenzitás és a hőmérséklet csökkenésének hatására 165 W/m^2 intenzitás értéknél jelentősen megemelkedett 510 mV értékre.

Ezzel ellentétben a rövidzárási áram független maradt a hőmérsékleti tényezőtől. A távolságot 0 cm-ről növeltem első körben 25, majd 40 cm-re ezzel a fényintenzitás változását szimuláltam. Ezek a változtatások nagymértékben befolyásolták a különböző napelem cellák rövidzárási áram értékét. A monokristályos napelem esetén a kezdeti 110 mA értékről egészen 30 mA -re csökkent a rövidzárási áram erőssége. A polikristályos napelem mérése során számszerűsített adata 330 W/m^2 fényintenzitásánál 280 mA , majd 100 W/m^2 -re lecsökkentve ez az érték már csak 76 mA volt.

A maximális teljesítményű pont vagy más néven MPP értékét a feszültség és az áramerősség szorzataként kapjuk meg, amikor mindkettő egyaránt magas értéken van. Az MPP-t legnagyobb mértékben a hőmérséklet és a fényintenzitás befolyásolta. Egyazon fényintenzitású mérés esetén, amennyiben magas volt a hőmérséklet változása polikristályos napelem mérésénél egészen kiemelkedő teljesítményromlást tapasztaltam. $48,9^\circ\text{C}$ -os mérésnél $4,35 \text{ W}$ maximális teljesítményt ért el, $81,7^\circ\text{C}$ esetében pedig csak $3,25 \text{ W}$ -ot. A hőmérséklet növekedése jelentős volt, de a teljesítmény csökkenése 25%-kal kiemelkedően magasnak bizonyult.

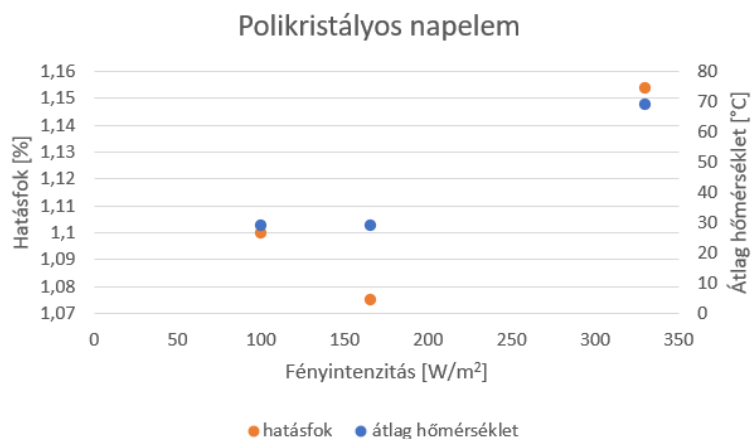
Bár 0 cm távolság esetén 330 W/m^2 a besugárzás értéke, ám ez a festékérzékenyített napelem energiatermeléséhez kevésnek bizonyult. Mivel nem volt lehetőségem nagyobb fényintenzitás elérésére, így ez a mérés sikertelennek bizonyult.

A napelem hatásfoka a hőmérséklettől és a beeső fény intenzitásától függ. A monokristályos napelem mérésekor azt tapasztaltam, hogy bár a hatásfok minimális mértékben javult a fényintenzitás csökkenésével, de ezt a folyamatot annak köszönhetjük, hogy a nagyobb távolságra lévő napszimulátor kevésbé melegítette a napelemet, így annak hőmérséklete alacsonyabb tudott maradni. A polikristályos napelem esetében is hasonló eredményeket kaptam, hiába volt a fényintenzitás 330 W/m^2 az utolsó mérésre a napelem olyan mértékben melegedett fel, hogy az első méréshez képest 25%-ot romlott a hatásfok, amivel a méréseim során a legalacsonyabb értéket eredményezte. Azokban az esetekben, ahol a napszimulátor távolabb volt elhelyezve a napelemtől a hatásfok különbség jóval alacsonyabb volt, amit szintén a kisebb fűtőhatásnak tudhatunk be.



33. ábra Monokristályos napelem hatásfok és átlaghőmérséklet értékek a fényintenzitás függvényében

A 33. ábrán az x tengelyen a fényintenzitás [W/m^2], az y tengely baloldalán a hatásfok [%], a jobb oldalán pedig a mérések során mért átlag hőmérséklete a monokristályos napelemnek került ábrázolásra. *Az ábráról leolvashatjuk, hogy a hatásfok folyamatosan romlott, hiába nőtt a fény intenzitása. Az elmélet szerint a fényintenzitás növelésével jobb hatásfokot kellene elérnünk, ám ez a hőmérséklet jelentős növekedése miatt a mérés során nem így alakult.*



34. ábra Polikristályos napelem hatásfok és átlaghőmérséklet értékek a fényintenzitás függvényében

A 34.ábrán a polikristályos napelem vizsgálata során számolt hatásfokot, átlagos hőmérsékletet és a mért fényintenzitást ábrázoltam. A monokristályos napelemhez viszonyítva a mért adatpontok nem olyan egyértelmű változást mutatnak. A legalacsonyabb fényintenzitás esetén, ami 100 W/m^2 a hatásfok 1,1% értéket vett fel átlagos 30°C hőmérsékleten. Ehhez képest a 165 W/m^2 fényintenzitású mérések során hasonló hőmérsékleti adatokat mértem, viszont a hatásfok ennek ellenére ugyan nem jelentős mértékben, de csökkent. Ezt követően a legmagasabb 330 W/m^2 fényintenzitás esetén kiugróan magas hőmérsékleti adatok mellett a hatásfok növekedni tudott 1,15%-ra.

6 Összefoglalás

A dolgozatom célja, az Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar Villamosenergetikai Intézet Alternatív Energiaforrások Tudásközpontjában található polikristályos, monokristályos és festékérzékenyített napelem cellák villamos paramétereinek mérése a beeső fény intenzitásának és a hőmérsékletnek a függvényében. A cél eléréséhez először irodalomkutatót végeztem, majd ezt követően a kísérleteket megterveztem. A piszkozati részt lefolytattam, amelyből újabb következtetések vontam le. Elvégeztem a kísérleteket, ezek eredményeit értékeltem, ábrázoltam és következtetéseket vontam le.

A méréseket lefolytattam, majd a kapott adatsorokból Matlab program segítségével ábrázoltam, amiből a különböző karakterisztikákat kaptam meg. Ezeket a jellegzőgörbéket megvizsgáltam, a hasonlóságokat és a különbségeket összevetve következtetéseket vontam le a különböző napelemtípusok más-más fényintenzitású energiatermeléséről. Amelyek a következők:

- A fényintenzitás csökkenésével a rövidzárási áram értéke megváltozik, mind a polikristályos, mind a monokristályos napelem esetében. A két szélső érték $330\text{--}100\text{ W/m}^2$ esetén a rövidzárási áram polikristályos napelemnél 280 mA -ról 76 mA -re változott.
- A hőmérsékleti tényező nagyban befolyásolja az üresjárási feszültséget, kis mértékben a fényintenzitás változása is hatással van a kristályos napelemekre. A polikristályos napelem esetében, amikor intenzitás értéke 330 W/m^2 volt, 48.9 °C esetén az üresjárási feszültség értéke $18,58\text{ V}$, míg 81.7 °C -nál pedig 16 V .
- A maximális teljesítményű pontra a legnagyobb hatást a hőmérséklet gyakorolta minden esetben. A polikristályos napelem mérésénél kiemelkedően nagy (25%) teljesítmény csökkenést tapasztaltam, több mint 40 °C hőmérsékletkülönbség esetén.
- A méréseim során arra a következtetésre jutottam, hogy a hatásfokot leginkább a hőmérséklet, másodsorban pedig a fényintenzitás befolyásolja, hiszen hiába magas volt a fényintenzitás, a hét mérés során nagyobb különbséget mértem a hatásfokra, amikor a cellának a hőmérséklete nagyobb mértékben megemelkedett. Ellenben kisebb hőmérsékleti szórás esetén a hatásfok változása egyenletesebb eloszlást mutatott.
- A festékérzékenyített napelem méréséhez a 330 W/m^2 fényintenzitás nem elégséges.

7 Summary

The purpose of my thesis is to measure the electrical parameters of polycrystalline, monocrystalline and dye-sensitized solar cells based on the intensity of the incident light and the cell temperature in the Knowledge Center of Alternative Energy Sources of the Institute of Alternative Energy Sources, Faculty of Electrical Engineering, University of Obuda.

As a first step, literature review was searched and experiment was designed. The section was done where was drew more conclusions. Experiments were performed and evaluated their results, plotted them and drew the conclusion. From the obtained data with the help of the Matlab program the measurements were plotted. Different characteristic was obtained from these. Curves were examined, comparing the similarities and diffences, conclusions were drew about the energy production of different solar cell types with different light intensities.

These are the following:

- The value of the short-circuit current changes, as the light intensity decreases for both polycrystalline and monocrystalline solar cells. At the two extreme values of 330-100 W / m², the short-circuit current for a polycrystalline solar cell changed from 280 mA to 76 mA.
- The temperature factor greatly influences the open-circuit voltage. To a small extent, changes in light intensity also affect crystalline solar cells. For a polycrystalline solar cell with an intensity of 330 W / m², the open-circuit voltage is 18.58 V at 48.9 ° C and 16 V at 81.7 ° C.
- The point that had the greatest effect of the maximum power was the temperature in each case. When measuring the polycrystalline solar cell, I observed an exceptionally large (25%) decrease in power at a temperature difference of more than 40 ° C.
- During the measurements I came to the conclusion that the efficiency is mostly influenced by the temperature and secondly by the light intensity. Although the light intensity was high, I measured a greater difference in efficiency over the seven measurements as the cell temperature increased more. In contrast, with a smaller temperature standard deviation, the change in efficiency showed a more even distribution.
- A light intensity of 330 W / m² is not sufficient to measure a dye-sensitized solar cell.

8 Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném megköszönni mindazoknak, akik valamilyen formában segítségemre voltak, hogy ez a dolgozat elkészüljön. Köszönet illeti Varga Zoltán konzulensemet, akivel a közös munkát már korábban megkezdtuk, majd végig kísért az úton a konzultációk során egészen a dolgozat elkészültéig. Szakmai tudásával és felkészültségével folyamatosan támogatott, valamint a felmerülő kérdések megoldására rávezetett.

Valamint szeretném megköszönni az Óbudai Egyetem Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar valamennyi oktatójának, dolgozójának a munkáját, akik az évek során támogatják a kar hallgatóit a tanulásban.

Végül, de nem utolsó sorban köszönettel tartozom a családomnak és barátaimnak, akik az egyetemi éveim alatt végig támogatásukról tettek tanú bizonylatot és segítették, támogatták a munkámat.

9 Irodalomjegyzék

- [1] Kádárné Horváth Ágnes: A távfűtés szerepe az energiapolitikai célok elérésében, 2012. Vezetéstudomány 43: (Különszám) pp. 74-82.
- [2] Dr. Nemcsics Ákos: A napelem működése, fajtái és alkalmazása, 1999. Budapest
- [3] Virágh Edina: A napsugárzás felhasználása energia előállítására, 2016. Műszaki Katonai Közlöny
- [4] Mihályi Dávid Krisztián: Mennyire „zöld” a napelem? 2014. Környezettudományi TDK
- [5] Bodnár István: Napelem hőmérsékletfüggésének kísérleten és szimuláción alapuló vizsgálata, 2017. Jelenkori Társadalmi és Gazdasági Folyamatok 12 (4), 195-206.
- [6] Zsiborács Henrik: Hűtött napelemek alkalmazásának műszaki-ökonómiai vizsgálata, 2017. Doktori (PhD) értekezés
- [7] Hörömpöli Balázs, Dr. Rácz Ervin: Polikristályos, monokristályos és festékérzékenyített napelem cellák üresjárási feszültségeinek kísérleti vizsgálata a beeső fény hullámhosszának függvényében, 2016. Budapest, XXXII. Kandó Konferencia
- [8] Priyanka Singh, S.N. Singh, M.Lal, M.Husain: Temperature dependence of I–V characteristics and performance parameters of silicon solar cell, 2008. Solar Energy Materials and Solar Cells 92(12):1611-1616
- [9] Husi Géza, Bartha István, Tóth János: Napelemek gyártástechnológiája a Yingli Green Energy társaságnál, 2009 Debreceni műszaki közl. 8 (1-2), 135-146
- [10] <http://fft.szie.hu/fizika/Turkalo/napenergiahaszn/G04%20-%20Napelem%20technologiak%20es%20jellemzoik.pdf>
- [11] Rózsás Gábor: Félvezető eszközök hűtése hátoldalon kialakított mikroméretű csatornákkal szakdolgozat 2017, Budapest
- [12] Lipták Róbert, Bodnár István: Napelemes villamosenergia-termelő rendszerek 2020. Multidiszciplináris tudományok, 10. kötet.4sz. pp. 434-443
- [13] Dudola Dóra Antónia: Termikus tranziens mérés alkalmazási lehetőségei napelemmodulok termikus karakterizálásában TDK dolgozat, 2014.
- [14] Háber István: Fotovillamos és fotovillamos-termikus rendszerek energetikai modellezése Doktori értekezés, 2016. Gödöllő
- [15] https://sunformation.blog.hu/2020/02/14/napelem_jellegorbek_938
- [16] <http://www.ihitech.hu/hu/hir/epuletszerkezetbe-integralt-napelemes-megoldasok>
- [17] http://napelem.net/napelemes_rendszer/napelemes_tetocserep.php
- [18] <http://greennovate.hu/mi-az-a-napelem/>

- [19] Tóth Anett, Voith Katalin Napelem múltja, jelene és jövője, 2020. Évf. 9 szám 4 (2019): Multidiszciplináris Tudományok - 70 éves a Gépészmérnöki és Informatikai Kar
- [20] M. Ravindiran, C. Praveenkumar: Status review and the future prospects of CZTS based solar cell – A novel approach on the device structure and material modeling for CZTS based photovoltaic device, 2018. Renewable and Sustainable Energy Reviews 94:317-329
- [21] <https://greenfo.hu/hir/a-zold-napelem-betes-az-atomenergianak/>
- [22] Martin A. Green, Yoshihiro Hishikawa, Wilhelm Warta, Ewan D. Dunlop, Dean H. Levi, Jochen Hohl-Ebinger, Aniza W.Y. Ho-Baillie: Solar cell efficiency tables, 2017. Progress in Photovoltaics: Research and Applications / Volume 25, Issue 7 / p. 668-676
- [23] T. Szabó József, Tóth Gergely Bálint, Kaptay György: A napelem célú szilícium előállításának kihívásai, 2015. Anyagok Világa (Materials World) 2 20-32
- [24] Rozsnyai Gábor: Napelemek energiatermelésének vizsgálata, 2020. Multidiszciplináris tudományok, 10. kötet. 2 sz. pp.98-104
- [25] <http://materiability.com/dye-sensitized-solar-cells/>
- [26] <http://www.betonopus.hu/vitae-cursus/visszapillant-as-szamadas.pdf>
- [27] Leszek Adam Dobrzański: Korszerű mérnöki anyagok kutatásának nanotechnológiai aspektusai, 2016. Multidiszciplináris tudományok, 6. kötet. 1 sz. pp. 21-44
- [28] Gyarmati Ádám: Titán-dioxid alapú, festékanyaggal érzékenyített napelemek fejlesztése TDK dolgozat 2015. Budapest
- [29] Dr. Hornyacsek Julia A tudományos kutatás elmélete és módszertana, 2014. Budapest
- [30] <https://ictinternational.com/products/ps-100/ps-100-vis-to-nir-spectroradiometer>
- [31] <https://www.conrad.hu/p/4-csatornas-adatgyujtos-digitalis-homero-200-1370-c-voltcraft-k204-100518>
- [32] <http://www.verepker.hu/yawal-aluminium-ablak-rendszerek/termek/specialis-rendszerek/ba-pv-napelemes-rendszer>
- [33] <https://www.pveurope.eu/solar-modules/schueco-bipv-building-integrated-photovoltaics-future-oriented>
- [34] http://uni-obuda.hu/users/racz.ervin/Napelemek_fizikai_alapjai_2ea.pdf
- [35] Manek Enikő: Napelemes rendszerek teljes életciklus elemzése
- [36] <https://www.apogeeinstruments.com/ps-100-visible-to-near-infrared-range-lab-spectroradiometer/>
- [37] <https://www.inshop.hu/voltcraft-k204-homerseklet-meromuszer-kalibralt-iso-200-1370-c-erzekelo-tipus-k-adatgyujto-funkcio>

10 Ábrajegyzék

1. ábra: AM definíció szemléltetése (saját készítésű)
2. ábra: A: Egyszerű pn-átmenet sávábrája fotogerjesztéssel, B: Az átmenet áram-feszültség karakterisztikája sötétben és megvilágítva
3. ábra: Napelem villamos áram-feszültség karakterisztikája 1000W/m^2 beeső fényintenzitás és 25°C -os panel hőmérséklet esetén
4. ábra: A napelem villamos áram-villamos feszültség karakterisztika hőmérséklet függése azonos megvilágítási fényviszonyok (azonos fényintenzitás) esetén
5. ábra: A napelem villamos áram-villamos feszültség karakterisztika besugárzás függése azonos hőmérséklet esetén
6. ábra: A napelem villamos áram-villamos feszültség karakterisztikája és a napelem villamos feszültség-teljesítmény karakterisztikája [
7. ábra: Napelemes tetőfedés
8. ábra: Napelemes cserép, zsindey, komplett tetőfedés
9. ábra: (1) Napelemes korlát, (2) Napelem használata üvegfalként
10. ábra: Különböző napelem technológiák (saját készítésű)
11. ábra: Különböző napelemcellák hatásfoka (saját készítésű)
12. ábra: Hagyományos szilícium napelem sematikus ábrája
13. ábra: A szilícium alapú napelem elvi felépítése, méretek megjelölésével
14. ábra: Napelem gyártás főbb lépései
15. ábra: A festékérzékenyített napelem cella felépítése
16. ábra: A festékérzékenyített napelem működési elve
17. ábra: Apogee PS-100 spektrométer ábrája
18. ábra: Voltcraft K204 típusú digitális 4 csatornás hőmérő
19. ábra: Fényintenzitás a távolság függvényében (állónapszimulátor esetén) (saját készítésű)
20. ábra: Fényintenzitás a hullámhossz függvényében (állónapszimulátor esetén) (saját készítésű)
21. ábra: Foton beütésszám a hullámhossz függvényében (állónapszimulátor esetén) (saját készítésű)
22. ábra: Fényintenzitás a távolság függvényében (LED-es napszimulátor esetén) (saját készítésű)

23. ábra: Fényintenzitás a hullámhossz függvényében (LED-es napszimulátor esetén) (saját készítésű)
24. ábra: Foton beütésszám a hullámhossz függvényében (LED-es napszimulátor esetén) (saját készítésű)
25. ábra: A mérés kapcsolási rajza (saját készítésű)
26. ábra: Áram-feszültség karakterisztika 330 W/m^2 fényintenzitás esetén (monokristályos) (saját készítésű)
27. ábra: Áram-feszültség karakterisztika 165 W/m^2 fényintenzitás esetén (monokristályos) (saját készítésű)
28. ábra: Áram-feszültség karakterisztika 100 W/m^2 fényintenzitás esetén (monokristályos) (saját készítésű)
29. ábra: Áram-feszültség karakterisztika 330 W/m^2 fényintenzitás esetén (polikristályos) (saját készítésű)
30. ábra: Áram-feszültség karakterisztika 165 W/m^2 fényintenzitás esetén (polikristályos) (saját készítésű)
31. ábra: Áram-feszültség karakterisztika 100 W/m^2 fényintenzitás esetén (polikristályos) (saját készítésű)
32. ábra: Áram-feszültség karakterisztika 330 W/m^2 fényintenzitás esetén (festékrézkényített) (saját készítésű)
33. ábra: Monokristályos napelem hatásfok és átlaghőmérséklet értékek a fényintenzitás függvényében (saját készítésű)
34. ábra: Polikristályos napelem hatásfok és átlaghőmérséklet értékek a fényintenzitás függvényében (saját készítésű)

11 Táblázatjegyzék

1. táblázat: Tudományos kutatás típusa
2. táblázat: Apogee PS-100 típusú spektrométer paraméterei
3. táblázat: Voltcraft K204 digitális hőmérséklet mérő paraméterei
4. táblázat: Monokristályos napelem adatai
5. táblázat: Polikristályos napelem adatai

Mellékletek

A napelemek mért paramétereit

MWG_20 típusú napelem:

MWG_20					
0 cm távolság:	Mérések száma	Hőmérséklet [°C]	U_vált [mV]	U_sönt [mV]	I [mA]
	1	48,9	33	175,60	292,67
			3862	174,60	291,00
			7860	173,60	289,33
			11090	172,20	287,00
			13710	169,40	282,33
			16460	161,10	268,50
			17940	91,50	152,50
			18300	64,00	106,67
			18450	48,60	81,00
			18520	39,00	65,00
			18560	32,60	54,33
			18570	27,80	46,33
			18580	24,20	40,33
	2	59,8	96	172,30	287,17
			3241	171,60	286,00
			7070	170,60	284,33
			10710	168,40	280,67
			13180	165,60	276,00
			15530	153,20	255,33
			17270	89,10	148,50
			17640	62,30	103,83
			17810	46,60	77,67
			17880	37,60	62,67
			17920	31,00	51,67
			17940	26,90	44,83
			17950	23,40	39,00
	3	65,9	88	170,60	284,33
			3185	169,80	283,00
			6900	168,80	281,33
			10610	166,80	278,00
			12990	163,40	272,33
			15080	149,00	248,33
			16740	84,70	141,17
			17080	59,70	99,50
			17230	45,40	75,67
			17310	36,20	60,33
			17360	30,00	50,00
			17380	26,00	43,33

			17400	22,70	37,83
	4	72,6	120	169,40	282,33
			3878	168,30	280,50
			7150	167,20	278,67
			10630	164,80	274,67
			13150	160,90	268,17
			14560	148,00	246,67
			16240	85,10	141,83
			16620	58,60	97,67
			16790	44,20	73,67
			16860	35,60	59,33
			16910	29,20	48,67
			16930	25,30	42,17
			16940	22,00	36,67
	5	75,7	105	168,80	281,33
			3780	167,50	279,17
			7520	165,90	276,50
			10360	163,60	272,67
			11940	160,80	268,00
			14470	144,70	241,17
			15790	83,30	138,83
			16190	56,20	93,67
			16350	42,70	71,17
			16440	34,50	57,50
			16490	28,50	47,50
			16520	24,80	41,33
			16540	21,50	35,83
	6	79,1	112	168,80	281,33
			3716	167,30	278,83
			6770	165,50	275,83
			9960	163,10	271,83
			12310	158,80	264,67
			14000	141,90	236,50
			15510	81,60	136,00
			15900	55,80	93,00
			16060	42,20	70,33
			16140	34,10	56,83
			16180	28,20	47,00
			16210	24,40	40,67
			16230	21,20	35,33
	7	81,7	112	168,40	280,67
			3582	166,90	278,17
			6580	165,40	275,67
			10160	162,10	270,17
			12070	158,30	263,83
			13710	140,80	234,67

			15280	79,50	132,50
			15640	55,20	92,00
			15820	41,40	69,00
			15910	33,60	56,00
			15970	27,50	45,83
			16000	24,00	40,00
			16020	20,90	34,83
25 cm távolság:					
	1	26	68,8	68,90	114,83
			1699	68,00	113,33
			3068	67,40	112,33
			4246	66,90	111,50
			5280	66,50	110,83
			6550	66,10	110,17
			8540	65,90	109,83
			10123	65,40	109,00
			12320	65,20	108,67
			14976	64,00	106,67
			17660	63,10	105,17
			18530	49,50	82,50
			18850	40,60	67,67
			19050	33,70	56,17
			19160	29,20	48,67
			19250	25,60	42,67
	2	27,7	33,4	68,70	114,50
			1696	67,70	112,83
			3092	67,00	111,67
			4330	66,50	110,83
			5480	66,10	110,17
			6570	65,80	109,67
			8764	65,50	109,17
			10100	65,20	108,67
			12070	64,90	108,17
			15020	63,10	105,17
			17400	61,90	103,17
			18220	48,70	81,17
			18560	39,70	66,17
			18750	33,20	55,33
			18870	28,90	48,17
			18960	25,10	41,83
	3	28,8	30,3	68,10	113,50
			1622	67,30	112,17
			3067	66,60	111,00
			4209	66,10	110,17
			5390	65,70	109,50
			6530	65,40	109,00

			8540	65,00	108,33
			9870	64,70	107,83
			12180	64,50	107,50
			14980	62,80	104,67
			17230	61,70	102,83
			18050	48,80	81,33
			18410	39,20	65,33
			18610	32,80	54,67
			18720	28,50	47,50
			18810	24,90	41,50
	4	29,7	43,3	69,00	115,00
			1660	68,80	114,67
			3073	68,10	113,50
			4330	67,60	112,67
			5550	67,20	112,00
			6830	66,90	111,50
			8700	66,70	111,17
			9860	66,40	110,67
			11930	66,10	110,17
			15680	63,50	105,83
			17150	62,50	104,17
			17970	48,80	81,33
			18290	39,90	66,50
			18490	33,30	55,50
			18600	29,10	48,50
			18690	25,40	42,33
	5	30,5	38,5	69,70	116,17
			1756	68,90	114,83
			3075	68,30	113,83
			4251	67,80	113,00
			5510	67,40	112,33
			6650	67,00	111,67
			8750	66,80	111,33
			10540	66,40	110,67
			12140	66,20	110,33
			14760	64,10	106,83
			17090	62,50	104,17
			17900	48,70	81,17
			18210	40,20	67,00
			18420	33,50	55,83
			18530	29,10	48,50
			18620	25,40	42,33
	6	31	21,7	70,10	116,83
			1679	69,20	115,33
			3116	68,40	114,00
			4125	68,00	113,33

			5450	67,60	112,67
			6590	67,20	112,00
			8340	66,90	111,50
			10010	66,50	110,83
			11990	66,30	110,50
			15050	63,60	106,00
			17010	62,70	104,50
			17820	49,00	81,67
			18150	39,90	66,50
			18350	33,40	55,67
			18470	29,00	48,33
			18560	25,30	42,17
	7	31,6	55	70,40	117,33
			1653	69,60	116,00
			3080	68,90	114,83
			4164	68,40	114,00
			5340	68,00	113,33
			6510	67,70	112,83
			8760	67,20	112,00
			10004	66,90	111,50
			11880	66,80	111,33
			15010	63,20	105,33
			16980	62,70	104,50
			17750	49,30	82,17
			18080	40,50	67,50
			18290	33,50	55,83
			18400	29,10	48,50
			18490	25,40	42,33
40 cm távolság:					
	1	26,6	42	45,90	76,50
			1144	45,50	75,83
			2188	45,10	75,17
			3001	44,80	74,67
			3811	44,50	74,17
			4578	44,30	73,83
			5980	44,10	73,50
			7600	43,70	72,83
			8400	43,20	72,00
			10030	42,80	71,33
			12000	42,20	70,33
			15780	41,60	69,33
			17030	36,10	60,17
			17580	30,40	50,67
			17860	26,50	44,17
			18060	23,10	38,50
	2	28,5	62	45,40	75,67

			1286	45,00	75,00
			2040	44,70	74,50
			2833	44,40	74,00
			3607	44,10	73,50
			4366	43,80	73,00
			5980	43,40	72,33
			7100	42,90	71,50
			8250	42,60	71,00
			12140	42,00	70,00
			13980	41,80	69,67
			15800	41,30	68,83
			16970	35,40	59,00
			17470	29,90	49,83
			17720	26,30	43,83
			17910	23,00	38,33
	3	29	66	45,40	75,67
			1240	44,90	74,83
			2185	44,60	74,33
			2994	44,30	73,83
			3784	44,00	73,33
			4440	43,70	72,83
			5670	43,20	72,00
			7240	43,00	71,67
			8120	42,70	71,17
			11940	42,00	70,00
			13400	41,80	69,67
			15740	41,20	68,67
			16880	35,20	58,67
			17360	30,00	50,00
			1762	26,20	43,67
			17810	23,00	38,33
	4	29,5	84	45,40	75,67
			1189	45,00	75,00
			2194	44,60	74,33
			3001	44,30	73,83
			3677	44,10	73,50
			4548	43,80	73,00
			5430	43,30	72,17
			6700	43,00	71,67
			7970	42,70	71,17
			12030	42,00	70,00
			13870	41,50	69,17
			15770	41,00	68,33
			16800	35,10	58,50
			17300	29,60	49,33
			17540	26,20	43,67

			17740	22,70	37,83
	5	30	67	45,60	76,00
			1144	45,10	75,17
			2108	44,70	74,50
			3024	44,40	74,00
			3748	44,10	73,50
			4465	43,80	73,00
			5430	43,40	72,33
			7040	43,00	71,67
			8330	42,70	71,17
			12110	42,00	70,00
			13400	41,40	69,00
			15740	40,90	68,17
			16690	35,30	58,83
			17200	29,80	49,67
			17470	26,10	43,50
			17670	22,70	37,83
	6	30,4	68	45,50	75,83
			1122	45,10	75,17
			2120	44,70	74,50
			3026	44,30	73,83
			3775	44,10	73,50
			4505	43,80	73,00
			5640	43,10	71,83
			7010	42,90	71,50
			8300	42,70	71,17
			12100	42,00	70,00
			13870	41,30	68,83
			15720	40,80	68,00
			16710	34,70	57,83
			17200	29,30	48,83
			17430	26,00	43,33
			17630	22,70	37,83
	7	30,6	79	45,50	75,83
			1224	45,10	75,17
			2125	44,70	74,50
			2942	44,40	74,00
			3795	44,10	73,50
			4438	43,80	73,00
			5640	43,40	72,33
			7640	42,90	71,50
			8260	42,70	71,17
			12190	42,00	70,00
			14000	41,20	68,67
			15680	40,80	68,00
			16670	34,80	58,00

			17160	29,30	48,83
			17410	25,80	43,00
			17600	22,60	37,67

YH-46X76 típusú napelem:

YH-46X76					
0 cm távolság:	Mérések száma	Hőmérséklet [°C]	U_vált [mV]	U_sönt [mV]	I [mA]
	1	68	3,6	62,9	104,83
			62,5	62,8	104,67
			181,9	62,4	104,00
			308,0	59,0	98,33
			350,0	54,0	90,00
			370,4	49,3	82,17
			391,5	43,2	72,00
			408,5	37,2	62,00
			420,1	32,6	54,33
			430,0	28,3	47,17
			435,1	26,0	43,33
			439,2	24,0	40,00
			464,4	12,3	20,50
			471,7	8,4	14,00
			475,7	6,2	10,33
			477,7	5,0	8,33
			479,0	4,2	7,00
			479,9	3,6	6,00
			480,4	3,2	5,33
			480,5	3,0	5,00
	2	72	2,8	62,1	103,50
			61,7	62,0	103,33
			203,5	61,4	102,33
			304,9	58,1	96,83
			336,0	53,6	89,33
			358,1	49,9	83,17
			381,0	43,7	72,83
			404,9	35,5	59,17
			414,0	32,0	53,33
			420,5	29,1	48,50
			427,4	26,1	43,50
			433,8	23,2	38,67
			457,4	12,3	20,50
			465,4	8,2	13,67
			469,5	6,1	10,17

			471,6	5,0	8,33
			473,2	4,2	7,00
			474,3	3,6	6,00
			475,1	3,1	5,17
			475,4	3,0	5,00
	3	75	2,7	62,0	103,33
			85,3	61,9	103,17
			226,1	61,0	101,67
			329,1	54,7	91,17
			345,0	53,0	88,33
			358,7	49,2	82,00
			382,0	42,5	70,83
			399,0	36,6	61,00
			410,9	32,1	53,50
			419,7	28,6	47,67
			425,3	26,2	43,67
			428,8	24,7	41,17
			455,7	12,4	20,67
			464,2	8,3	13,83
			468,3	6,3	10,50
			470,7	5,0	8,33
			472,4	4,2	7,00
			473,5	3,6	6,00
			474,4	3,1	5,17
			474,6	3,0	5,00
	4	76	2,7	62,9	104,83
			85,3	62,7	104,50
			247,5	61,2	102,00
			327,9	55,1	91,83
			340,0	53,2	88,67
			360,8	48,2	80,33
			385,0	41,0	68,33
			397,9	35,4	59,00
			407,6	32,8	54,67
			417,0	29,1	48,50
			424,1	26,1	43,50
			427,6	24,6	41,00
			454,6	12,3	20,50
			462,8	8,3	13,83
			467,2	6,2	10,33
			469,5	5,0	8,33
			471,0	4,2	7,00
			472,1	3,5	5,83

			472,9	3,1	5,17
			473,1	3,0	5,00
	5	77	2,7	62,6	104,33
			66,8	62,5	104,17
			225,9	61,6	102,67
			316,5	56,7	94,50
			332,0	55,0	91,67
			354,6	49,8	83,00
			385,5	41,0	68,33
			398,5	36,4	60,67
			408,5	32,8	54,67
			419,2	28,4	47,33
			424,8	26,2	43,67
			430,1	23,8	39,67
			455,1	12,1	20,17
			463,1	8,2	13,67
			467,2	6,2	10,33
			469,3	5,0	8,33
			471,0	4,2	7,00
			472,2	3,6	6,00
			473,0	3,1	5,17
			473,3	3,0	5,00
	6	78	2,7	62,5	104,17
			61,8	62,3	103,83
			203,0	61,8	103,00
			317,0	56,7	94,50
			338,0	54,0	90,00
			355,2	49,8	83,00
			384,6	41,4	69,00
			395,8	37,4	62,33
			408,2	32,7	54,50
			417,5	29,0	48,33
			424,4	26,0	43,33
			430,9	23,2	38,67
			454,5	12,2	20,33
			462,3	8,3	13,83
			466,3	6,1	10,17
			468,5	5,0	8,33
			470,0	4,1	6,83
			471,2	3,5	5,83
			471,8	3,1	5,17
			471,9	3,0	5,00
	7	79	2,7	62,4	104,00

			61,6	62,3	103,83
			179,7	61,9	103,17
			302,8	58,0	96,67
			329,9	54,4	90,67
			354,8	49,6	82,67
			385,5	40,8	68,00
			398,3	36,3	60,50
			408,0	32,6	54,33
			417,3	28,9	48,17
			425,4	25,5	42,50
			428,7	24,0	40,00
			454,1	12,3	20,50
			462,2	8,3	13,83
			466,3	6,2	10,33
			468,8	4,9	8,17
			470,2	4,2	7,00
			471,2	3,5	5,83
			472,1	3,1	5,17
			472,4	3,0	5,00
25 cm távolság:					
	1	37,1	5,8	28,8	48,02
			30,9	28,6	47,68
			107,1	28,3	47,17
			162,1	28,2	47,00
			216,9	28,1	46,83
			270,5	28,0	46,67
			304,2	27,8	46,33
			352,2	27,5	45,83
			394,0	26,7	44,50
			422,7	25,3	42,17
			437,9	23,9	39,83
			493,8	13,0	21,67
			506,0	8,8	14,67
			512,0	6,6	11,00
			515,0	5,3	8,83
			517,0	4,5	7,50
			518,0	3,8	6,33
			519,0	3,3	5,50
			520,0	3,2	5,33
	2	38,2	3,9	28,5	47,50
			39,9	28,4	47,33
			95,7	28,3	47,17

			162,2	28,2	47,00
			217,4	28,1	46,83
			270,6	28,0	46,67
			312,5	27,8	46,33
			351,6	27,5	45,83
			393,5	26,5	44,17
			418,7	25,1	41,83
			433,2	23,7	39,50
			487,7	12,9	21,50
			500,0	8,7	14,50
			506,0	6,5	10,83
			509,0	5,3	8,83
			512,0	4,4	7,33
			513,0	3,8	6,33
			514,0	3,3	5,50
			515,0	3,2	5,33
	3	39,5	2,4	28,5	47,50
			31,6	28,4	47,33
			107,0	28,3	47,17
			162,3	28,2	47,00
			217,2	28,1	46,83
			260,3	28,0	46,67
			312,4	27,8	46,33
			351,5	27,5	45,83
			391,5	26,5	44,17
			418,3	25,0	41,67
			435,7	23,4	39,00
			487,1	12,9	21,50
			499,8	8,8	14,67
			506,0	6,5	10,83
			509,0	5,3	8,83
			511,0	4,4	7,33
			513,0	3,8	6,33
			514,0	3,3	5,50
			515,0	3,2	5,33
	4	40,3	3,1	28,5	47,50
			28,8	28,4	47,33
			96,0	28,3	47,17
			162,0	28,2	47,00
			205,7	28,1	46,83
			260,0	28,0	46,67
			312,1	27,8	46,33
			350,7	27,4	45,67

			390,7	26,5	44,17
			417,7	25,0	41,67
			432,2	23,7	39,50
			486,7	12,9	21,50
			499,6	8,7	14,50
			505,0	6,5	10,83
			509,0	5,3	8,83
			511,0	4,4	7,33
			513,0	3,8	6,33
			514,0	3,3	5,50
			514,0	3,2	5,33
	5	40,5	2,8	28,5	47,50
			29,0	28,4	47,33
			106,9	28,3	47,17
			162,1	28,2	47,00
			217,0	28,1	46,83
			270,3	28,0	46,67
			312,0	27,8	46,33
			350,8	27,4	45,67
			391,1	26,5	44,17
			421,7	24,7	41,17
			435,1	23,3	38,83
			487,0	12,7	21,17
			499,4	8,7	14,50
			505,0	6,5	10,83
			508,0	5,3	8,83
			511,0	4,4	7,33
			512,0	3,8	6,33
			513,0	3,3	5,50
			514,0	3,2	5,33
	6	40,5	2,8	28,5	47,50
			39,0	28,4	47,33
			95,9	28,3	47,17
			162,1	28,2	47,00
			217,2	28,1	46,83
			270,7	28,0	46,67
			302,2	27,8	46,33
			350,7	27,4	45,67
			390,7	26,5	44,17
			425,3	24,3	40,50
			434,9	23,3	38,83
			487,1	12,6	21,00
			499,4	8,7	14,50

			505,0	6,6	11,00
			508,0	5,3	8,83
			510,0	4,4	7,33
			512,0	3,8	6,33
			513,0	3,3	5,50
			514,0	3,2	5,33
	7	40,6	2,6	28,5	47,50
			39,0	28,4	47,33
			119,2	28,3	47,17
			162,0	28,2	47,00
			205,8	28,1	46,83
			270,2	28,0	46,67
			311,9	27,8	46,33
			350,8	27,4	45,67
			396,8	26,2	43,67
			421,5	24,7	41,17
			434,7	23,3	38,83
			486,2	12,9	21,50
			499,2	8,7	14,50
			505,0	6,6	11,00
			508,0	5,3	8,83
			510,0	4,4	7,33
			512,0	3,8	6,33
			513,0	3,3	5,50
			514,0	3,2	5,33
40 cm távolság:					
	1	34,8	1,3	18,0	30,00
			18,5	17,9	29,83
			67,8	17,9	29,83
			110,0	17,8	29,67
			130,9	17,8	29,67
			172,3	17,7	29,50
			199,8	17,7	29,50
			227,0	17,6	29,33
			267,1	17,5	29,17
			300,0	17,4	29,00
			332,1	17,3	28,83
			375,0	16,9	28,17
			420,0	15,6	26,00
			474,3	12,4	20,67
			497,0	8,6	14,33
			505,0	6,5	10,83

			510,0	5,2	8,67
			513,0	4,4	7,33
			515,0	3,8	6,33
			516,0	3,3	5,50
			517,0	3,1	5,17
	2	35,2	1,5	17,9	29,83
			18,2	17,9	29,83
			67,5	17,8	29,67
			103,6	17,7	29,50
			130,4	17,7	29,50
			178,2	17,6	29,33
			205,5	17,6	29,33
			225,8	17,5	29,17
			265,7	17,4	29,00
			304,9	17,3	28,83
			336,2	17,2	28,67
			372,0	16,9	28,12
			418,0	15,5	25,90
			470,5	12,1	20,17
			491,9	8,5	14,17
			501,0	6,4	10,67
			505,0	5,2	8,67
			508,0	4,4	7,33
			510,0	3,7	6,17
			512,0	3,3	5,50
			513,0	3,1	5,17
	3	35,3	1,3	17,8	29,67
			18,3	17,8	29,67
			53,2	17,8	29,67
			95,2	17,7	29,50
			136,7	17,6	29,33
			177,8	17,6	29,33
			205,2	17,5	29,17
			231,7	17,5	29,17
			258,6	17,4	29,00
			297,6	17,3	28,83
			323,0	17,2	28,67
			370,0	16,9	28,13
			423,0	15,5	25,80
			467,2	12,3	20,50
			490,1	8,4	14,00
			499,2	6,4	10,67
			504,0	5,2	8,67

			506,0	4,3	7,17
			509,0	3,7	6,17
			510,0	3,3	5,50
			511,0	3,1	5,17
	4	35,4	1,3	17,8	29,67
			18,4	17,8	29,67
			53,1	17,7	29,50
			101,9	17,7	29,50
			130,4	17,6	29,33
			163,8	17,6	29,33
			197,7	17,5	29,17
			238,0	17,4	29,00
			264,6	17,4	29,00
			297,0	17,3	28,83
			322,3	17,2	28,67
			380,0	16,9	28,11
			421,0	15,5	25,80
			466,0	12,2	20,33
			489,0	8,5	14,17
			498,0	6,4	10,67
			502,0	5,2	8,67
			506,0	4,4	7,33
			508,0	3,7	6,17
			509,0	3,3	5,50
			510,0	3,1	5,17
	5	35,5	1,2	17,8	29,67
			18,7	17,8	29,67
			60,0	17,7	29,50
			95,1	17,6	29,33
			129,4	17,6	29,33
			170,4	17,5	29,17
			190,6	17,5	29,17
			224,3	17,4	29,00
			257,6	17,4	29,00
			283,7	17,3	28,83
			309,4	17,2	28,67
			323,0	16,9	28,09
			426,0	15,5	25,76
			465,4	12,2	20,33
			488,1	8,5	14,17
			497,5	6,4	10,67
			502,0	5,1	8,50
			505,0	4,3	7,17

			507,0	3,7	6,17
			509,0	3,3	5,50
			510,0	3,1	5,17
	6	35,6	0,8	17,8	29,67
			18,2	17,7	29,50
			60,0	17,7	29,50
			95,7	17,6	29,33
			129,3	17,6	29,33
			163,5	17,5	29,17
			197,4	17,5	29,17
			224,1	17,4	29,00
			257,4	17,3	28,83
			295,0	17,2	28,67
			315,4	16,7	27,89
			380,0	16,3	27,13
			428,0	15,4	25,70
			465,0	12,2	20,33
			487,5	8,5	14,17
			497,0	6,4	10,67
			501,0	5,2	8,67
			504,0	4,3	7,17
			507,0	3,7	6,17
			508,0	3,3	5,50
			509,0	3,1	5,17
	7	35,7	0,8	17,8	29,67
			18,2	17,7	29,50
			60,0	17,7	29,50
			108,5	17,6	29,33
			136,0	17,6	29,33
			163,4	17,5	29,17
			193,8	17,5	29,17
			217,9	17,4	29,00
			257,1	17,3	28,83
			189,6	17,2	28,67
			315,2	17,1	28,50
			335,0	16,8	27,99
			421,0	15,6	25,99
			464,7	12,2	20,33
			487,5	8,5	14,17
			496,7	6,4	10,67
			501,0	5,2	8,67
			504,0	4,3	7,17
			506,0	3,7	6,17

			508,0	3,3	5,50
			509,0	3,1	5,17

DSSC típusú napelem:

DSSC					
0 cm távolság:	Mérések száma	Hőmérséklet [°C]	U_vált [mV]	U_sönt [mV]	I [mA]
	1	40	1,9	33,2	55,33
			33,6	31,3	52,17
			92,0	27,4	45,67
			137,0	24,0	40,00
			160,6	22,0	36,67
			192,9	19,3	32,17
			207,4	17,9	29,83
			219,6	16,7	27,83
			230,3	15,6	26,00
			241,4	14,5	24,17
			251,1	13,5	22,50
			304,9	8,1	13,50
			327,7	5,7	9,50
			340,2	4,3	7,17
			346,7	3,6	6,00
			351,0	3,0	5,00
			354,2	2,5	4,17
			356,4	2,3	3,83
			356,9	2,1	3,50
	2	42,5	1,8	31,2	52,00
			40,7	28,8	48,00
			87,3	25,7	42,83
			129,7	22,6	37,67
			152	20,9	34,83333
			178,8	18,6	31
			196,8	17,0	28,33
			211,4	15,6	26,00
			223,7	14,4	24,00
			238,1	13,0	21,67
			243,1	12,5	20,83
			291,8	7,8	13,00
			314,0	5,5	9,17
			326,2	4,2	7,00
			332,7	3,4	5,67
			337,5	2,9	4,83
			340,7	2,5	4,17

			342,8	2,2	3,67
			343,3	2,1	3,50
	3	43,7	1,8	31,1	51,83
			40,5	28,8	48,00
			86,5	25,7	42,83
			122,3	22,9	38,17
			150,4	20,6	34,33
			176,7	18,3	30,50
			191,0	17,0	28,33
			206,0	15,6	26,00
			225,1	13,8	23,00
			234,7	12,8	21,33
			244,2	11,8	19,66667
			288,2	7,6	12,66667
			309,4	5,3	8,83
			320,0	4,1	6,83
			327,0	3,4	5,67
			331,5	2,8	4,67
			334,7	2,4	4,00
			336,8	2,1	3,50
			337,3	2,0	3,33
	4	44	1,8	30,7	51,17
			49,3	27,7	46,17
			107,1	23,6	39,33
			137,7	21,2	35,33
			162,0	19,2	32,00
			185,2	17,1	28,50
			200,7	15,7	26,17
			213,1	14,5	24,17
			226,1	13,2	22,00
			233,3	12,5	20,83
			239,6	11,9	19,83
			283,5	7,6	12,67
			305,4	5,3	8,83
			316,1	4,1	6,83
			323,0	3,3	5,50
			327,2	2,8	4,67
			330,5	2,4	4
			332,7	2,1	3,5
			333,2	2,0	3,33
	5	44,4	1,7	30,3	50,50
			38,3	27,9	46,50
			89,6	24,6	41,00

			128,0	21,5	35,83
			148,3	19,1	31,83
			176,4	17,2	28,67
			189,1	15,6	26,00
			207,6	14,8	24,67
			220,3	13,6	22,67
			230,9	12,3	20,50
			233,8	11,8	19,67
			281,6	7,5	12,50
			300,0	5,2	8,67
			311,7	4,0	6,67
			318,5	3,2	5,33
			322,7	2,8	4,67
			325,7	2,4	4,00
			327,8	2,1	3,50
			331,4	2,0	3,33
	6	44,5	1,7	29,9	49,83
			40,2	27,8	46,33
			100,3	24,1	40,17
			124,2	22,1	36,83333
			150	19,2	32
			184,2	16,9	28,17
			190,1	15,7	26,17
			208,2	14,0	23,33
			223,1	12,9	21,50
			234,1	12,4	20,67
			242,0	12,0	20,00
			280,5	7,3	12,17
			302,1	5,2	8,67
			310,2	4,0	6,67
			320,7	3,2	5,33
			324,2	2,8	4,67
			327,7	2,4	4,00
			329,3	2,1	3,50
			330,2	2,0	3,33
	7	45	1,6	30,1	50,17
			39,3	27,3	45,50
			92,3	24,8	41,33
			127,3	22,5	37,50
			148,3	19,9	33,17
			176,4	17,8	29,67
			188,3	16,3	27,17
			210,6	15,1	25,17

			225,9	13,6	22,67
			230,9	12,4	20,66667
			232,3	11,9	19,83333
			280,6	7,7	12,83
			300,0	5,3	8,83
			310,1	4,0	6,67
			316,5	3,2	5,33
			320,3	2,8	4,67
			324,6	2,4	4,00
			327,8	2,1	3,50
			328,3	2,0	3,33