

# **SZAKDOLGOZAT**

**Torday Nándor**

**2024**



**Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem**  
**Szent István Campus**  
**Műszaki intézet**  
**Mechatronikai mérnöki alapképzési szak**

**Napkövető napelemes rendszer tervezése és vizsgálata**

|                                               |                                                        |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| <b>Belső konzulens:</b>                       | Dr. Gergely Zoltán Albert<br>Egyetemi adjunktus        |
| <b>Belső konzulens<br/>intézete/tanszéke:</b> | <b>Műszaki Intézet</b><br><b>Járműtechnika Tanszék</b> |
| <b>Készítette:</b>                            | <b>Torday Nándor</b>                                   |

**Gödöllő**  
**2024**

# Tartalomjegyzék

|        |                                                          |    |
|--------|----------------------------------------------------------|----|
| 1.     | Bevezetés és célkitűzések.....                           | 3  |
| 1.1.   | A napenergia felhasználásának jelentősége .....          | 3  |
| 1.2.   | Célkitűzés.....                                          | 4  |
| 2.     | Szakirodalmi áttekintés .....                            | 5  |
| 2.1.   | Energiatípusok .....                                     | 5  |
| 2.1.1. | Nem megújuló energiaforrások .....                       | 5  |
| 2.1.2. | Megújuló energiaforrások .....                           | 5  |
| 2.1.3. | A világ energiafelhasználása .....                       | 6  |
| 2.2.   | A napenergia alkalmazásának előnyei .....                | 6  |
| 2.2.1. | Magyarország helyzete.....                               | 7  |
| 2.3.   | Napelemek működése, felépítése.....                      | 8  |
| 2.3.1. | A napelemek működése.....                                | 9  |
| 2.3.2. | A szilícium kristályos napelemes modulok felépítése..... | 10 |
| 2.4.   | Napelemek típusai.....                                   | 13 |
| 2.4.1. | Polikristályos napelemek.....                            | 13 |
| 2.4.2. | Monokristályos napelemek.....                            | 13 |
| 2.4.3. | Amorf típusú napelemek .....                             | 13 |
| 2.4.4. | Vékonyrétegű technológiák.....                           | 14 |
| 2.5.   | Napelem jelleggörbék .....                               | 16 |
| 2.5.1. | Áram – feszültség jelleggörbe.....                       | 16 |
| 2.5.2. | Ellenállás jelleggörbe .....                             | 17 |
| 2.5.3. | Kitöltési tényező.....                                   | 17 |
| 2.5.4. | Hatásfok .....                                           | 18 |
| 2.5.5. | Jelleggörbék időjárásfüggése .....                       | 19 |
| 2.6.   | Napelemek degradációja.....                              | 21 |
| 2.6.1. | Hőterhelés.....                                          | 21 |
| 2.6.2. | PID .....                                                | 21 |
| 2.6.3. | Elszíneződés.....                                        | 21 |
| 2.6.4. | Rétegenkénti leválás, korrózió .....                     | 22 |
| 2.6.5. | Mikrorepedések és „forró pontok”.....                    | 22 |
| 2.7.   | Napkövető rendszerek.....                                | 23 |
| 3.     | A téma feldolgozása .....                                | 26 |
| 3.1.   | Tervek .....                                             | 26 |
| 3.1.1. | Funkciók.....                                            | 26 |
| 3.1.2. | Tervezés menete .....                                    | 26 |

|        |                                           |    |
|--------|-------------------------------------------|----|
| 3.2.   | Hardware.....                             | 27 |
| 3.2.1. | Első elgondolások .....                   | 27 |
| 3.2.2. | Napelem kiválasztása .....                | 28 |
| 3.2.3. | Tartó ,– mozgatószerkezet.....            | 29 |
| 3.2.4. | Aktuátorok kiválasztása .....             | 33 |
| 3.2.5. | Vezérlőegység kiválasztása .....          | 35 |
| 3.2.6. | LDR szenzorok.....                        | 36 |
| 3.2.7. | LDR – ek érzékenységeinek beállítása..... | 39 |
| 3.3.   | Elektronikai kapcsolás .....              | 42 |
| 3.4.   | Software .....                            | 44 |
| 3.5.   | Adatkiértékelés .....                     | 46 |
| 3.5.1. | Hardware .....                            | 46 |
| 3.5.2. | Software .....                            | 47 |
| 3.6.   | Mérés.....                                | 49 |
| 3.6.1. | Kész szerkezet.....                       | 49 |
| 3.6.2. | Mérés.....                                | 49 |
| 4.     | Eredmények és értékelés .....             | 51 |
| 4.1.   | Eredmények .....                          | 51 |
| 4.1.1. | A megtermelt energia különbsége .....     | 52 |
| 4.2.   | Következtetések és javaslatok.....        | 52 |
| 4.2.1. | Továbbfejlesztési lehetőségek .....       | 53 |
| 5.     | Összefoglalás.....                        | 54 |
| 6.     | Summary .....                             | 55 |
| 7.     | Irodalomjegyzék.....                      | 56 |
| 8.     | Ábrák és táblázatok jegyzéke .....        | 58 |
| 8.1.   | Ábrák.....                                | 58 |
| 8.2.   | Táblázatok.....                           | 59 |
| 9.     | Mellékletek.....                          | 60 |

# 1. Bevezetés és célkitűzések

## 1.1. A napenergia felhasználásának jelentősége

Egy óra alatt a Földre érkező napenergia mennyisége több, mint amit az emberiség egy év alatt felhasznál. Ez egy viszonylag közismert tény, mégis a Napból érkező megújuló energia felhasználása csak az utóbbi években kapott jelentősebb, de még így sem elég nagy figyelmet. Az előző után egy további biztató tény, hogy bár a becslések szerint Napunk 5 milliárd éves kora körül lehet, az asztrofizikusok még legalább ugyanennyi élettartamot jósolnak neki. Nem merész kijelentés tehát, hogy emberi léptékekkel mérve galaxisunk központi csillaga egy biztos és kimeríthetetlen energiaforrásként áll a rendelkezésünkre. (Kereszturi & Tepliczky, 2003)

A napenergia felhasználásának mostani népszerűsége nagy részben az elmúlt években jelentkező energiaválságnak köszönhető. Az elkövetkező néhány évtizedben azonban egyre inkább érzékelhetővé válik majd a globális energiaválság, amely kihívást jelent mind a fenntarthatóság, mind pedig a gazdasági fejlődés szempontjából. Most a mindenütt érzékelhető áremelkedés az azonnali reakció a kínálat jelenlegi és várható további csökkenésére. Azonban könnyen lehet, hogy eljön az az idő, amikor nem az lesz a legfontosabb kérdés, hogy mi mennyibe kerül, hanem hogy van - e egyáltalán.

Ennek fényében figyelmünket muszáj az önállóságra és a megújuló energiaforrásokra irányítanunk. A Földünk és a bolygón lévő élet megóvásáért folyó harcban a napelemek - mint kulcsfontosságú megújuló energiaforrások - játszanak kiemelt szerepet. Különösen igaz ez Magyarországra, ahol nincsenek nagy esésű és bővizű hegyi folyók, vagy széles tengerpartok. Ami a fosszilis energiaforrásokat illeti, az ország szénbányái kimerültek és bezártak, a hazai kőolaj és földgázkészletek pedig csak a töredékét biztosítják a belföldi felhasználási igénynek (mondani sem kell, hogy évről évre kisebb mértékben). (Sajtófigyelés, 2022)

Összességében tehát, Magyarország jelentős energiaiimportra szorul a legtöbb európai országhoz hasonlóan. Az átlagos energiafüggési mutató azt mutatja meg, hogy a teljes energiafelhasználáson belül mekkora az aránya az energia - importnak egy adott országban. Az Eurostat adatai szerint az EU mutatója 57,5 százalékos volt 2020-ban. Magyarországon ez az érték igen közel van az európai átlaghoz, számszerűen 56,6 %, és az utóbbi évek tendenciáját nézve nagyon kis mértékben csökken a ráta. Az előző kijelentésből levonható, hogy az az utópia, hogy az ország energiaellátás szempontjából teljesen független lesz, még hozzá ezt megújuló energiaforrásokkal megvalósítva, nagyon távolinak tűnik. (Sajtófigyelés, 2022)

Felmerül tehát a kérdés bennünk: Mit kell tennünk azért, hogy a mindennapi életünkhöz elengedhetetlenül szükséges energiát fenntartható és a környezetünket legkevésbé terhelő módon állítsuk elő? Úgy hiszem, hogy még nem késő ezzel a kérdéssel foglalkoznunk, hogy még megállíthatók, illetve visszafordíthatók azok a folyamatok, amik most egyre növekvő mértékben a Földünk élővilágát veszélyeztetik. Jelenleg talán ez lehet a legfontosabb felvetése az emberiségnek, hiszen a kérdés megválaszolása a kulcsa annak, hogy gyermekeink számára egy élhető bolygót hagyjunk hátra. Ez a felismerés adta a motivációt arra, hogy egy, a megújuló energiával, azon belül is a napenergia napelemekkel történő hasznosításával foglalkozó témát válasszak szakdolgozatomnak.

## **1.2. Célkitűzés**

Szakdolgozatom legfőbb célja, hogy megvizsgáljak egy módszert, ami a napenergia hasznosításának maximalizálására törekszik. Meg fogok tervezni és építeni egy komplett napkövető napelemes rendszert, majd annak megtermelt energiáját egy fix telepítésű napelemével össze fogom vetni. Végül több szempontból is következtetéseket fogok levonni arra irányulóan, hogy mennyire hatékony ez a megoldás a napenergia nagyobb mértékű kiaknázására.

Mindenekelőtt részletesen át fogom tekinteni és be fogom mutatni a napelemeket általánosságban (működésük, felépítésük, típusaik), majd kitérek a villamos jellemzőikre (jelleggörbéik), szót ejtek utána a degradációjukról is, végül csak röviden magukról a napkövető rendszerekről, hiszen a szakdolgozatomban a tervezés során részletesen kifejtem majd ezt a témát. A szakirodalom feldolgozása után tervet fogok vázolni a projektem megvalósításához, aztán elkezdem a tényleges, gyakorlati munkát. Ez a munka áll az alkatrészek kiválasztásából, a tartó – mozgatószerkezet megtervezéséből és megépítéséből, a nyomkövetés érzékenységének optimalizálásából, magában foglalja az elektronikai kapcsolást, a szoftver részét a működésnek, illetve a teljesítmény mérésének a módját.

Ezután elvégzem a mérést egy napsütéses napon napfelkeltétől naplementéig, közben folyamatosan mérem a két napelem teljesítményét, ami adatokat tárolva utána egy Excel táblában grafikon formájában meg tudom jeleníteni. Kiszámolom az összes leadott energiát mindkét esetben, majd megkapom, hogy mennyivel többet termel a napkövető rendszer, amiből utána remélhetőleg értékes következtetéseket tudok majd levonni. Az eredmények bemutatása és elemzése után végül kitérek a továbbfejlesztési lehetőségekre is.

## 2. Szakirodalmi áttekintés

Mielőtt belevágnánk a napelemek és a napelemes rendszerek működésének, jellemzőinek tanulmányozásába, érdemes lehet egy kis kitérőt tenni, és röviden megvizsgálni, hogy magát az energiát milyen típusokra tudjuk bontani. Az pedig egy külön érdekesség és gondolatébresztő tény lehet sokak számára, hogy jelenleg hogyan oszlik el az elsődleges energiafelhasználás a világban, így a következő fejezetben ezzel is foglalkozok.

### 2.1. Energiatípusok

A mai jóléti társadalom, a modern élet elképzelhetetlen lenne energia nélkül, amit kétféle módon állíthatunk elő. Az egyik a nem megújuló forrásokból származó, a másik pedig a megújuló forrásokból kinyerhető energia.

#### 2.1.1. *Nem megújuló energiaforrások*

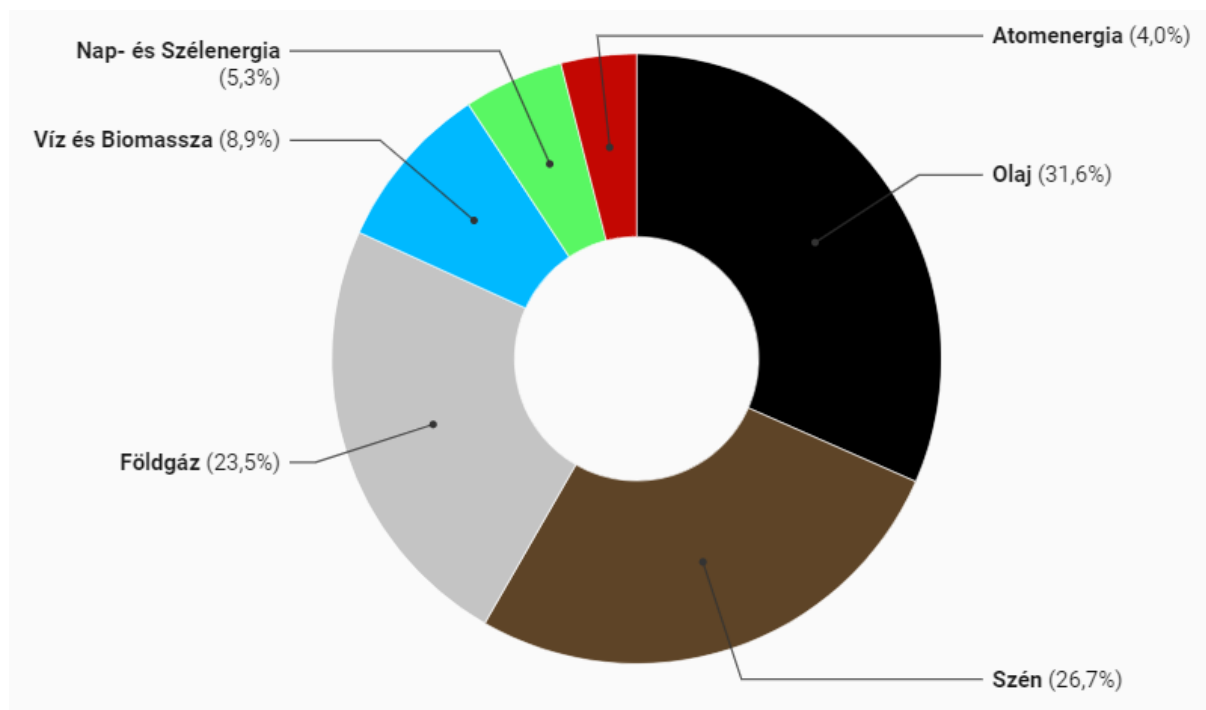
Ez a típusú energiaforrás – ahogy arra a neve is utal – korlátozottan fellelhető a földön, és mennyisége egyre csökken a folyamatos kitermelés miatt. Előállításuk költséges, felhasználásuk pedig nagy mértékben környezetszennyező. A földünket érintő környezeti változásokban és a globális klímaváltozásban jelentős szerepet játszó tényező a fosszilis tüzelőanyagok égése során keletkező szén – dioxid kibocsátása. Persze a kimerülő energiaforrások is újratermelődnek idővel, hiszen a szenesedés, illetve kőolajképződés folyamatosan zajlik. A probléma ezzel, hogy ezek a források kiapadnak, ha a kiaknázás gyorsabban történik, mint az újratermelődés, és ez sajnos így van. (Debreczeni, 2012)

#### 2.1.2. *Megújuló energiaforrások*

A megújuló energiaforrások ez előzővel ellentétben bőségesen rendelkezésre állnak a Földön, és mindenki számára lehetőséget kínálnak a tiszta és fenntartható energiák felhasználására. Amennyiben ki szeretnénk valamivel váltani a fosszilis tüzelőanyagokat, ezen források kihasználása és széleskörű elterjedése adhatja a megoldást. A megújuló energiaforrások közé soroljuk a napenergiát, a szélenergiát, a tágabb értelemben vett vízi energiát (ide sorolva a szárazföldi folyóvizek, illetve az óceáni árapály jelenség felhasználásából nyerhető energiát), a biomasszából nyerhető energiát, illetve a geotermikus energiát. Az persze magától értetődő, hogy a Föld különböző régióiban más és más megújuló energiaforrás hasznosításához kedvezőek az adottságok. (Bartholy, et al., 2013)

### 2.1.3. A világ energiafelhasználása

Ma főként a fosszilis energiaforrások, tehát a kőolaj, a földgáz és a kőszén a legfontosabbak a világ energiaellátása szempontjából. Ez a három energiahordozó fedezi a világfogyasztás több, mint háromnegyedét. Az Energy Institute 2022 – es adatai alapján az 1. ábra mutatja a világ elsődleges energiafelhasználását a különböző energiatípusokra lebontva.



1. ábra: A világ energiafelhasználása (Energy Institute, 2023)

Az ábra alapján látható, hogy a fosszilis energia 82% - os részt képvisel a teljes energiafelhasználásból, ami úgy hiszem, valós aggodalomra adhat okot a jövőre nézve. Az atomenergia 4 % - ot tesz ki, bár ez a százalék régen jóval több volt. A 2011-es elrettentő fukushimai atomerőmű katasztrófa ösztönzött több országot, hogy kiszállási menetrendet készítsen az atomenergia villamoserőművi alkalmazásából (Debreczeni, 2012). A megújuló energia egy kicsit több, mint 14 % - os körcikket foglal el, azonban a részesedése évről évre egyre nagyobb, például a napenergiából villamos energia termelés évente több, mint 25 % - al nő. (Energy Institute, 2023)

## 2.2. A napenergia alkalmazásának előnyei

Az eddig elhangzottakon túl, azaz, hogy a napenergia a legígéretesebb megújuló energiaforrás, hogy jelentős mértékben csökkentené a környezetszennyezést és az országok energiahordozó -

importját (amivel javulna a gazdasági helyzet), számos más előnye van a napból származó energia felhasználásának. Csak a legfontosabbakat kiemelve (Debreczeni, 2012):

- a napelemek nem tartalmaznak mozgó, forgó alkatrészeket, így rendkívül hosszú távon lehet velük számolni, évtizedekben mérhető az élettartamuk
- elenyészőek a működtetési költségek
- a szélsőséges időjárást is nagyon jól tűrik
- borús időben jól hasznosítják a szórt fényt
- bár kevesebb a napfény, de hatásfokuk télen kedvezőbb
- legtöbbször a helyfelhasználással nincsen probléma, például nem használt háztetőkön, parlagokon, mezőkön könnyedén elhelyezhető
- a napelemek létesítéséhez és rendes működésük fenntartásához szükséges tervezés, kivitelezés és karbantartás folyamatokkal rengeteg új munkahely nyílik meg
- széleskörben elérhetőek erre irányuló banki hitelkonstrukciók (pályázattal akár 0 % - os kamat is elérhető)

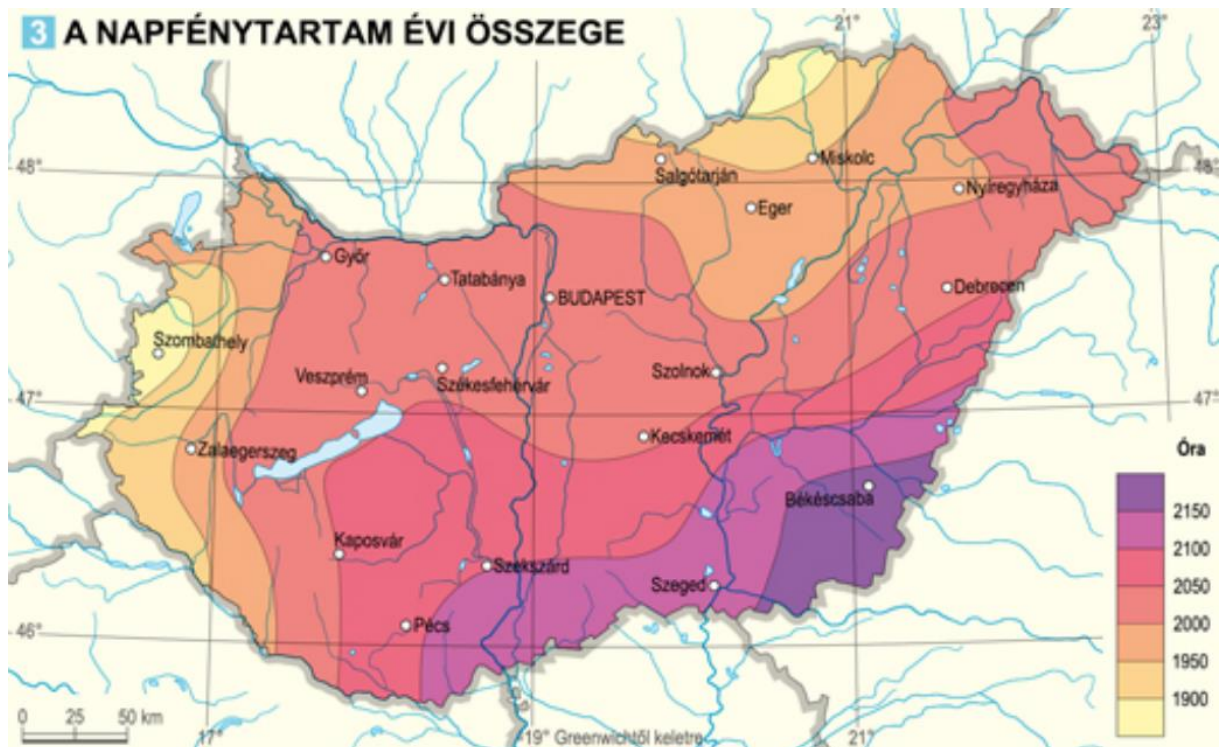
Az például, hogy az idegenforgalom növekszik a tisztább környezet következtében, csak egy a sok további előny közül, amik kevésbé számottevőek most a témánk szempontjából.

### *2.2.1. Magyarország helyzete*

Azt már valamennyire próbáltam szemléltetni, hogy a Földre mekkora mennyiségű napsugárzás érkezik, azonban szűkítve kicsit a látómezőt, érdemes megvizsgálni Magyarország helyzetét a napsugárzás és a lehetőségek szempontjából.

Magyarország az északi mérsékelt övben, azon belül is az északi szélesség 45,8° és 48,6° között helyezkedik el. Földrajzi fekvéséből adódóan, hazánk a közepes adottságú országok közé sorolható. Ehhez képest az ország területe, az egy éves energiafelhasználása és a vízszintes felületre érkező éves átlagos napsugárzás ismeretében könnyedén kiszámítható, hogy Magyarország területére nagyjából 380 - szor akkora mennyiségű napsugárzás érkezik, mint amekkora az ország teljes energia felhasználása. (Debreczeni, 2012)

Az ország legnaposabb részei a középső, déli és délkeleti területek, míg az északi és nyugati területeket valamennyivel kevesebb napsütés éri. Magyarországon belül a napsütéses órák száma 1900 és 2200 óra között változik évente, amit a második ábra szemléltet.



2. ábra: napfénytartam évi összege (Bihari, et al., 2018)

Megvizsgálva az eltérést az egyes országrészek napsugárzás – viszonyai között, az állapítható meg, hogy a különbség a legjobb és a legrosszabb adottságú térség között is kevesebb, mint 10 %. Ez az eltérés nem befolyásolja jelentős mértékben a napenergia hasznosító rendszerek működését, ezért úgy gondolom általánosan kijelenthető, hogy Magyarország egész területe alkalmas napenergiával működő berendezések megvalósítására, legyen szó akár napkollektoros hőtermelő, vagy napelemes villamos rendszerről. (Debreczeni, 2012).

### 2.3. Napelemek működése, felépítése

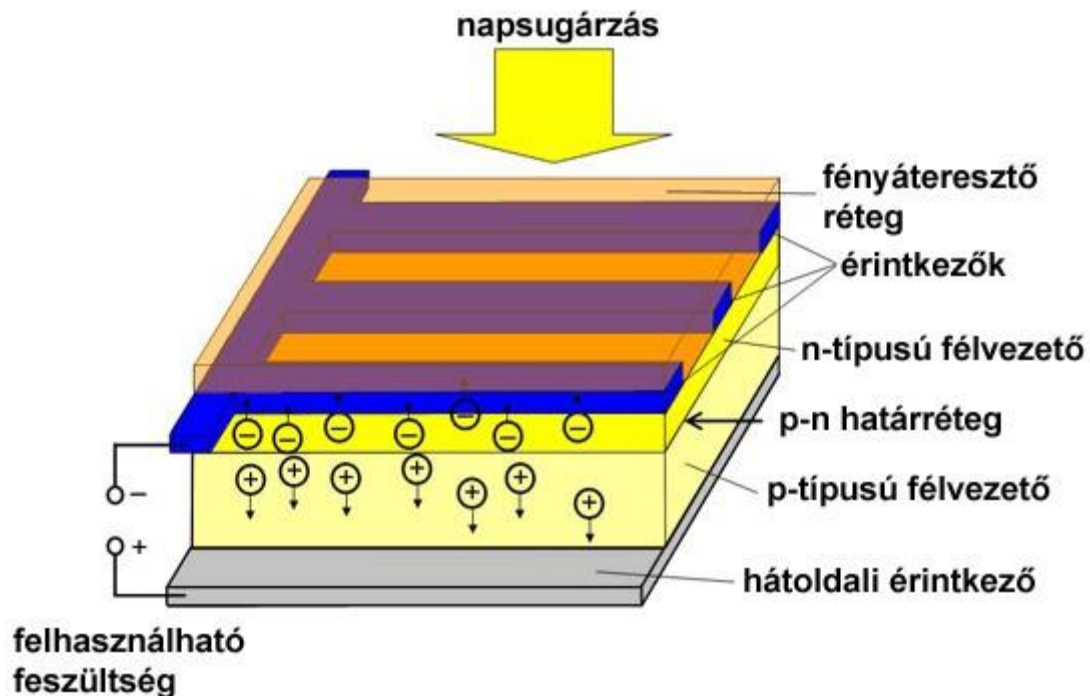
A napelemek olyan berendezések, amik a napenergia hatására a fényelektromos hatás következtében közvetlenül tudnak villamos energiát előállítani. Elterjedt angol neve „solar PV”, azaz „solar PhotoVoltaic”, ebből jött a PV – cella magyarosított kifejezés. A napelemipar a mai korban az egyik legnagyobb fejlődési dinamizmust mutató iparág. Mind lakossági, mind ipari környezetben való felhasználásuk rendkívüli mértékben növekszik. Típustól függ ugyan, de hatásfokuk elérheti a 22 - 25 % - ot is, és a folyamatos fejlődésnek köszönhetően ez az érték egyre magasabb, míg előállítási költségük egyre alacsonyabb. A ma használt napelemek legnagyobb része szilícium félvezetőkön alapszik, azonban a hatásfok növelése érdekében intenzíven zajlik a kutatás új módszerek fejlesztése iránt. A napelemek működésének fizikai háttere után röviden bemutatom a ritkábban használt típusokat is. (Szalánczi, 2020)

### 2.3.1. A napelemek működése

Alapvetően a napelemek felépítése nagyon hasonló a félvezető diódákhoz, működésük alapja a p – n átmenet. Korábban már említettem, hogy a PV – cellának leggyakrabban szilícium az alapja. Ez az elem – stabilitásából adódóan – elméletileg korlátlan ideig változatlan marad, ezért használata igen praktikus. (Bathó, 2010)

Ha a félvezető anyagát a gyártás során elektrontöbblettel rendelkező anyaggal szennyezik, akkor ott a réteg a negatív töltéshordozók többsége miatt negatív töltésűvé válik (innen ered az „n” elnevezés). Si alapú félvezető esetében a szennyező anyag a foszfor (P), ami öt vegyértékelektronnal rendelkezik. Mivel a szilíciumnak csak négy vegyértékelektronja van, a kötés kialakulása után a foszfor ötödik elektronja szabad marad. (Debreczeni, 2012)

Hasonló elveken, ha a félvezetőt elektronhiánnyal rendelkező anyaggal szennyezik, a szerkezetében „lyukak” alakulnak ki, melyek pozitív töltésnek tekinthetők. Ilyen szennyező anyag lehet például bór (B), melynek három elektronja tud kötetést létrehozni, míg a negyedik helyen egy „lyuk” keletkezik. A PV – cella felépítését és működését jól mutatja a 3. ábra. (Debreczeni, 2012)



3. ábra: PV – cella felépítése, működése (Vöröss , 2019)

Alapesetben (tehát bármilyen fényforrás nélkül) a két anyagi tartomány közötti elektromos kontaktus kialakulásának hatására mindkét oldalról töltéshordozók áramlanak a másik oldalra,

ezzel részben semlegesítve egymást. Ennek következtében a határfelületen (egyensúlyi állapotban) töltéshordozókban szegény, úgynevezett kiürített tartomány alakul ki. A szabad töltéshordozók ugyanakkor töltéssel bíró részecskék, amik elektromos teret hoznak létre, amely az „n” rétegtől a „p” réteg felé mutat. Az így kialakult küszöbfeszültség gátolja töltéshordozók további átvándorlását az ellentétes tartományba. (Electrical4U, 2020)

A napelemre eső fény energiával rendelkező részecskékből, fotonokból áll. Amikor a megfelelő hullámhosszúságú fény a p – n határrétegre esik, akkor a fény fotonjai energiájukat átadják az anyagban található elektronoknak, így azok magasabb energiaszintre jutnak, elmozdulásra lesznek képesek. Az elektronok az „n” réteg felé a lyukak pedig a „p” réteg felé vándorolnak, tehát a pólusokon feszültség lesz mérhető. Egy fogyasztót kapcsolva a két réteg kivezetésére, megindul az áram. (Electrical4U, 2020)

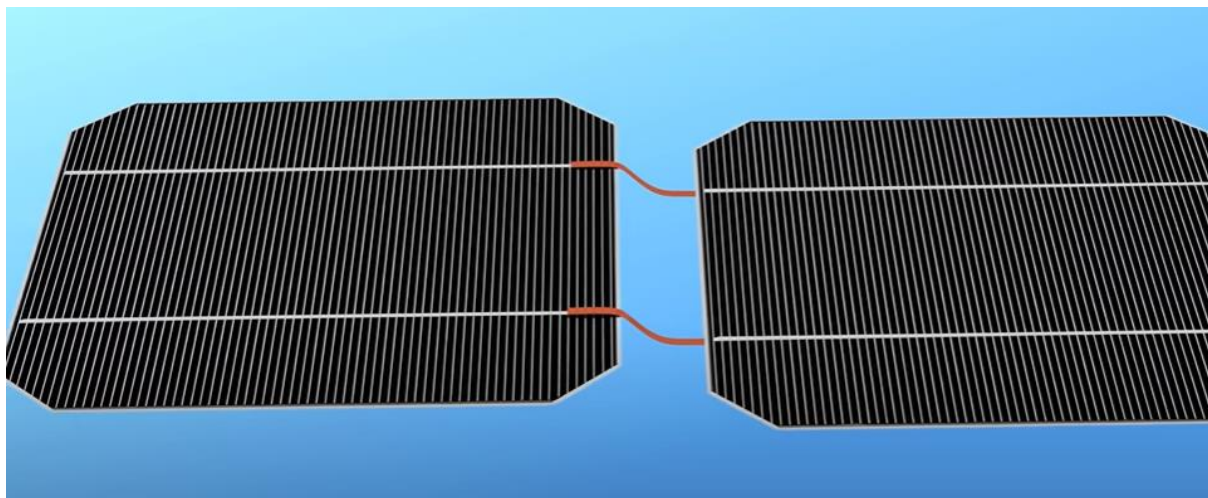
Fontos megemlíteni, hogy az „n” típusú réteg mindig vékonyabb, de erősebben szennyezett mint a „p” típusú. Ennek két oka is van. Az egyik, hogy a vékonyabb réteg miatt értelemeszerűen a fotonok így könnyebben tudnak behatolni a határréteghez. Másrészt pedig ezen határréteg vastagabb lesz, több elektron lesz gerjeszthető (Lesics, 2019).

### *2.3.2. A szilícium kristályos napelemes modulok felépítése*

Mivel a napelem belsejében történő, az előbb részletesebben kifejtett fotovillamos folyamat nem okozza annak elhasználódását, a PV – cellák élettartama elméletileg végtelen lehetne. A gyakorlat azonban azt mutatja, hogy a szilícium kristályos napelemek rendkívül törékenyek, illetve igencsak érzékenyek a nedvességre. Amennyiben kültéri használatra szeretnénk tervezni a napelemeket, biztosítanunk kell egy olyan beágyazást, ami megvédi a külső hatásoktól, ezen felül pedig villamos szigetelést is nyújt. (Debreczeni, 2012)

Ma már az összes Si alapú PV – cella szeletelési technológiával készül. Általában 15 cm<sup>2</sup>, négyzet alakú, 200 – 250 mikrométer vastagságú napcellákból tevődik össze egy 60 vagy 72 cellás napelem (Debreczeni, 2012). Minden cellára vékony, téglalap alakú, rézből készült és ezüsttel bevont fémcsíkok vannak nyomtatva, amelyek vezetik a napelem által generált egyenáramot. Az egyes napcellák alsó részét (pozitív pólusát) egy vagy több fémzalag a felső részhez (negatív pólushoz) köti sorba, ezeket nevezzük fülvezetéknek. A fülhuzal forrasztóréteggel van bevonva annak érdekében, hogy a napcellákhoz való forrasztási eljárást megkönnyítse. Ezeket a szalagokat ugyanolyan anyagból készült, szélesebb fémzalagok (buszvezeték) köti össze. A buszvezetéknek nagyobb áramot kell vezetniük, így azok szélesebbek és vastagabbak az előbbinél. (DS New Energy, 2019)

Tehát, ha egy sorban minden cellát sorba kötünk, a sorokat pedig párhuzamosan kötjük egymáshoz, akkor végül a napelem modult kapjuk. A 4. ábrán látható az elv, ahogy a fülvezetékek sorba kötik az egyes napcellákat.



4. ábra: napcellák sorba kapcsolása (Lesics, 2019)

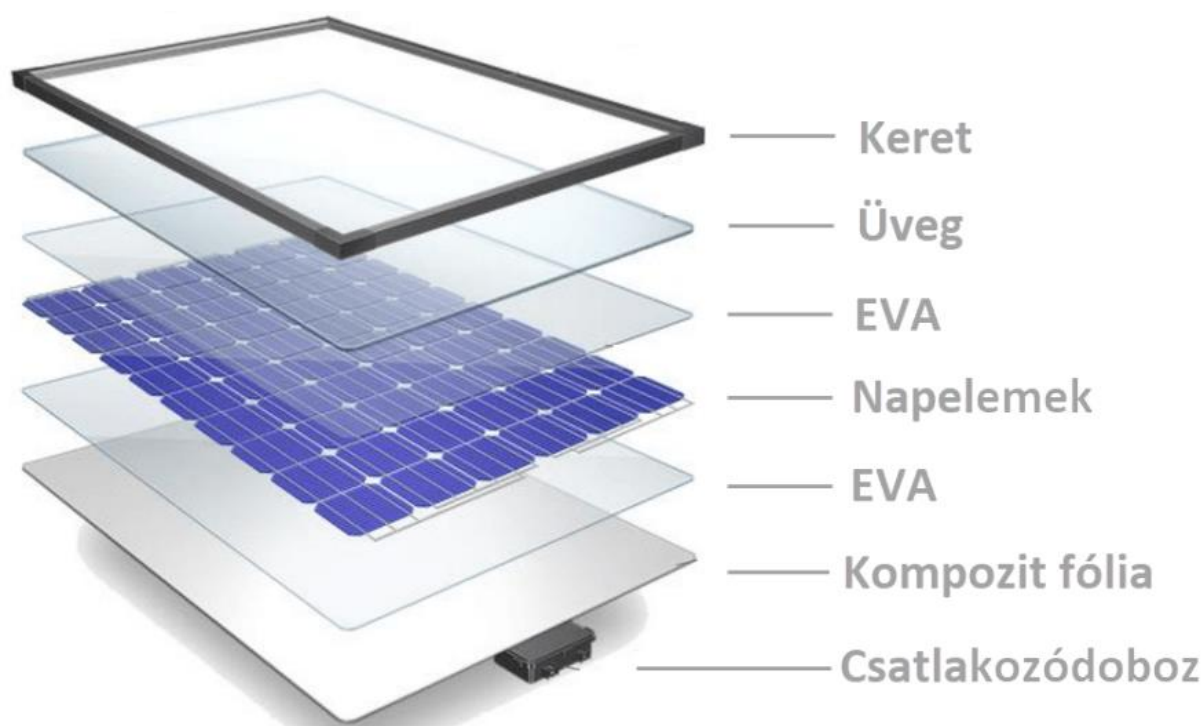
Ezután fontos, hogy a napelem modulok hermetikusan el legyenek szigetelve a környezettől. A PV modulokat EVA (etilén – vinil – acetát) kiöntőgyantával szigetelik. Ez egy speciálisan kialakított, nagyon átlátszó polimer réteg, amely a cellák magas szintű elszigetelésére, illetve gyártás során a helyükön tartására szolgál. A napelemcellák védelme érdekében ez az anyag rendkívül tartós, a szélsőséges hőmérsékletet és páratartalmat jól tűri, a nedvességtől és szennyeződésektől elzárja a cellákat. (Svarc, 2020)

A gyártás során először az elülső üvegréteget borítják be az EVA kiöntőgyantával, majd jön a PV modul, végül még egy réteg gyanta a másik oldalára. Az üveglap védi a napelem cellákat az időjárástól és a levegőben szálló törmeléktől. Az üveg tipikusan edzett, nagy szilárdságú, 3 – 4 mm vastag, és a szélsőséges hőmérsékletváltozásoknak is ellenáll. Az IEC 61215 szabvány ütési tesztje megköveteli, hogy a napelemek ellenálljanak a 25 mm átmérőjű, 23 m/s sebességű jég becsapódásának. Ha mégis baleset következne be, a napelemeknél használt edzett üveg sokkal biztonságosabb, mint a hagyományos fajta, mivel apró darabokra törik, nem pedig éles és nagy méretű szilánkokra. (Svarc, 2020)

Ami a fényvisszaverődést illeti, a legtöbb gyártó csekély vastartalmú, nagy fényáteresztő - képességű üveget használ, továbbá megfelelő felületi kiképzést alkalmaz a káros jelenség kiküszöbölésére. Oxidálják a felületet, illetve az érdességét növelik, ami csökkenti a visszavert fény részarányát. (Debreczeni, 2012)

A hátlap a szabványos napelem panelek EVA – val érintkező, leghátsó rétege, amely nedvességzáróként és burkolatként működik, mechanikai védelmet és elektromos szigetelést biztosítva. Anyaga rendszerint műanyag, de léteznek üveg hátlappal készült napelemek is. A hátlapréteg jellemzően fehér színű, de kapható átlátszóban vagy feketében is a gyártótól és a modultól függően. (Svarc, 2020)

Az eddig tárgyalt rétegeket gyártás során alacsony és túlnyomás alkalmazásával magas hőmérsékleten laminálják. Az eljárás után a modulokra csatlakozókat szerelnek. A csatlakozódoboz a panel hátoldalán található, ahol víztől és szennyeződéstől védve az összes cella összekapcsolásra kerül. Szinte minden panelt speciális, időjárásálló csatlakozókkal kötnek össze. Az extrém időjárási viszonyok miatt a csatlakozóknak nagyon robusztusnak, biztonságosnak, UV – állónak kell lennie és kis villamos ellenállást kell biztosítaniuk mind az alacsony, mind az 1000 V – ig terjedő nagyfeszültségen. Ugyancsak a csatlakozódobozban található az áthidaló (bypass) diódák is, amelyek az ellenáram megakadályozásához elengedhetetlenek. Az 5. ábra szemléletesen mutatja a különböző rétegeket és csatlakozódobozt, illetve azok sorrendjét. (Svarc, 2020)



5. ábra: napelemek felépítése (EasyKit)

A rétegeket összefogó alumínium keret kritikus szerepet játszik azáltal, hogy a moduloknak merevséget nyújt és megvédi az üvegszéleket. Az extrudált alumínium profilokat úgy tervezik, hogy könnyűek, valamint könnyen rögzíthetőek legyenek. (Svarc, 2020)

## 2.4. Napelemek típusai

### 2.4.1. Polikristályos napelemek

A megtermelt energiára vetített alacsony költsége miatt a polikristályos napelemek a legelterjedtebbek a lakossági felhasználók körében. Gyártási módszerének a lényege az, hogy a nagy tisztaságú szilícium alapanyagot megömlesztik, egy graffittégelybe öntik, majd szabályozott hűtés mellett kikristályosítják. Neve onnan ered, hogy mivel a kristályosodás több gócpontból indul, a megszilárdult anyag polikristályos lesz. (Szalánczi, 2020)

Mivel ezzel a gyártási módszerrel a kristályszerkezetben nagy számban előfordulnak hibák, hatékonyságuk csökken, 15 % körül mozog a hatásfokuk (Cotar & Filcic, 2012). Nagy előnyük azonban, hogy ez az érték az életkor előrehaladtával csak kis mértékben változik. A gyártók a legtöbbször 25 évre szavatolják a hatásfokromlás 20 % - on belüli maradását. (Szalánczi, 2020)

### 2.4.2. Monokristályos napelemek

Ez a típus nagy hatásfokkal rendelkezik, azonban a kristályos Si – alapú napelemek fejlesztésénél nagyon fontos szerepet játszik az ár. Gyártásuk, a hordozó egykristály húzása pedig meglehetősen költséges és időigényes technológia. (Szalánczi, 2020)

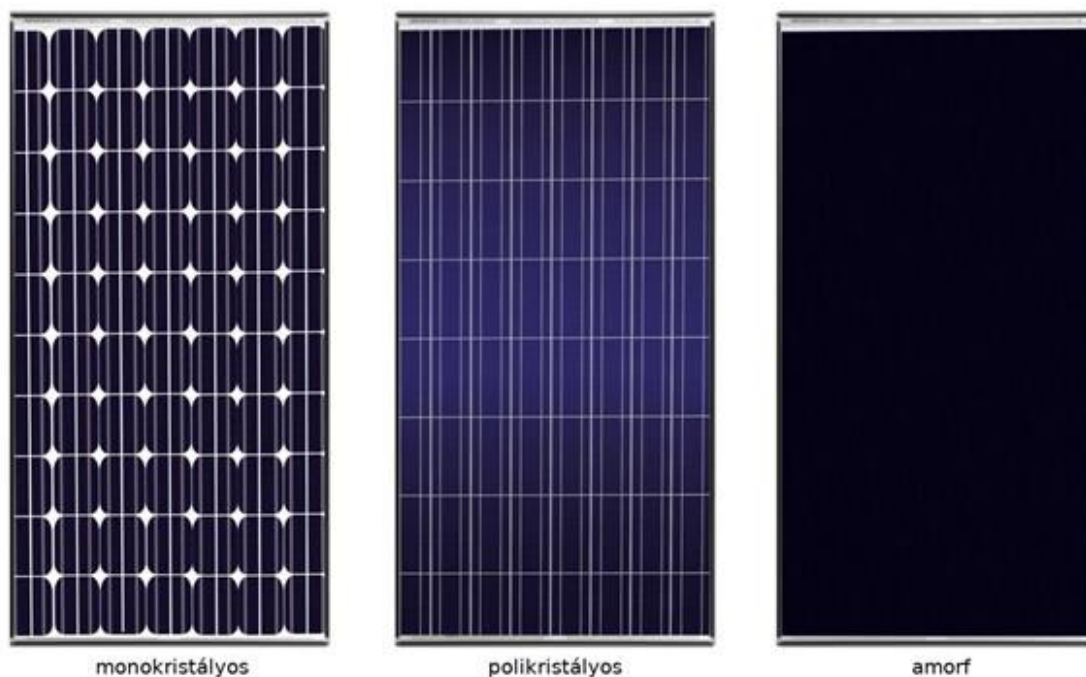
Teljesen homogén egykristály növesztésével szabályos és tiszta tömböket állítanak elő, melyeket felszeletelve egy homogén kristályszelet használható egy napelem cellának, amik a monokristályos napelemek építőelemei. Az ilyen napelemek hatásfoka 16 – 20 % között mozog, élettartamuk várhatóan 30 év, a 80% - os teljesítményleadást ugyancsak 25 évre lehet garantálni. (Cotar & Filcic, 2012)

### 2.4.3. Amorf típusú napelemek

Az amorf szilícium annak a nem kristályos formája. A szilícium atomok itt kevésbé rendezetten helyezkednek el és kevésbé kötődnek szomszédjaikhoz. Ezek a típusú napelemek a következő rétegekből állnak: egy vékony pozitív típusú amorf szilícium réteg legfelül, alatta egy még vékonyabb, teljesen tiszta, valódi amorf szilícium réteg, majd ez alatt egy negatív típusú amorf szilícium réteg. Működésük egyébként nagyon hasonló a kristályos fajtához. (Szalánczi, 2020)

Legnagyobb előnyük, hogy olcsóak, illetve, mivel körülbelül 1 mikrométer vastag a szilíciumréteg, ezért hajlékonyak és rugalmas keretekbe is helyezhetők (Cotar & Filcic, 2012). Ezen kívül gyenge megvilágítás esetén kevésbé romlik a teljesítményük, jobban abszorbeálják a fényt, mint kristályos társaik.

Mégis, előnyei ellenére mára már háttérbe kerültek az amorf típusú napelemek, leginkább az alacsony hatásfokuk miatt, ami nagyjából 6 – 8 % közötti érték, továbbá az öregedéssel járó hatásfok – degradáció is sokkal jelentősebb, mint az előző típusoknál. Kis energiával működő eszközökben használják leginkább, mint például zsebszámológép vagy karóra. A 6. ábrán látható egy polikristályos, egy monokristályos, illetve egy amorf típusú napelem képe, amin jól látszanak a jellegzetességeik. (Cotar & Filcic, 2012)



6. ábra: napelemek összehasonlítása (Sisolar, 2021)

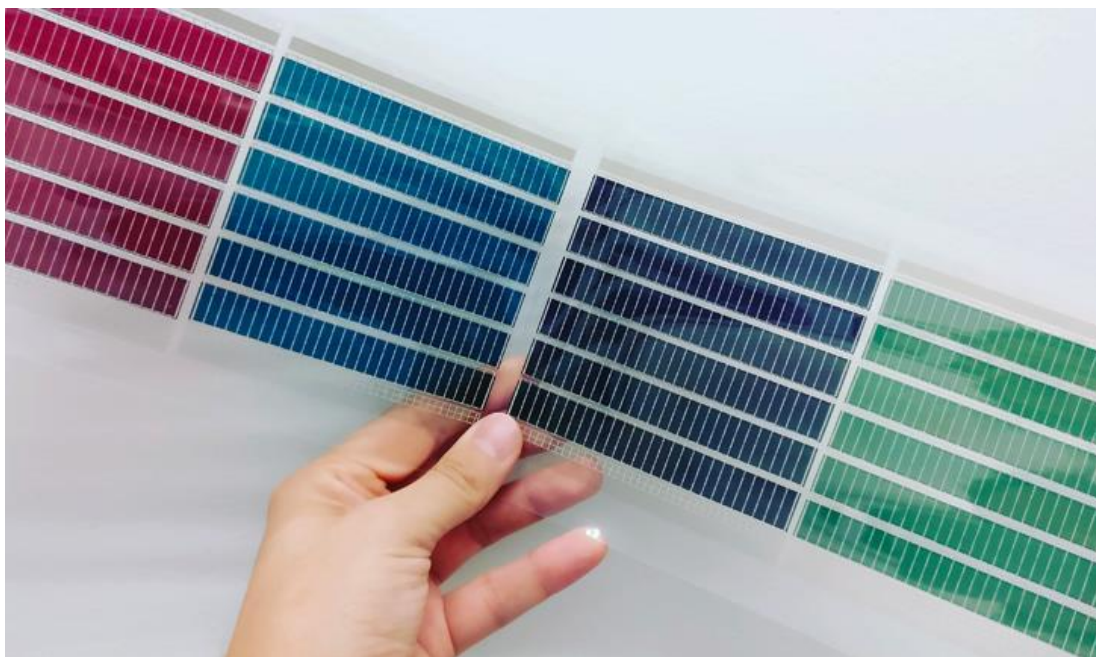
#### 2.4.4. Vékonyrétegű technológiák

A szelet alapú napelemek gyártása több ponton is magas hőmérsékletű technológiákat (kohászat, diffúzió), igényes optikai és finommechanikai megmunkálásokat (csiszolás, polírozás) igényel, melyek költséges műveletek. Azonban, ha egy megfelelő anyagú, de olcsó hordozón csak a számunkra fontos rétegeket vesszük fel sorrendben, akkor a mintegy 0,6 – 1 mikron aktív réteg előállítását egyszerűbb módon oldhatjuk meg. Nagyvákuum térben egy viszonylag hideg hordozóra gázok keverékét vesszük be, majd mikor ezek lecsapódnak, a hordozón réteget képeznek. Így kapjuk a vékonyrétegeket. (Cotar & Filcic, 2012)

A vékonyréteg technológia folyamatosan, nagy ütemben fejlődik. Piaci részesedésük konzisztensen nő, ami a szilíciumkristályos napelemek részarányának csökkenését okozza. Mindezt annak ellenére, hogy kevésbé hatékonyak, illetve élettartamuk is csak 15 – 20 év.

Az aktív anyagtól függően a vékonyrétegű moduloknak az amorf szilícium alapú napelemek mellett három olyan típusa van, amelyek jelenleg kereskedelmi forgalomban vannak:

- CdTe (kadmium – tellurid) technológia: Ez a típus a második leggyakoribban használt a világban. Előállításuk olcsó, sőt, ami azt illeti ennek a típusnak van a leggyorsabb megtérülési ideje és emellett a legkisebb ökológiai lábnyommal rendelkezik. A napelem hátrányai közé sorolható, hogy nagy mennyiségű kadmiumot tartalmaz, ami mérgező elem, illetve a tellurid egy nehezen fellelhető vegyület. (LaBerge, 2024)
- CIGS (réz – indium – gallium – diszelenid) technológia: Az ilyen napelemeknél a félvezetőréteg a kívánt felhasználástól függően üveg -, műanyag -, acél - vagy alumíniumlapra is kerülhet. Ebből adódóan rengeteg olyan helyen lehet alkalmazni, ahol más típusokat csak nehezen, vagy egyáltalán nem. Hatásfoka a többi vékonyrétegű napelemhez képest jó, 12 % körüli. Legnagyobb hátránya az árában keresendő. A CIGS panelek előállítása a mai napig nagyon költséges, így nehéz versenybe szállnia a CdTe vagy szilícium alapú napelemekkel. (LaBerge, 2024)
- Szerves organikus napelemek (OPV): Az OPV panelek vezetőképes szerves polimereket vagy szerves molekulákat használnak az elektromos áram előállítására. Az abszorberék változatossága miatt az OPV panelek sokféle színűek lehetnek, így az esztétikai igényeket is ki tudja elégíteni. A 7. ábrán különböző színű OPV napelemek láthatóak. (Cotar & Filcic, 2012)



7. ábra: különböző színű OPV panelek (Levermore, 2019)

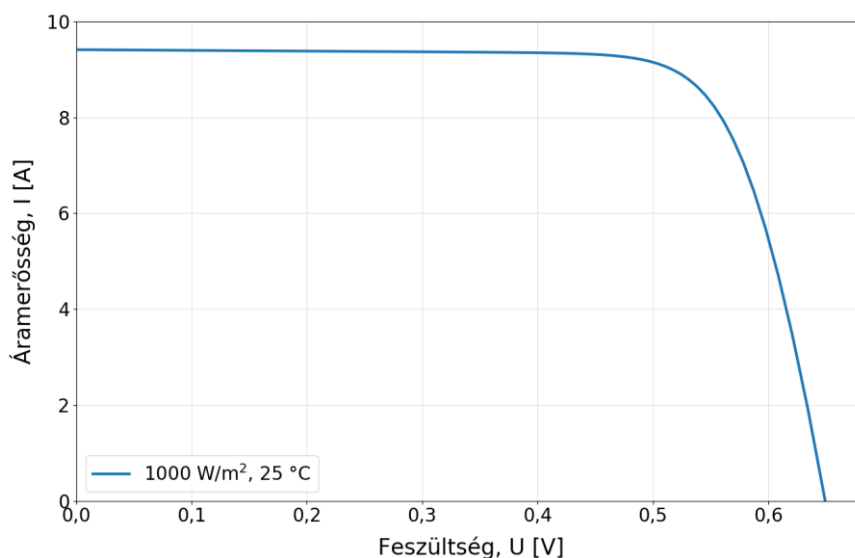
A panelekhez felhasznált szerves anyagok bőségesen fellelhetők, ezért megfelelő gyártási technológiával a jövőben valószínűleg nagyon olcsóak lesznek. Ellenben hatásfokuk (10 % körüli) és élettartamuk (maximum 10 év) alacsony, nem beszélve arról, hogy élettartam – degradációjuk is eléggé jelentős még. (LaBerge, 2024)

## 2.5. Napelem jellegzőgörbék

Mielőtt a napelemek teljesítményével, hatásfokával vagy jellegzőgörbéivel foglalkoznánk, érdemes szemügyre venni egy fontos alapfogalmat. Egy nagyon jelentős kifejezés az STC, azaz a „szabványos vizsgálati feltételek” a különböző gyártók napelemeinek pontos összehasonlítása szempontjából. Ez a napelemek teljesítményének mérésére használt feltételek összességét jelenti, magában foglalva a 25 °C – os modulhőmérsékletet, az 1,5 – ös légtömeget és az 1000 watt/négyzetméter besugárzást. A szabványosított vizsgálat során 25 °C – os modulhőmérsékleten tesztelik a napelemet egy hőmérsékletszabályozott környezetben. Az 1,5 – ös légtömeg arra utal, hogy a napsugarak átlagosan másfélszer akkora légkörön haladnak keresztül, mint amikor a nap közvetlenül a fejünk felett áll. Az 1000 watt/négyzetméter besugárzás pedig az az energiamennyiség, amelyet a Nap egy tiszta napon, délben biztosítana egységnyi területre vetítve. (Debreczeni, 2012)

### 2.5.1. Áram – feszültség jellegzőgörbe

Villamos berendezések esetén a két legfontosabb mennyiség az áram és a feszültség, így az áram – feszültség (I – U) jellegzőgörbe STC mellett sokat elárul egy napelem viselkedéséről. A 8. ábrán látjuk a szilícium kristályos napelemcella tipikus U – I jellegzőgörbéjét. (Mayer, 2020)



8. ábra: szilícium kristályos napelemcella U – I jellegzőgörbéje (Mayer, 2020)

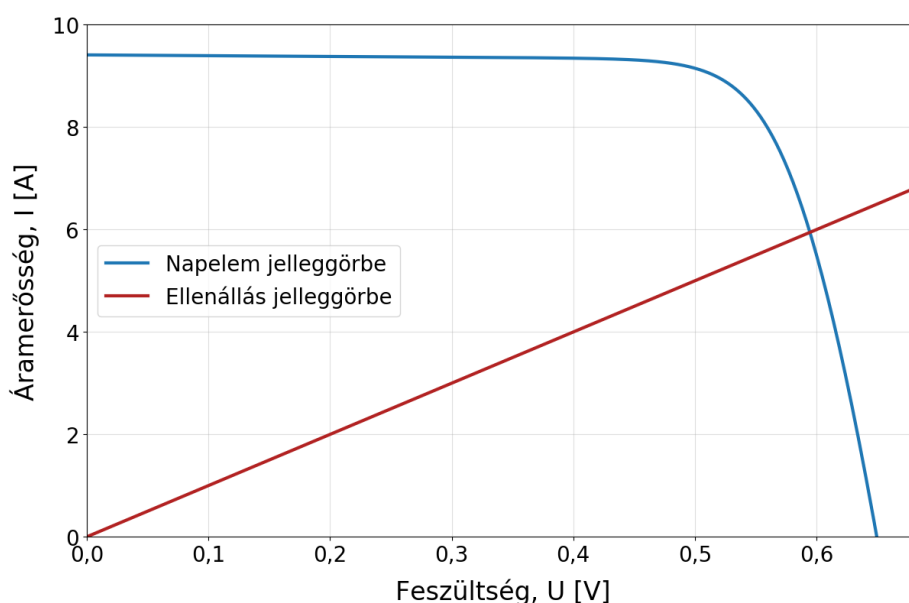
Egy napelemcella rövidzárási árama az legnagyobb áram, amit 0 V feszültség mellett ad le. A diagramból jól látható, hogy a rövidzárási áramból indulva, a feszültség növelésével az áram értéke alig változik. Amikor elér egy adott feszültség szintet, ami szilícium alapú napelemeknél 0,5 V körül van, hirtelen el kezd csökkenni. Üresjárási feszültségről akkor beszélünk, amikor nem folyik áram. Egy cella jellemző üresjárási feszültségértéke 0,65 V. (Mayer, 2020)

### 2.5.2. Ellenállás jelleggörbe

Ha egy napelemre kapcsolt fogyasztót, tehát egy ellenállást jellemzünk egy jelleggörbével, akkor annak és az előbbi  $U - I$  jelleggörbének a metszéspontja adja majd a munkapontot. Az ellenálláson eső feszültség egyenesen arányos a rajta átfolyó árammal Ohm – törvénye szerint:

$$R = \frac{U}{I} \quad (1)$$

Ebből adódóan az ellenállás jelleggörbéje egy origóból induló egyenes lesz, aminek meredeksége az ellenállás értékétől függ (minél kisebb az ellenállás annál meredekebb). A 9. ábra mutatja ezt és az előző jelleggörbét egy diagramon, a munkapont a kettő görbe metszéspontja. (Mayer, 2020)

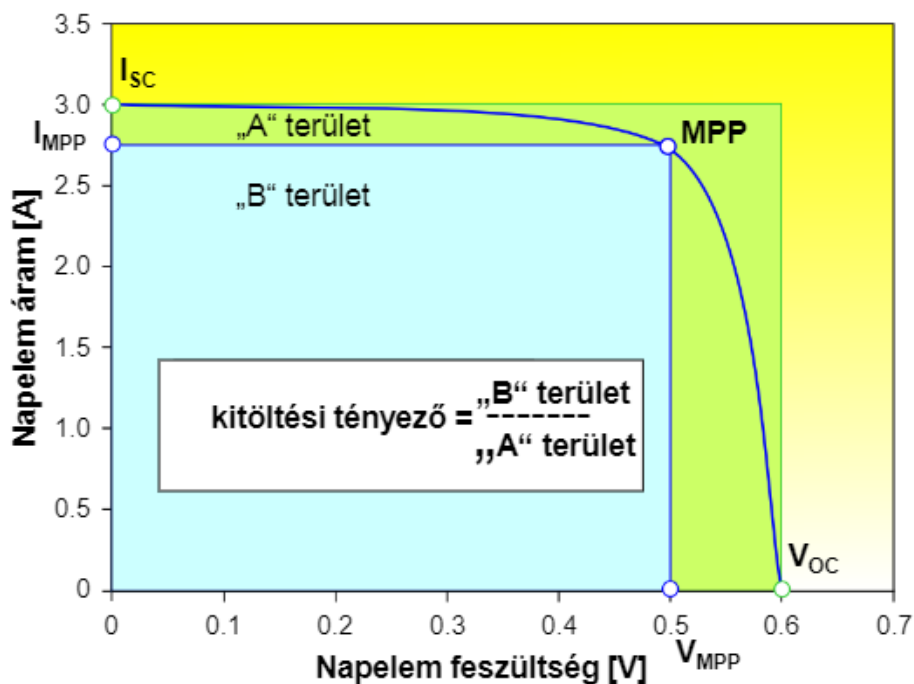


9. ábra: ellenállás jelleggörbéje (Mayer, 2020)

### 2.5.3. Kitöltési tényező

A kitöltési tényező (FF) ugyancsak egy fontos jellemzője a napelemnek, ugyanis az alkalmazott anyagok és gyártási eljárások minőségét jellemzi, tehát a veszteségeket mutatja számszerűen.

Ha a 10. ábrát vesszük alapul, úgy az  $A$  terület egyenlő a teljesítmény idealizált felső határával, amennyiben az üresjárási feszültséget megszorozzuk a rövidzárási árammal. Azonban a veszteségek miatt a tényleges maximális teljesítmény a  $B$  területtel lesz egyenlő, amit a legnagyobb teljesítményű munkapont (MPP) határoz meg. Ahol a feszültség és az áram egyaránt viszonylag magas értéket vesz fel, ott a szorzatuk miatt a napelem teljesítményének maximuma lesz, ez a pont adja az MPP – t, aminek értékét klasszikus szélsőérték – számítással lehet meghatározni. A kitöltési tényezőt a  $B$  és  $A$  területek hányadosa adja. (Debreczeni, 2012)



10. ábra: kitöltési tényező (Debreczeni, 2012)

A gyártók legtöbbször adatlapjukban ezt az FF értéket közlik, ami általában 0,75 és 0,85 közé szokott esni (Réti, 2015). Nyilvánvalóan érdemes arra törekedni, hogy a napelem az MPP – hez minél közelebb működjön. A legjobb az lenne, ha a napelemre kapcsolt ellenállás jelleggörbéje pontosan az MPP – ben metszené a napelem jelleggörbéjét. Sajnos a valóságban ezt nem lehet véghez vinni, mert az  $U - I$  jelleggörbe nagyban függ a sugárzástól és a cellahőmérséklettől, minden üzemállapotban más és más. (Mayer, 2020)

#### 2.5.4. Hatásfok

A napelemek hatásfoka azt mutatja meg, hogy a beeső fény teljesítményének hányad részét alakítja át a villamos energiává.

Ha  $U_m$  a munkaponti feszültség,  $I_m$  a munkaponti áramerősség,  $P_{\text{foto}}$  pedig a beeső fényteltjesítmény, akkor a hatásfokot a 2. egyenlet alapján lehet kiszámítani (Réti, 2015):

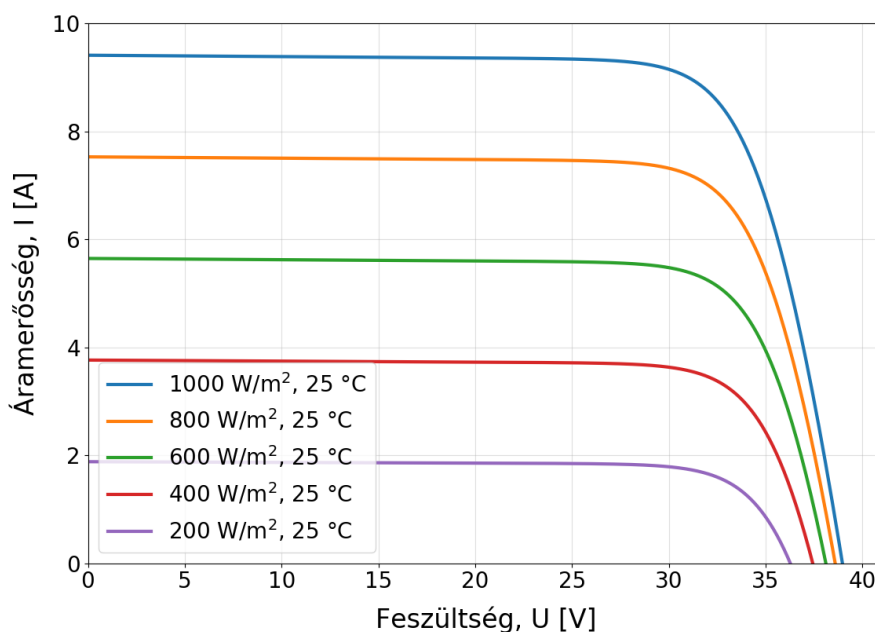
$$\eta = \frac{U_m \cdot I_m}{P_{\text{foto}}} \cdot 100 \% \quad (2)$$

A napelem hatásfokának kiszámításánál fontos paraméter a félvezető anyagra jellemző tiltott sáv nagysága. A töltéshordozó – generáláshoz elengedhetetlen, hogy a beeső foton energiája legalább akkora legyen, mint a tiltott sáv szélessége. Ellenkező esetben a beeső foton nem fog töltéshordozókat kelteni (Réti, 2015). Sok egyéb dologtól is függ, hogy mekkora maximális hatásfokot lehet elérni egy PV – cellával, így a különböző napelemek értékei az elméletitől eltérnek. Az elérhető legnagyobb hatásfokot a gyakorlatban sose érhetjük el az optikai, ohmikus, reflexiós, rekombinációs veszteségek miatt, de egy további környezeti befolyásoló tényező a félvezető hőmérséklete, amivel a következőkben foglalkozom. (Szalánczi, 2020)

#### 2.5.5. Jelleggörbék időjárásfüggése

A fotovillamos rendszerek – a többi elektrotechnikai eszközzel szemben - nagyon ritkán dolgoznak névleges üzemmódban, azt leginkább csak STC – körülmények között teszik. A napelemes modulok karakterisztikái a besugárzástól, illetve a hőmérséklettől függenek.

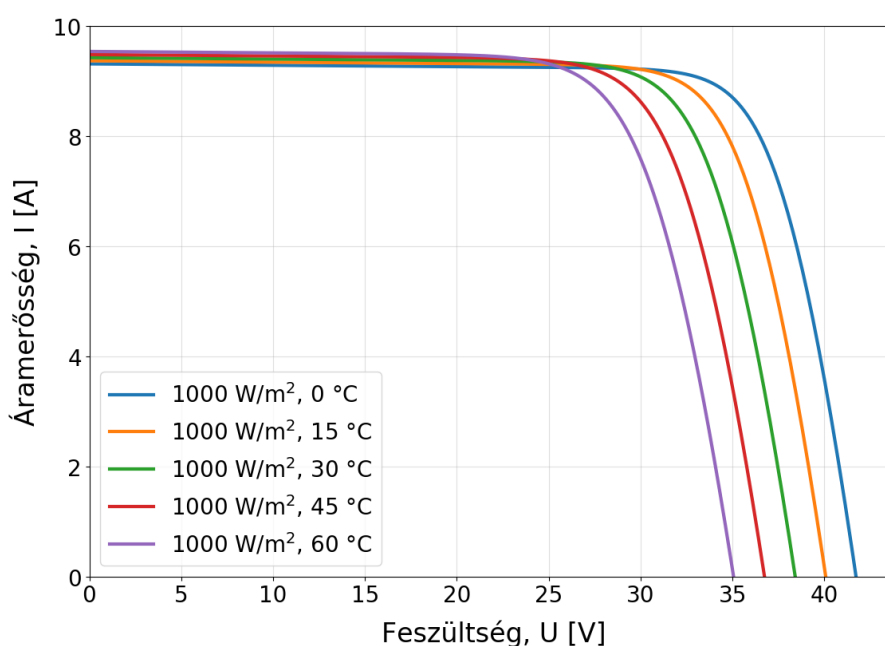
Először a besugárzás hatását vizsgálom meg, ami az áramerősségre van inkább befolyással. A sugárzás a napelemek rövidzárási áramát egyenes arányban befolyásolja. Például fele akkora sugárzásnál közel fele akkora áramra számíthatunk, amit a 11. ábra demonstrál. (Mayer, 2020)



11. ábra: besugárzás hatása a napelem jelleggörbéjére (Mayer, 2020)

Látható, hogy az üresjárási feszültség csak kis mértékben függ a sugárzás intenzitásától, csökkenésével a feszültség is csökken, azonban jelentősebb változást csak alacsony sugárzási értékek esetén láthatunk. (Mayer, 2020)

A karakterisztika változását megvizsgálva a napelemcellák hőmérsékletének függvényében azt lehet mondani, hogy az pedig főként az üresjárási feszültségre van hatással. A fizikai háttere a jelenségnek, hogy emelkedő hőmérsékletnél csökken a feszültség, mert a plusz hőenergia miatt az elektronok könnyebben tudnak vándorolni, ami a cella teljesítményének rovására megy. Az üresjárási feszültség lineárisan csökken, a rövidzárási áramerősség pedig egy minimálisan nő a hőmérséklet növekedésével, amit a 12. ábra mutat. (Mayer, 2020)



12. ábra: a napelemcellák hőmérsékletének hatása a karakterisztikára (Mayer, 2020)

Ez a feszültségcsökkenés magyarázza a napelemek hatásfokának hőmérsékletfüggését. A napsugárzás növekedésével a napelem teljesítménye ugyan nő, de belőle energiát kinyerni csak kisebb hatásfokkal tudunk. Magyarországon a napelemes rendszerek a névleges teljesítményüknek nagyjából csak a 85 % - át érik el nyáron. Ebből érezhető, hogy a rendszer tervezésénél a meleg okozta veszteségek csökkentése fontos szempont, a modultartó konstrukciót jól kell megválasztani, szellőző hézagokat kell bele integrálni. (Debreczeni, 2012)

## 2.6. Napelemek degradációja

Elmondható a napelemekről, hogy összességében nagyon problémamentesek, ugyanis nincsen bennük mozgó alkatrész és minimális karbantartást igényelnek. Azonban, mint minden gyártott termék, a napelemek is meghibásodhatnak, alulteljesíthetnek anyaghibák, illetve nem pontos megmunkálás során. A gyártók a napelemek első tíz évében 90 – % os, míg 25 évre nézve 80 % - os teljesítménygaranciát adnak. A valóságban viszont különböző degradációs hibák miatt ezek a számok többé – kevésbé eltérhetnek. A következőkben a leggyakrabban előforduló jelenségeket, hibákat mutatom be. (Matusz - Kalász, et al., 2021)

### 2.6.1. Hőterhelés

Nem a szó szoros értelmében hiba, inkább egy természetes folyamat de a gyakorlatban a napelemek hőmérséklete a leggyakoribb degradációs ok. A folyamatosan változó megvilágítások során termikus tranzienst folyamatok játszódnak le bennük, ami egyfajta hőkezelési ciklusnak vehető. Ha egy panel részlegesen árnyékba kerül, vagy olyannyira megnövekedett degradációja, akkor jelentős hőmérsékletkülönbség jöhet létre a panelen belül. Az ilyen hatások gyorsítják a degradációt, a gyártó által megadott időtartam előtt elérheti azt a teljesítményromlást, aminél már nem éri meg használni. (Matusz - Kalász, et al., 2021)

### 2.6.2. PID

A napelemes rendszerben előfordulhat több száz volt potenciálkülönbség, így minden fémszerkezetet leföldelnek. A potenciálkülönbség miatt azonban lehetséges, hogy a napelemes modulokhoz használt anyagokból a földelt kereteken keresztül szivárgási áram jön létre. Nyilvánvalóan ez rontja a cellák villamos jellemzőit, szilícium kristályos napelemek esetén a teljesítményben fokozatos romlást eredményez. Ezt a jelenséget PID – nek (Potential Induced Degradation) nevezzük és nedves éghajlaton, nagy páratartalmú helyeken fordul leginkább elő.

### 2.6.3. Elszíneződés

Az elszíneződést a napelemcellákat körbevevő EVA ragasztóanyag bomlása okozza az üveg és a cellák között az UV sugarak hatására. Elszíneződés során a cella színe változik sárgára, ritkábban barnára. A jelenség csökkenti az áteresztőképességet, ebből adódóan a teljesítményt is. Vizsgálatára mesterséges sugárzást használnak. Megállapították, hogy az elszíneződés csak akkor következik be, ha a globális UV sugárzás eléri a  $15 \text{ kWh/m}^2$  erősséget anélkül, hogy meghaladná a  $250 \text{ W/m}^2$  expozíciót. (Matusz - Kalász, et al., 2021)

#### 2.6.4. Rétegenkénti leválás, korrózió

Delaminációról beszélünk olyankor, amikor tapadásvesztés következik be a cella és az elülső üveglap között. Súlyos probléma, ugyanis azon kívül, hogy ez növeli a fényvisszaverődést, víz hatolhat be a rendszerbe, aminek elektromos kockázata lehet. Továbbá, a modul szélein bejutó nedvesség egy újabb káros folyamatot, korróziót okoz. A korrózió megtámadja a cellák fémes csatlakozásait, és a szivárgási áramok növekedése miatt teljesítményvesztés lép fel. A jelenség leginkább meleg és nedves környezetben fordul elő. A 13. ábra mutat néhány, gyakorlatban előfordult esetet a rétegleválásról. (Matusz - Kalász, et al., 2021)

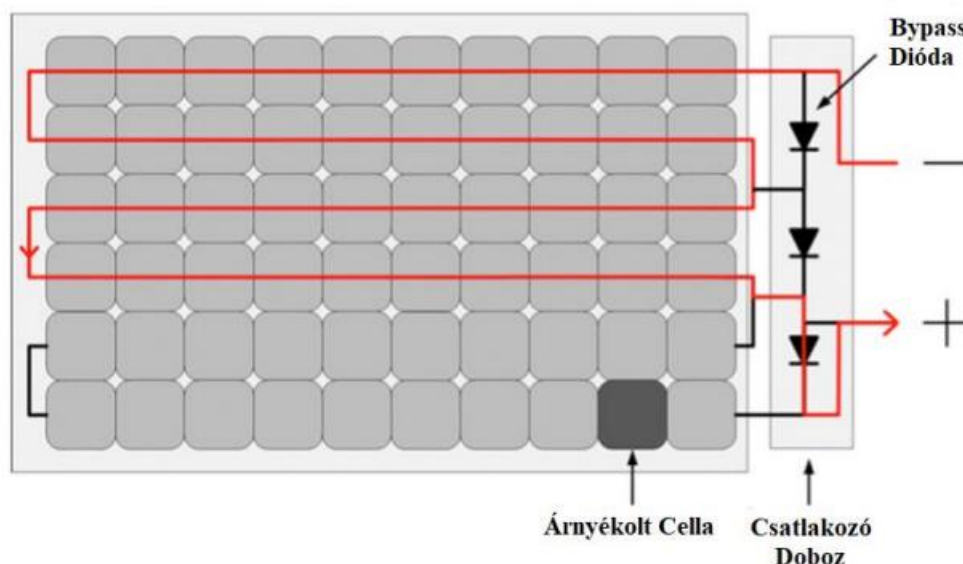


13. ábra: példák delaminációra (Matusz - Kalász, et al., 2021)

#### 2.6.5. Mikrorepedések és „forró pontok”

A mikrorepedéseket nehéz észlelni, és sokszor láthatatlanok először. A repedések nem mindig okoznak problémát, a napelem még sok törött cella esetén is sok évig jól működhet. Azonban, ha a mikrorepedések megszakítják az áram útját, akkor komolyabb problémává válnak. Forró pont (hot spot) alakulhat ki a belső ellenállás növekedésével, különösen ha a repedés nagy, vagy az egész cellán átível. Ezek a károsodások kis fehér pontok formájában jelennek meg a napelem felszínén. Forró pont az árnyékolás hatására is ki tud alakulni, például amikor egy falevél ráesik. Ha egy sorba kötött napelem árnyékba kerül, a többi napelem ugyanabban az irányban hajtja rajta át az áramot, fogyasztóként fog veselkedni. Ez az áramirányváltás hő formájában jelentkezik, majd ha az elég nagy lesz, forró pont, végül repedés keletkezik. (Debreczeni, 2012)

Az áram visszafelé áramlásának megakadályozását szolgálják a bypass – diódák, amik meggátolják, hogy záró irányban a szolárcella áttörési feszültségénél nagyobb keletkezzen. Ennél a megoldásnál az áram egy áthidalón keresztül van elvezetve, ami a szolárcellával párhuzamosan, de ellentétes irányban beépített bypass - diódákkal van kialakítva, ahogy az a 14. ábrán látható. (Debreczeni, 2012)



14. ábra: bypass – dióda működése (Lipták & Balázs , 2021)

Ilyen esetben a teljesítmény persze csökken, de legalább nem megy tönkre az árnyékolt cella p – n átmenete. A legnagyobb árnyékolási tűrés akkor lenne, ha minden egyes cellának lenne egy áthidaló diódája, a gyakorlatban azonban három vagy négy ilyen dióda felelős 18 – 20 összekapcsolt cella védelméért. (Debreczeni, 2012)

## 2.7. Napkövető rendszerek

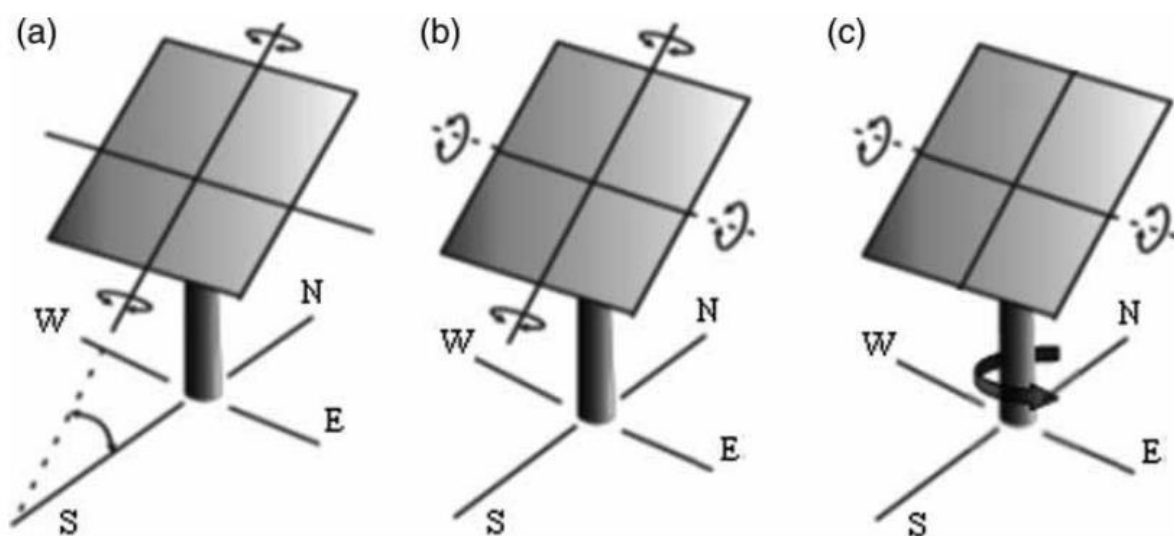
A napenergia lett mára a világ legszélesebb körben használt megújuló energiaforrása, a napsugárzást hasznosító berendezések egyre jobban terjednek el és remélhetőleg a fosszilis energiaforrásokat is ki tudják majd váltani. Azonban nagy hátrányuk az alacsony hatásfok, és a viszonylag magas ár. Ezen – a még szélesebb körben történő alkalmazásukat gátoló – tulajdonságaikat a kutatók és gyártók próbálják mérsékelni, ezáltal számos feladatot állítottak maguk elé.

Mindenekelőtt a megoldást abban látják, hogy növelni kell a PV – cellák konverziós hatásfokát, csökkenteni a gyártási költséget, maximalizálni a napelemek által leadott teljesítményt a fogyasztók felé (MPPT), vagy pedig növelni a begyűjtött napenergiát. Szakdolgozatomban az

utóbbi feladattal foglalkozom, amire a napkövető (trackeres) rendszerek bizonyulnak kitűnő megoldásnak, így azokat mutatom be röviden. (A.Z., et al., 2018)

A napkövető rendszerek lényege, hogy egy arra megépített napelemtartó konstrukció segítségével a PV modult folyamatosan úgy forgassa, hogy felülete merőleges legyen a beeső napsugarakra. Tehát, a PV panel dőlésszögének szinkronban kell lennie a nap mozgásának napi és évszakos változásaival a maximális teljesítmény elérése érdekében. A napelem nyomkövetővel való felszerelése azonban biztosan megnöveli a rendszer költségét, ezért a hatékonyságot és a költségeket össze kell vetni ahhoz, hogy az ilyen rendszerek fel tudják venni a versenyt a fix telepítésűekkel szemben. (A.Z., et al., 2018)

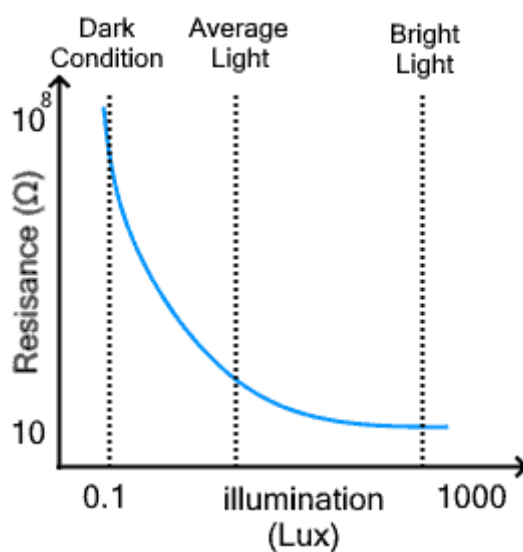
A napkövető rendszerek működési mechanizmusuk alapján két csoportra bonthatók. A csoport egyik tagját alkotják a passzív megoldások, ahol egy alacsony forráspontú munkaközeget (folyadékot) használnak úgy, hogy a folyadékot a nap felmelegíti, és ezáltal az a melegebb oldalon a növekvő nyomás miatt egyik oldalról a másikra mozog. Az aktív megoldások pedig különböző mechanikus (pl. motorok) eszközöket elektronikusan vezérelnek, ennek segítségével pozícionálják be a napot. Mindkettő típus megvalósítható egytengelyes vagy kéttengelyes nyomkövető szerkezettel. Az egytengelyű napkövető egy szabadságfokkal rendelkezik, egy irányba követi a nap mozgását. Megkülönböztetünk vízszintes egytengelyű és függőleges egytengelyű napkövető rendszereket. További teljesítménynöveléshez a kéttengelyű nyomkövetést használják, amelynek függőleges és vízszintes tengelye is van. A 15. ábrán látható egy függőleges egytengelyű (a) és kettő kéttengelyű megoldás (b, c). (A.Z., et al., 2018)



15. ábra: napkövető szerkezetek típusai (Catalin, 2010)

Az előző csoportosításokon kívül további típusokra lehet bontani a napkövető rendszereket a működési elvük szerint. A piacon elérhető megoldások döntő többsége szenzoros, GPS vagy egyéb szoftveres megoldásokat alkalmaz. A GPS – el vezérelt napkövetők olyan megközelítésen alapulnak, amelyek előre meghatározott geometriai és csillagászati egyenletek alapján számítják ki a nap helyzetét. Az azimut és a magasság ismeretében a szerkezet mindig „tudja” a nap helyzetét, és a napelemeket ennek megfelelően mozgatja. Ez a követési megközelítés azonban manuális beavatkozást igényel az adott hely szélességi fokának, helyi dátumának és időzónájának megváltoztatásához. (A.Z., et al., 2018)

Az aktív szenzoros napkövető PV rendszerek leggyakrabban fotoellenállásokat (LDR) használnak a legfényesebb pont keresésére az égen, tekintettel egyszerű áramkörükre és nagyon alacsony árakra. A fotoellenállás egy félvezető rétegből álló, záróréteg nélküli passzív félvezető elem, amely sugárzás hatására változtatja meg az ellenállását. Ha a fotoellenállásra nem esik fény, nagy az ellenállása. Megvilágítás hatására azonban csökken az LDR ellenállása, ahogy azt szemlélteti a 16. ábra. (Juhász , 2008)



16. ábra: fotoellenállás karakterisztikája (Electrical Technology, 2020)

A fotoellenállások gyakorlati alkalmazása a napkövető rendszerekben, hogy érzékelik a napsugarakat és visszatérő jeleket adnak egy vezérlőegységnek (mikrokontroller, PLC, stb), amelyek elektromos motorokon keresztül igazítják a panelt merőlegesen a napsugárra. A szenzoros napkövetés általános hátrányának tekinthető, hogy a felhősödést, a heterogén fényviszonyokat nehezen kezeli. Előfordulhat az égbolt legfényesebb pontjának állandó keresése, ami rontja a hatásfokot és növeli az amortizációt. (A.Z., et al., 2018)

### 3. A téma feldolgozása

#### 3.1. Tervek

Szakdolgozatom témája egy napkövető napelemes rendszer tervezése. Az elméleti háttér és a vázlatok kidolgozása után megépítem a szerkezetet és termelt energiáját összehasonlítom egy fix telepítésű napelemével, amiből utána értékes konklúziókat vonok le.

##### 3.1.1. Funkciók

Azt szeretném, hogy a napkövető rendszer első sorban a következő feladatokat lássa el:

- a napelem folyamatos mozgatása a megfelelő pozícióba
- felhős, borús idő esetén megoldás az állandó napkeresés problémára
- panel feszültségének mérése, abból teljesítmény meghatározása

Ezek megléte után az idő függvényében fogom továbbfejleszteni a szerkezetet.

##### 3.1.2. Tervezés menete

Az elinduláshoz, nulladik lépésként tájékozódni kell a megoldási lehetőségekről és eldönteni hogy mire helyezem a hangsúlyt. Erre azért van szükség, mert rengeteg féleképpen megoldható a probléma, de számomra lehet, hogy csak néhány megoldás optimális. Fontos eldönteni azt is, hogy milyen teljesítményű napelemmel szeretnék dolgozni, mert az árat és a tervezési, összeszerelési időt nagyban befolyásolja.

Utána meg kell határozni a forgatási mechanizmust, meg kell tervezni a berendezést. El kell dönteni, hogy milyen részekből álljon, milyen kötésekkel alkalmazzak az elemek között. Érdemes lemodellezni az egész mechanikai szerkezetet 3D – ben, főleg, ha nyomtatni kell majd egyes alkatrészeket. Ide tartozik az aktuátorok kiválasztása, méretezése is.

Ezután ki kell választani a megfelelő vezérlőegységet. Ehhez analóg szabályzó helyett digitális mikrokontrollert célszerű alkalmazni, mert programozhatósága miatt többféle szabályozási eljárás is könnyen megvalósítható. Itt fontos figyelembe venni a mikrokontroller számítási kapacitását és nem utolsósorban az árat is, bár ez minden egyes elemnél egy fontos tényező.

A vezérlőegység után, aktív szenzoros működési elv esetében a fényerősség mérő szenzor kiválasztását, illetve a fizikai modellen való elhelyezésének vizsgálatát kell megejteni. Fotoellenállások esetében lehúzóellenállásokkal optimalizálni szükséges az érzékenységet.

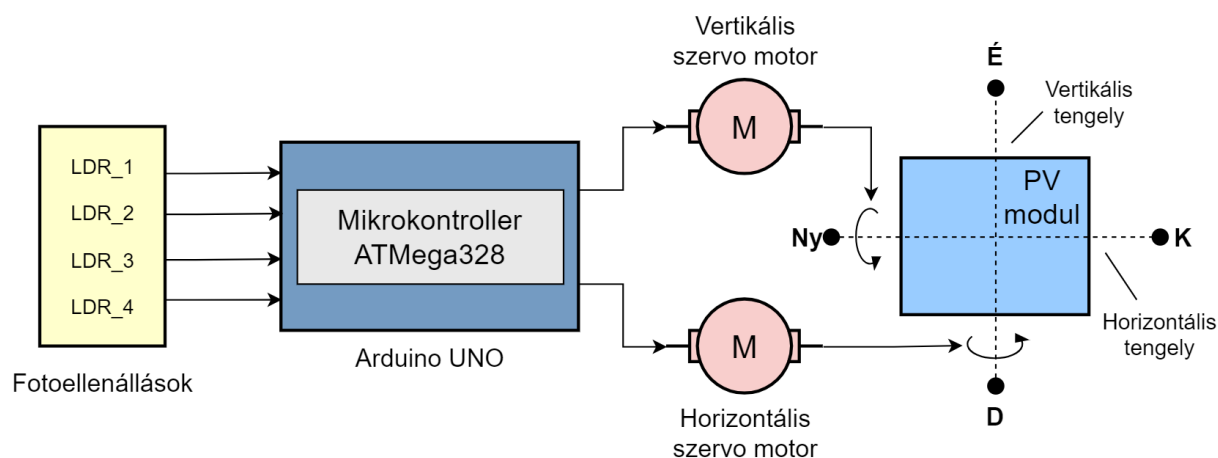
Ezután lehet megtervezni az elektronikai kapcsolást a programírással egyidejűleg, illetve eldönteni az adatok gyűjtésének, kiértékelésének módját. Befejezésül egy kész napkövető berendezést kapok, aminek megtermelt energiáját össze tudom vetni egy ugyanolyan típusú, de fix telepítésű PV modullal, és értékes következtetéseket tudok levonni.

## 3.2. Hardware

### 3.2.1. Első elgondolások

A napkövető és fix napelemek által generált teljesítmény különbsége – ha csak egy nap a mért idő – akkor pontosabb, ha kéttengelyű napkövetéssel dolgozom, ezért mindenképp ennél a megoldásnál szeretnék maradni. Egytengelyű nyomkövetés esetén az egész évben vett minta adna pontos eredményt, ugyanis a Nap magassága folyamatosan változik, az pedig egy nap, egy bizonyos magasság esetén adná az értékeket, ami torzítaná a mérést.

Ami a napelem teljesítményét illeti, egy kis, 1,6 W – os napelemmodult fogok használni, ezzel jelentősen csökkentve a költségeket és a projekt kivitelezésének idejét, amik fontos tényezők az idő szűke miatt. Azt is tisztán láttam már az elején, hogy aktív szenzoros napkövető rendszert fogok tervezni, ugyanis az asztronómiai elveken működő PV rendszerek megfelelő működése sokszor csak bonyolult módon valósítható meg, továbbá a hatékonyságuk is valamivel rosszabb általában. Négy darab LDR által mért napsugárzás alapján fogok vezérelni két motort. Az egyik a napelem vertikális, míg a másik a horizontális tengelyen történő mozgatásáért felel. A rendszerköltség minimalizálása érdekében a vezérlést egy ATmega328 mikrokontrolleren keresztül valósítom meg, amely egy Arduino UNO kártyára van integrálva. A rendszer sematikus működését a 17. ábra mutatja.

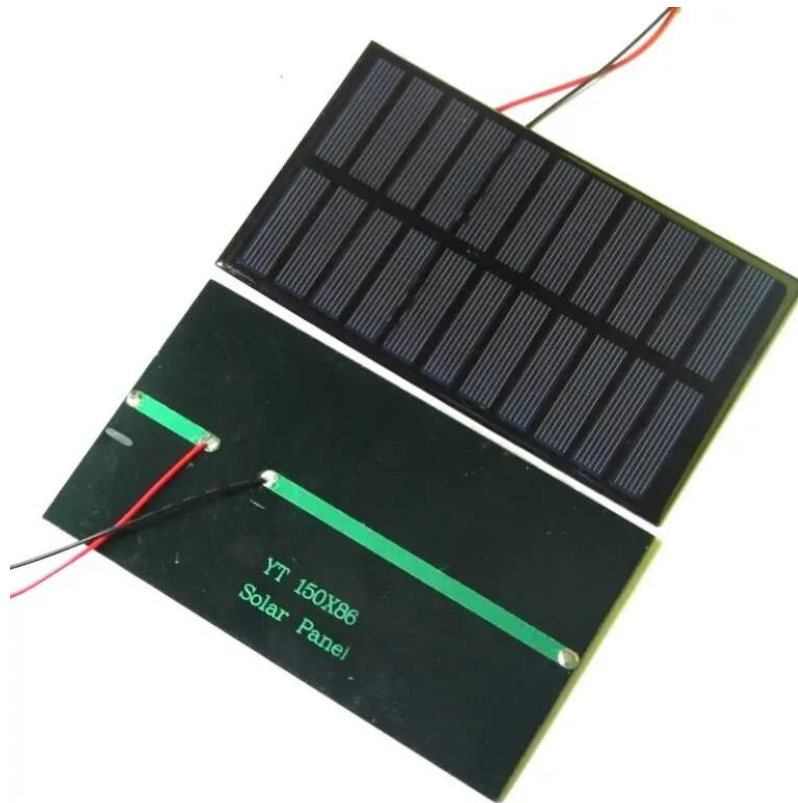


17. ábra: működési vázlat (saját ábra)

### 3.2.2. Napelem kiválasztása

Miután az alapkoncepciót nagyjából kitaláltam, első dolgom volt a napelem kiválasztása, hiszen annak a teljesítményéhez, illetve méreteihez terveztem meg az egész szerkezetet. A legelterjedtebb napelem típust, tehát polikristályos napelemmodult választottam. Olcsó, viszonylag jó (15 % körüli) a hatásfoka, és az, hogy ez a leggyakoribb fajta amit használunk, jó okot ad arra, hogy ezzel végezzem el a nyomkövetős és fix rendszer összehasonlítását.

Egy 1,6 W teljesítményű, 5,5 V névleges feszültségű napelemet választottam a projekthez, amiben 11 darab napelemcella található. A 18. ábrán látható elülső és hátulsó oldala is.



18. ábra: választott napelem (Alibaba (webshop), 2024)

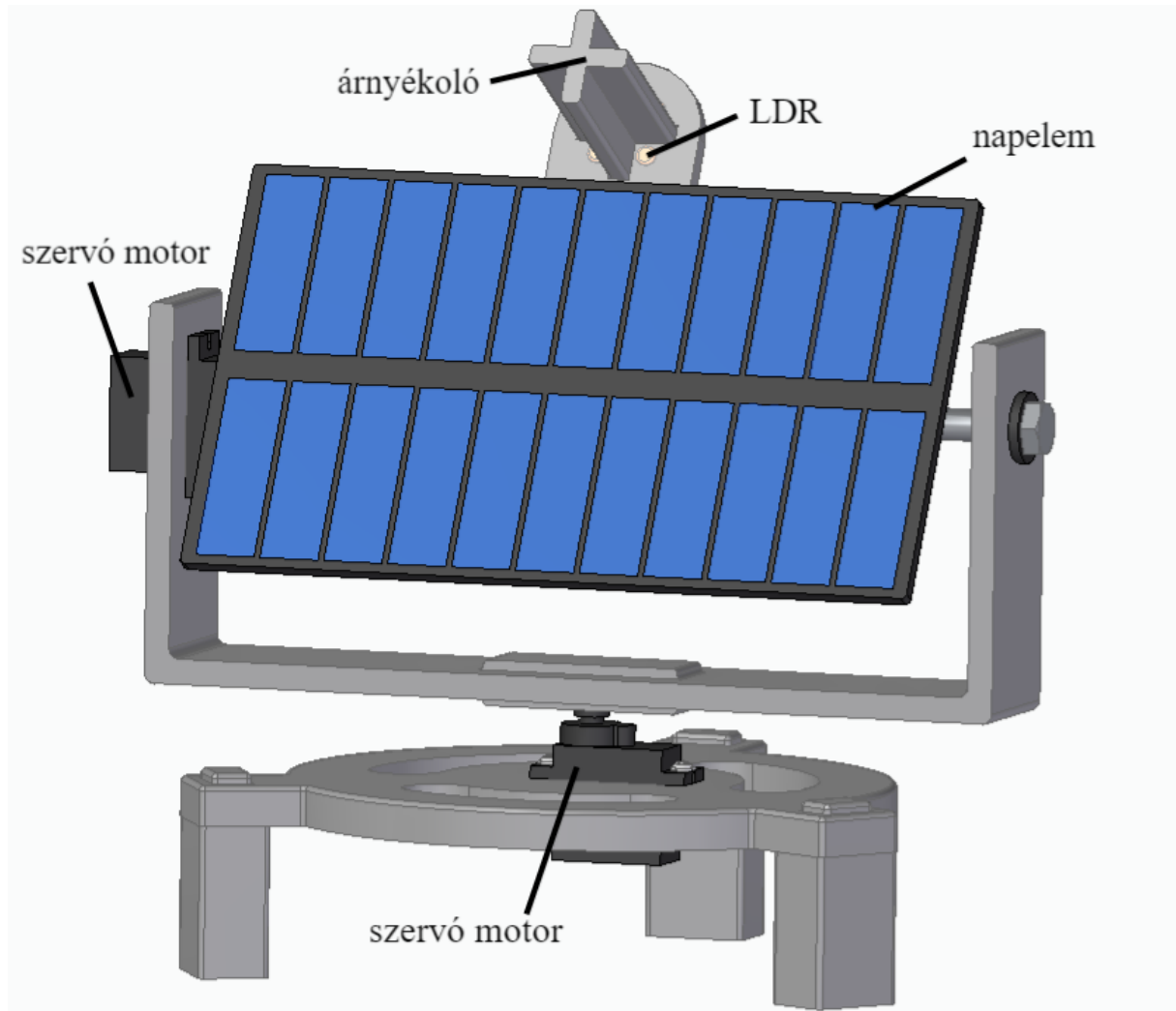
Méretei:

- hossz: 150 mm
- szélesség: 86 mm
- vastagság: 3 mm

Bruttó súlya csak 80 gramm, ami nagyban megkönnyíti a mozgását, elegendőek lesznek kis teljesítményű szervo motorok hozzá, illetve a tartószerkezetnek sem kell majd túl masszívnak lennie. Az ára is viszonylag alacsony, ami itt kiemelkedően fontos, mivel kettő darabot kellett vennem a korrekt összehasonlításhoz.

### 3.2.3. Tartó ,– mozgatószerkezet

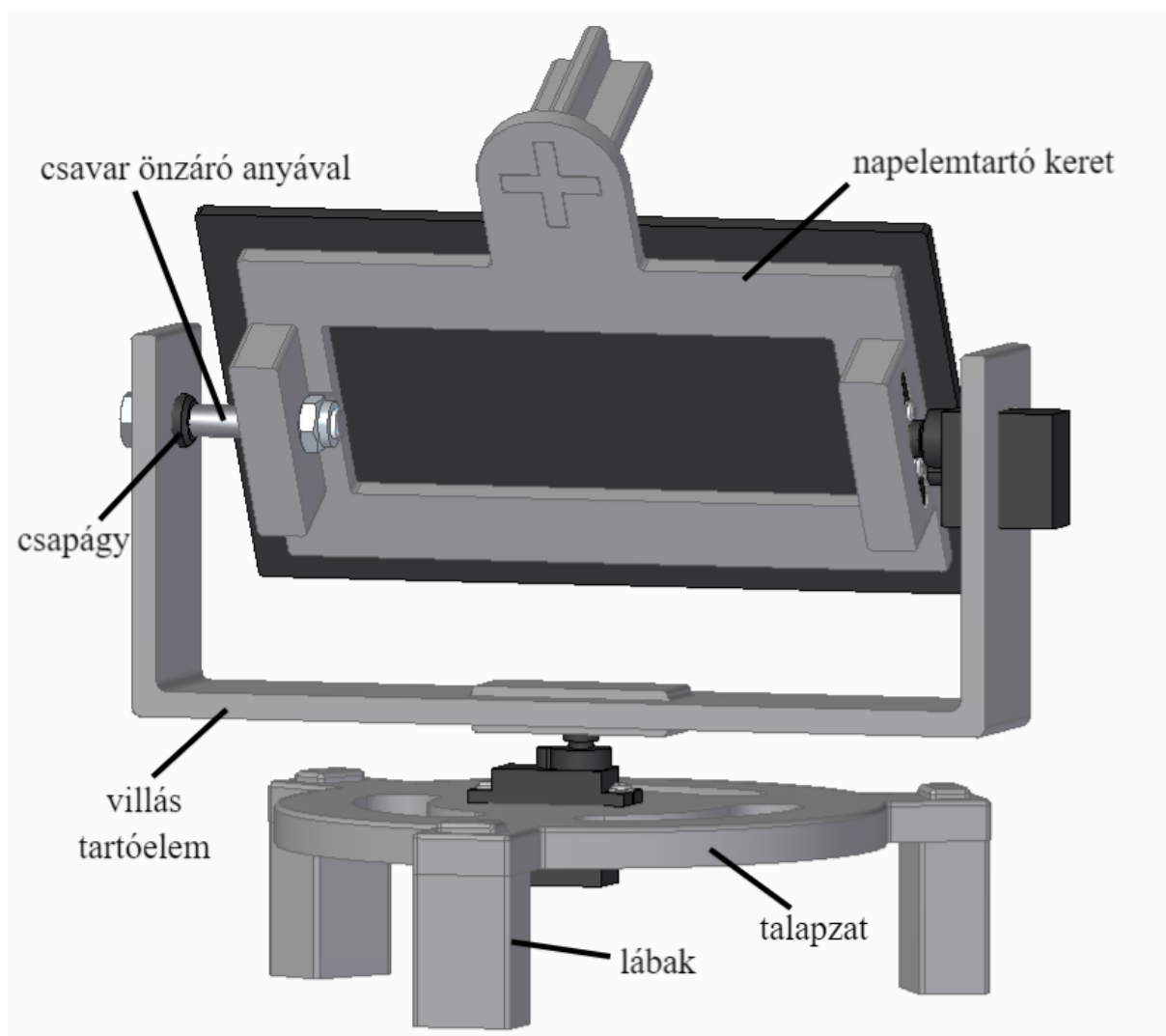
Mindenképpen egy egyszerű, könnyű, de valamennyire robosztus kialakítást szerettem volna megtervezni, ezek voltak az elsődleges szempontok. A 18. ábra mutatja a szerkezet 3D – s modelljét, amit Solid Edge környezetben modelleztem.



19. ábra: modell előnézete (saját ábra)

Egy tárcsa alakú talapzatba van illesztve a három darab láb egymással  $120^\circ$  - ot bezárva, ezek tartják a szerkezetet. A tárcsa közepén, egy kivágásban helyezkedik el a szervó motor, ami a vertikális tengelyen mozgatja a napelemet. A motor két csavarral van rögzítve a talapzathoz, illetve a tengelye és a tárcsa koncentrikus egymással. A szervó motor egy villás tartóelemet mozgat a horizontális síkon, amibe bele van szerelve egy másik szervó motor és egy műanyag siklócsapágó. A motor ugyancsak csavarokkal van rögzítve a villás elemhez, és egytengelyű a csapágóban található csavarral. A szervó motor és a csavar egy napelemtartó kerethez van rögzítve csavarokkal, illetve egy anyacsavarral. A keretes elemre ragasztva van a napelem, és a

motor által a horizontális tengely körül tud forogni. A kereszt alakú árnyékoló elem négy sarkában helyezkedik el négy darab LDR szenzor, amik ragasztva vannak a keretes elemhez. Az árnyékoló kereszt illesztése olyan a kerethez, hogy lehessen állítani a magasságát. Minél jobban „kilóg”, tehát magasabb, a Nap vándorlásával az égen annál gyakrabban kerülnek a fotoellenállások árnyék alá, és ezáltal vezérik a motorokat a forgásra. Pontosabban követi a napot, azonban az is elkerülendő energiafelhasználás és amortizáció szempontjából, hogy szinte állandóan kövesse a legfényesebb pontot az égen. A 20. ábrán látható a 3D – s modell hátulso nézetből.



20. ábra: modell hátulso nézete (saját ábra)

A motor tengelyére illeszthető rögzítőelem mindkét esetben jól illeszkedik az ellendarabokba, tehát a villás elembe és a napelemtartó keretbe, így egy alakzáró kötést létrehozva. Továbbá, a tengelyirányú elmozdulás elkerülése végett két darab önmetsző csavarral az ellendarabokhoz

van rögzítve, míg egy másikkal a motor tengelyéhez (ellenirányból), amihez egy szerelőfuratot alakítottam ki a keretes elemen a másik oldalról A 21. ábrán látható a kötés egyszerű megoldása.



21. ábra: motor tengelyének rögzítése (saját ábra)

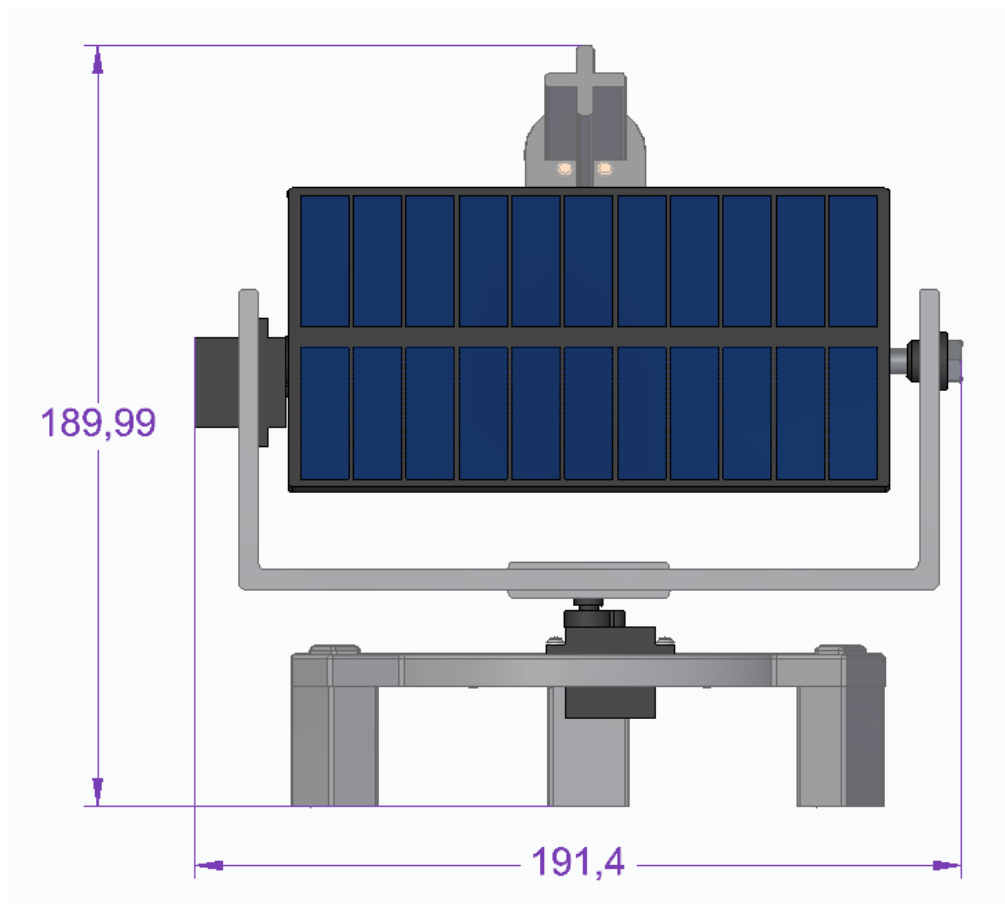
A villás megoldás, amit alkalmazok, nagyon stabilan tartja a napelemet, azonban a keret (és azzal együtt a napelem) sima, egyenletes forgatását is fontos megvalósítani. Ezt egy 6 mm belső átmérőjű, iglidur® M250 anyagból készült műanyag siklócsapággal teszem. Nagyon jó siklási tulajdonságokkal rendelkeznek, kis fordulatszámokhoz lett kitalálva, nem utolsósorban pedig olcsó és kenőanyagmentes. A 22. ábra mutatja a csapágyat.



22. ábra: választott csapágy (TME, 2024)

Ahogy említettem korábban, elsődleges szempontom az volt, hogy minél könnyebb legyen a szerkezet, kis szervó motorok teljesítménye is elég legyen a mozgatáshoz, illetve az idő szűkében is meg lehessen építeni. Hogy fémből legyenek az alkatrészek, azt hamar elvetettem, ugyanis nagy tömegű, megmunkálása pedig igen – igen körülményes és drága lett volna. A fa anyag súlyban már megfelelő lett volna, azonban nem tudtam volna időben beszerezni, kialakítani a szükséges alkatrészeket. Adta magát tehát a megoldás, a 3D nyomtatás.

3D nyomtatással az alkatrészek súlyra nagyon könnyűek, vízállóak, gyorsan és egyszerűen kialakíthatóak. A legutóbbi nagyon fontos az esetben, például, ha csak a motorok tengelyeinek rögzítésénél a bemélyedéseket nézzük. Mivel egyik alkatrész sincs túl nagy igénybevételnek kitéve, a műanyag mechanikai tulajdonságai bőven elegendőek számomra. Végül, még egy érv a 3D nyomtatás mellett, hogy a szerkezet méretei is megengedték ezt a módszert. A mechanikai részeket a napelem méreteihez igazítottam, aminek hossza 150 mm. A maximális méret amit nyomtatni kellett a villás tartóelem hossza volt (170 mm), de az egész szerkezet nem túl nagy. A 23. ábra mutatja a fő méreteit, persze nyilvánvalóan a függőleges komponens folyamatosan változik a forgással, de közelítésnek jó.



23. ábra: a szerkezet méretei (saját ábra)

Az alkatrészek 3D nyomtatásához PETG anyagot használtam, mert könnyen nyomtatható, illetve mechanikai szilárdsága is megfelelő. A nyomtatás nagyjából nettó 20 órát vett igénybe összesen, a kész alkatrészek a 24. ábrán láthatóak, a róluk készült műszaki rajzok pedig a mellékletekben találhatóak meg.



24. ábra: a kész nyomtatott alkatrészek (saját ábra)

#### 3.2.4. Aktuátorok kiválasztása

A tervezés elején felmerült bennem, hogy sima DC motorokkal vagy léptetőmotorokkal oldjam meg a napelem kéttengelyű forgatását. Azonban az előbbi megoldáshoz szükség lett volna valamilyen pozíciómérésre alkalmas szenzorra, amelynek a beépítése mellett a szabályzását is meg kellett volna oldanom, utóbbinak pedig viszonylag bonyolult a vezérlése. Ezért nyúltam az egyszerűbb megoldáshoz, a szervó motorokhoz, melyben a pozíciómérést és a szabályzást is megoldja a benne lévő elektronika, nekem csak egy, a szöghelyzettel összefüggő digitális jelet kell kiadnom.

A szervók impulzusszélesség – vezérelt motorok, amelyek adott szöghelyzet felvételére képesek. Ez azt jelenti, hogy a motornak egy impulzusszélességgel lehet megadni, hogy milyen pozícióba álljon be. Csak akkor fogyaszt energiát, amikor éppen a kívánt pozícióba fordul, egyébként nem igényel áramot. Ezzel ellentétben a léptetőmotoroknak ahhoz is szükségük van áramra, hogy az adott pozíciót megtartsák. Egyetlen, a mikrokontroller PWM kimenetére csatlakoztatott kisáramú vezetékkel tudom szabályozni a motor elindulását, megállását, forgásirányát és fordulatszámát, nincs szükségem külön vezérlőáramkörre. A használt szervó motorokat egy mikrokontroller vezérli egy – egy háromvezetékes kábelen keresztül. Motoronként két vezeték szolgál a tápellátásra, egy pedig a helyzetparancsok továbbítására egy PWM (impulzus – szélesség moduláció) kimeneti pin – en keresztül. (Bódi, 2010)

A projekthez fém fogaskerekes MG90S mikro szervó motorokat használtam. Korábbi tapasztalataim alapján nyomatékuk bőven elegendő a könnyű szerkezet forgatásához mind vertikális, mind horizontális irányban. A 25. ábrán látható a választott motor.



25. ábra: MG90S szervó motor

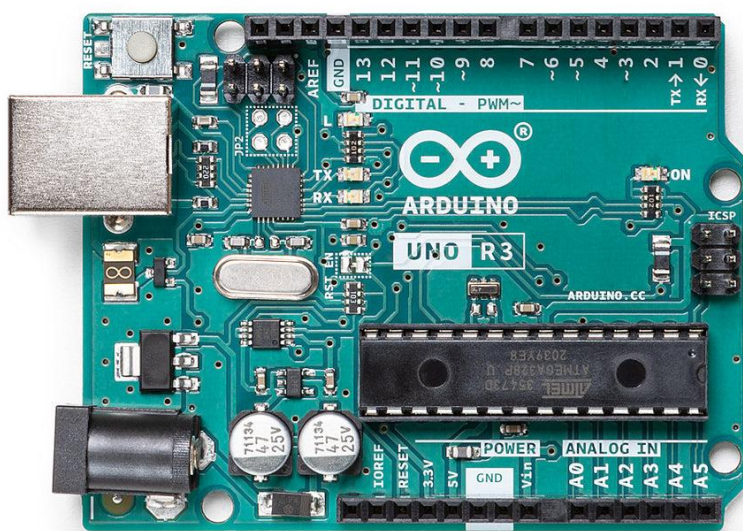
Fontosabb műszaki paraméterei:

- működési feszültség: 4.8 – 6 V
- nyomaték: 2 kg/cm
- fordulási sebesség: 0,1 s / 60° (terhelés nélkül)
- forgásszög: 180°
- súly: 13,4 g

### 3.2.5. Vezérlőegység kiválasztása

Az aktív napkövető technológiákhoz kapcsolódó vezérlési megoldások közül az LDR és mikrovezérlő segítségével megvalósítottat választottam, mert házilag talán ezt lehet a legjobban megcsinálni. A megvalósítandó célokra az ATmega328 mikrovezérlő alkalmazkodik gazdaságosan. A rendszer annyira nem összetett és bonyolult, hogy ez a mikrovezérlő ne tudná lefuttatni a programot, memóriája bőven elegendő, illetve az ára nagyon alacsony.

Az ATmega328 használata önmagában nem lenne célravezető, külső elemeket igényel (kvarcok, kondenzátorok, feszültség stabilizátor, csatlakozók, stb.). Emiatt célszerű és gazdaságosabb az Arduino cég által készített kártyákat használni, amibe integrálva van a mikrovezérlő. A cég saját fejlesztői környezetet is készített, ahol C és C++ nyelveken írhatjuk a programjainkat a mikrovezérlőre és egy gombnyomással fel is tölthetjük rá. Az Arduino UNO tökéletesen kielégíti az igényeket, a 26. ábra mutatja a kártyát.



26. ábra: Arduino UNO (Arduino, 2024)

Jobb oldalt, alul található maga a mikrovezérlő. Bal oldalt, felül egy USB csatlakozó kapott helyet, amin keresztül kapja a tápfeszültséget például egy számítógépről (de akár akkumulátorról is üzemeltethető). 14 darab I/O pin – je van, amiből hat darab használható PWM – kimenetként, továbbá hat darab analóg bemeneti pin – je. A négy darab LDR szenzor csatlakozik az A0 – A5 pin – ek közül négyre, mint bemeneti jelek. A két szervomotor pedig két darab PWM pin – hez van csatlakoztatva, amelyek a rendszer kimeneteiként működnek.

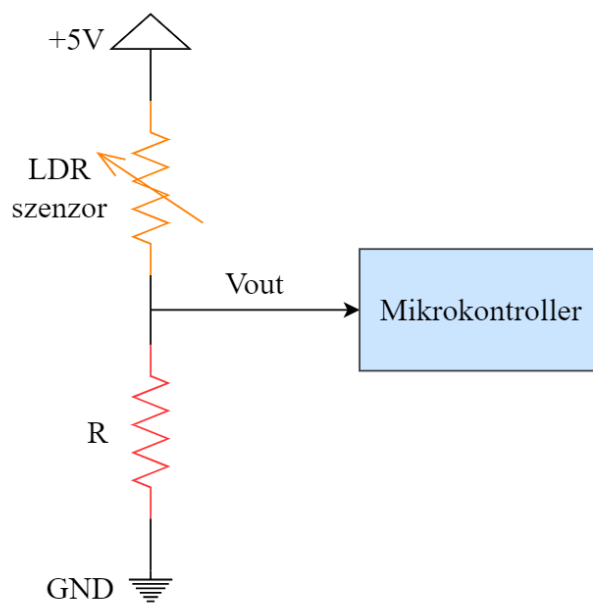
### 3.2.6. LDR szenzorok

Mint már korábban említettem, négy darab fotoellenállással (LDR szenzorral) határozom meg a legintenzívebb fény irányát. Célszerű megoldás, mivel egy nagyon egyszerű áramköri elem, illetve igen alacsony áron kapható. A 27. ábrán látható maga a szenzor.



27. ábra: LDR szenzor (Eletronics Hub, 2024)

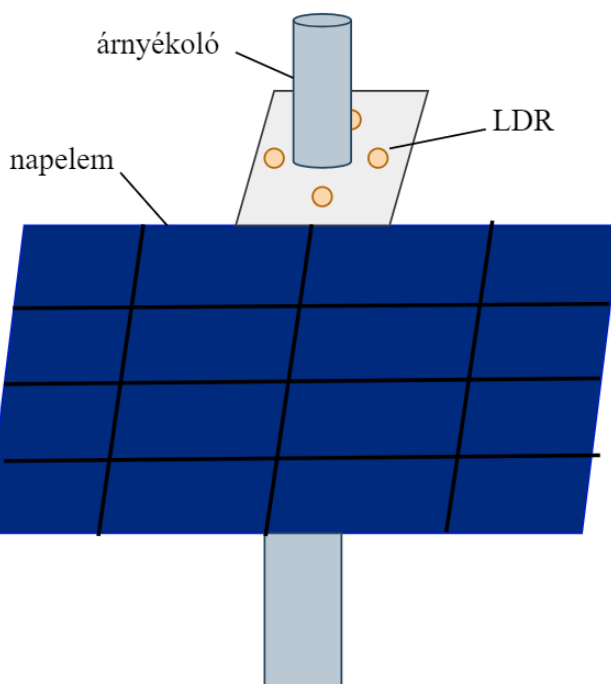
Az LDR szenzor a 28. ábrán látható módon egy sorba kötött ellenállással feszültségosztóként van kialakítva a stabil kimeneti feszültség biztosítása érdekében.



28. ábra: feszültségosztó áramkör (saját ábra)

Tehát, mivel az LDR ellenállása a fényerősség függvényében változik, a feszültség ( $V_{out}$ ) a sorba kötött ellenálláson is változik. Ekkor a mikrokontroller ADC – je az analóg jelet 0 és 1023 közötti digitális jellé alakítja át (ugyanis az 10 bitben van kódolva), és ezen érték alapján lehet tudni a fényerősséget. Ha a szenzort erős napsugárzás éri, akkor ugye az ellenállása lecsökken, és ezért rajta kevesebb, míg a sorba kötött ellenálláson több feszültség esik, ezt érzékeli a mikrokontroller. Fordított esetben, például, ha árnyékba kerül a szenzor, akkor megnő annak ellenállása és (persze attól is függ, hogy mekkora ellenállás van vele sorba kötve) azon esik több feszültség, így a mikrovezérlő egy kisebb feszültségjelet kap. A négy LDR szenzor feszültségjeleiből számítja ki, hogy melyik motort és melyik irányba kell forgatnia.

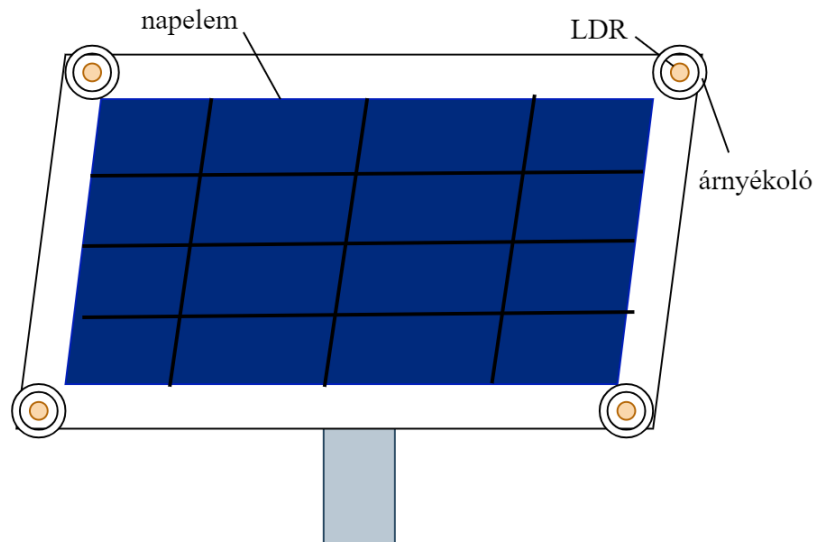
Érdeemes megvizsgálni, hogy milyen elrendezésben lehet a fotoellenállásokat kialakítani. Mielőtt a „+” alakú „árnyékoló” mellett döntöttem, két féle megoldást vizsgáltam meg. Az egyik a 29. ábrán látszik, ahol a Nap mozgásával egy henger árnyéka vetül egy vagy maximum kettő fotoellenállásra.



29. ábra: LDR elrendezés hengerrel (saját ábra)

Ha a napelem nem merőleges a Napsugarakra, akkor a henger árnyékában lévő szenzort vagy szenzorokat kisebb fényintenzitás éri. Ennél az elrendezésnél a napelem orientációja akkor a legjobb, amikor a keleti és nyugati LDR – en nagyjából azonos a fényerősség, illetve a déli és északi LDR – en is szinte ugyanaz. Ezt a megoldást elvetettem, mert kevésbé pontos, mint az általam választott kivitelezés.

A 30. ábrán bemutatott megoldás szerint a napelemmodul négy sarkához helyezzük a szenzorokat, amiket bizonyos magasságú csövek vesznek körbe. Ezek a csövek vetnek árnyékot az LDR – ekre, amikor a napelem nem a legfényesebb pont felé áll. Ezt a lehetőséget azért vettem el, mert feleslegesen bonyolította, illetve súlyban nehezítette volna a szerkezetet.



30. ábra: LDR elrendezés a sarkokon (saját ábra)

Ebben az esetben a napelem helyes orientációját egyébként ugyanúgy lehet meghatározni, mint annál a megoldásnál, amit választottam. Onnan tudjuk, hogy a panel merőleges a napsugarakra, hogy a bal alsó és a jobb alsó LDR – t azonos sugárzás éri, mint a bal felsőt és a jobb felsőt, továbbá a bal felső és bal alsó is ugyanakkora sugárzást kap, mint a jobb felső és a jobb alsó. Tehát, négy értéket képzünk:

- felső átlagos érték
- alsó átlagos érték
- bal oldali átlagos érték
- jobb oldali átlagos érték

Ezekből az átlagokból újabb kettő értéket számolunk, a felső – alsó különbséget és a bal – jobb különbséget. Ezeket a mennyiségeket vizsgálva egy referenciaértékhez képest el tudjuk dönteni, hogy kell e forgatni a napelemet. Ha ezek az értékek mind kisebbek, mint a referenciaérték, tehát a tolerancia, akkor nem szükséges (nem szabad) mozgatni a napelemet a szervókkal. Amint a két mennyiség valamelyike átlépi a toleranciát, akkor attól függően, hogy melyik, és, hogy milyen előjelű, a helyes motort a helyes irányba forgatja a mikrovezérlő.

### 3.2.7. LDR – ek érzékenységeinek beállítása

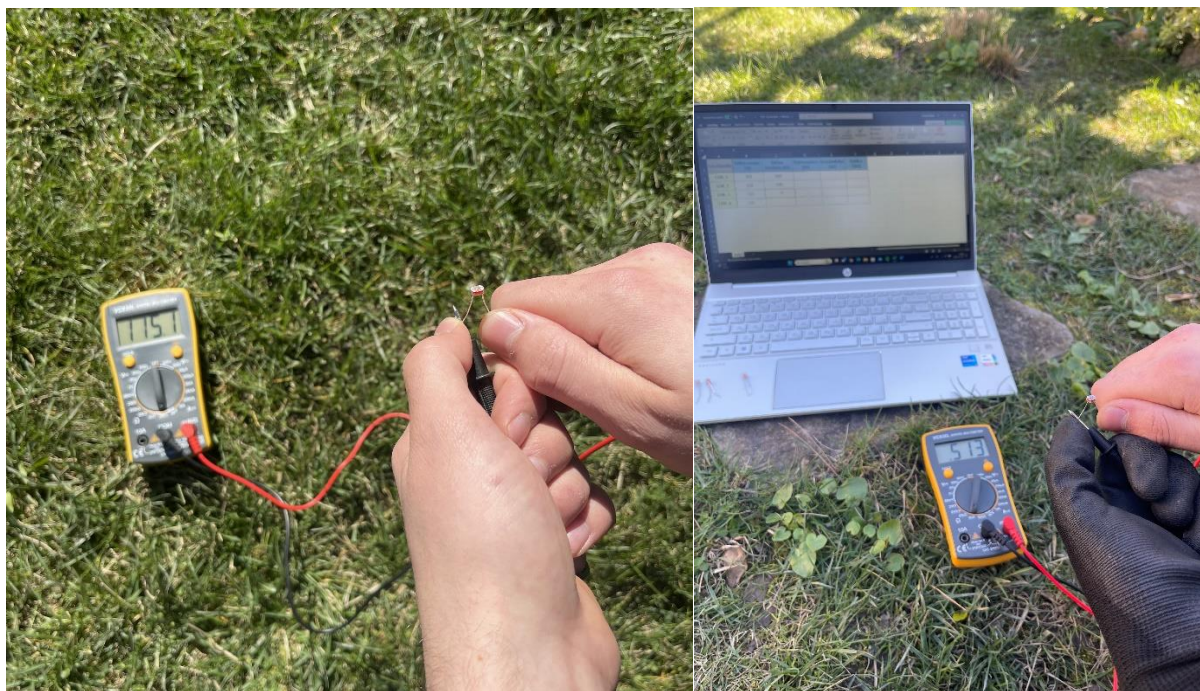
Amennyiben azt szeretnénk elérni, hogy a napkövető rendszer minden időjárási körülmények között megfelelően működjön, akkor az LDR feszültségosztó áramkörében egyáltalán nem mindegy, hogy mekkora ellenállást kötünk a fotoellenállással sorba. Úgy kell megválasztani az ellenállás értékét, hogy annyira legyen érzékeny, hogy a sugárzó napfényes, derült és borús időben is minél kisebb fényviszony – változások hatására változzon a feszültségosztó kimenő jele ( $V_{out}$ ) is. A legjobb, ha a nyári verőfényes déli napsütésben (amikor a legalacsonyabb az ellenállása) és naplemente után sötétedéskor (amikor pedig a legnagyobb), illetve a kettő között a sorba kapcsolt ellenálláson eső feszültség minél nagyobb intervallum között tud változni. Azonban az analóg feszültségjel mégsem közelítheti meg túlzottan a két szélsőértéket (0V és 5V), mivel azokat esetlegesen elérve az értéke már nem fog változni, a rendszer érzéketlen lesz.

Ha az ellenállás túl nagy vagy túl kicsi, akkor az elektromos potenciálváltozás kicsi lesz. A napsütésben és éjjel mért feszültségértékek túl közel lesznek egymáshoz, ami azt jelenti, hogy kisebb eltéréseket nem tudunk észlelni. Ilyenkor a rendszernek csökken a felbontása, csak a jelentősebb fényintenzitás – változásokat tudja érzékelni. Ezáltal sokszor nem az optimális irányban állna a napelem, ami természetesen a termelt energia mennyiségének rovására menne.

Fontos tehát jól méretezni az ellenállások értékét, amit egy egyszerű módszerrel valósítottam meg. Először is, egy digitális multiméterrel megmértem a négy darab LDR ellenállását különböző napszakokban, hogy azokból ki tudjam választani a legalacsonyabb és a legmagasabb értékeket, mint referencia. A vizsgált napszakok: délben napfényben, délben árnyékban, naplementekor, besötétedéskor, éjféltkor (teljes sötétben). A mért adatok az 1. táblázatban láthatóak, a 31. ábra pedig a mérésről mutat kettő pillanatképet délben a napon, illetve árnyékban.

| Fotoellenállás | Délben a napon<br>[ $\Omega$ ] | Délben árnyékban<br>[ $\Omega$ ] | Naplementekor<br>[k $\Omega$ ] | Besötétedéskor<br>[k $\Omega$ ] | Éjféltkor<br>[M $\Omega$ ] |
|----------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| LDR_1          | 122                            | 605                              | 1,84                           | 550                             | 1,16                       |
| LDR_2          | 114                            | 530                              | 1,82                           | 670                             | 1,09                       |
| LDR_3          | 115                            | 540                              | 1,87                           | 662                             | 1,22                       |
| LDR_4          | 131                            | 610                              | 2,08                           | 678                             | 1,23                       |

1. táblázat: LDR – ek ellenállásértékei különböző napszakokban (saját táblázat)



31. ábra: pillanatképek a mérésről (saját ábra)

A mérést 2024 március 17 – én végeztem el, így nyilvánvalóan valamennyire más értékeket kaptam, mint ha azt nyáron csináltam volna, de úgy gondolom, hogy közelítésnek jó. A legkisebb ellenállás amit mértem (a legnagyobb fényben) az  $114\ \Omega$ , a legnagyobb pedig (a legnagyobb sötétben)  $1,23\ \text{M}\Omega$ . Referenciaértékeknek azonban mégsem ezeket választottam, ugyanis a nyári napsütésben biztosan tovább csökken az LDR – ek ellenállása, tehát bővül az intervallum. Ezáltal  $100\ \Omega$  – ot vettem alsó határnak, felsőnek pedig a naplementekor mért ellenállásértékeknél kicsit nagyobbat (ott már a parabola karakterisztika miatt az ellenállás rendkívül gyorsan nő az idővel),  $5\ \text{k}\Omega$  – ot. Ezt azért tettem, mert nagyjából az olyan fényviszonyokig érdemes követni a Napot, utána már nagyon kevés energiát termelne a napelem, viszont a motorok forgatásához ugyanúgy energiára lenne szükség.

Azt szerettem volna, hogy a rendszer minél érzékenyebb legyen, minél pontosabban kövesse a Napot. Tehát, a sorba kapcsolt ellenállásokat úgy kellett megválasztanom, hogy az előbb említett két határ – ellenállásérték esetén a feszültségosztó kimenő jele a lehető legjobban lefedje a  $0 - 5\ \text{V}$  – ig terjedő skálát. Különböző ellenállások esetében kiszámoltam, hogy mekkora lenne a kimenő feszültség a két határértéknél, illetve a kettő mennyiség különbsége ( $\Delta V_{\text{out}}$ ). A  $V_{\text{out}}$  meghatározására a következő egyenletet használtam:

$$V_{\text{out}} = 5V \cdot \frac{R}{R + R_{\text{LDR}}} \quad [V] \quad (3)$$

A 2. táblázat tartalmazza a számolt eredményeket kilenc darab különböző ellenállás esetén.

| Ellenállás     | $V_{out} [V]$      |                    | $DV_{out} [V]$<br>$= V_{out}(100 \Omega) - V_{out}(5 k\Omega)$ |
|----------------|--------------------|--------------------|----------------------------------------------------------------|
|                | LDR = 100 $\Omega$ | LDR = 5 k $\Omega$ |                                                                |
| 50 $\Omega$    | 1,667              | 0,050              | 1,617                                                          |
| 100 $\Omega$   | 2,500              | 0,098              | 2,402                                                          |
| 220 $\Omega$   | 3,438              | 0,211              | 3,227                                                          |
| 330 $\Omega$   | 3,837              | 0,310              | 3,528                                                          |
| 470 $\Omega$   | 4,123              | 0,430              | 3,693                                                          |
| 1 k $\Omega$   | 4,545              | 0,833              | 3,712                                                          |
| 5 k $\Omega$   | 4,902              | 2,500              | 2,402                                                          |
| 10 k $\Omega$  | 4,950              | 3,333              | 1,617                                                          |
| 100 k $\Omega$ | 4,995              | 4,762              | 0,233                                                          |

2. táblázat: LDR – ek kimenő jele különböző ellenállásokkal sorba kapcsolva (saját táblázat)

A táblázatból kiolvasható, hogy a 330  $\Omega$  alatti és az 1 k $\Omega$  feletti ellenállásoknál a  $DV_{out}$  értéke viszonylag kicsi, úgyhogy azok semmiképpen sem jók, a Napkövetés nem lenne túl pontos. 1 k $\Omega$  – os ellenállás esetén lenne a legpontosabb a nyomkövetés, azonban a 470  $\Omega$  – os ellenállás szinte ugyanakkora  $DV_{out}$  értéket (0,019 V a különbség) ad, és mivel az azonnal kéznél is volt, azt választottam.

A mikrokontroller AD konvertere az analóg feszültségjelet 0 és 1023 közötti digitális jellé alakítja át (0 – 5 V között). Így 470  $\Omega$  – os ellenállásokat sorba kapcsolva az LDR – ekkal egy egyszerű arányossággal meg lehet határozni, hogy a mikrovezérlő hány különböző fényerősséget tud megkülönböztetni:

$$\frac{3,693 V}{5 V} = 0,7386 [-] \quad (4)$$

És ebből:

$$0,7386 \cdot 1024 = 765,33 [-] \quad (5)$$

Azaz, az ellenállás értéke úgy lett méretezve, hogy a mikrokontroller egy napos, nyári napon, Magyarországon, a fényerősség változásával 756 különböző feszültségértéket mérjen. Ez szerintem kellően pontos működést tesz lehetővé.

### 3.3. Elektronikai kapcsolás

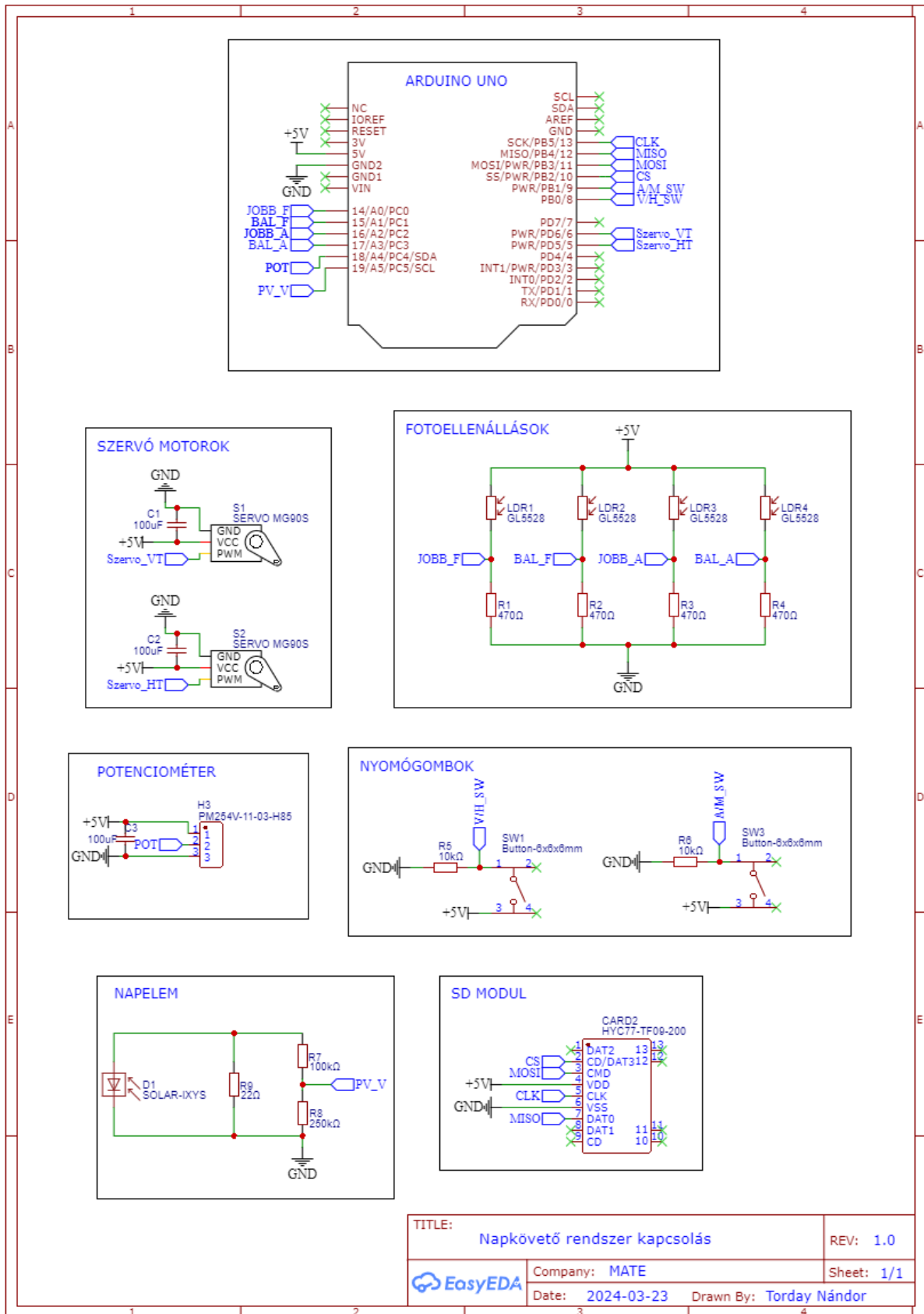
A 32. ábra mutatja a kapcsolási rajzot (egy oldallal lejjebb), amit EasyEDA környezetben készítettem el. A kapcsolási rajz tartalmazza az Arduino UNO kártyát amire az ATmega328 mikrovezérlő van integrálva. A tápfeszültséget egy számítógép szolgáltatja USB kábelén keresztül (ez nincsen feltüntetve) és az Arduino panel 5V, illetve GND2 kivezetéseiből látja el energiával az elektronikai elemeket.

A két szervó motor működését a kártya 5 – ös és 6 – os digitális kimeneti pin (PWM) – jén keresztül lehet vezérelni. Az 5 – ös pin – re a horizontális tengely körül forgató motor van kapcsolva, másakra pedig a vertikális szervó motor.

A fotoellenállások az A0 – A3 közötti pin – ekre vannak kapcsolva egy feszültségosztó áramkörön keresztül, az előző fejezet alapján  $470\ \Omega$  – os ellenállásokkal. A kereszt alakú árnyékoló körüli elhelyezkedésük szerint sorban: jobb felső, bal felső, jobb alsó, bal alsó.

Célom volt, hogy valahogy meg tudjam oldani az állandó napkeresés problémáját, illetve, hogy valamelyik szenzor, kábel, részegység meghibásodása esetén is nagyjából a napsugarakra merőlegesen be lehessen állítani a napelemet. Ezt egy igen kezdetleges, de hatékony módon oldottam meg. A 8. és 9. digitális pin – re két darab egyszerű nyomógombot kötöttem be. Az egyik gombbal ki lehet választani, hogy automatikus vagy manuális módban akarjuk – e üzemeltetni a szerkezetet. Automata módban az alapvető elgondolás van érvényben, tehát külső beavatkozás nélkül követi a napot. Manuális módban viszont az A4 – es analóg pin – re bekötött egyszerű potenciométer segítségével lehet vezérelni a motorokat. A másik nyomógommbal lehet kiválasztani, hogy melyik szervót szeretnénk irányítani. Ezzel a megoldással, ha valami okból kifolyólag a szerkezet nem a legfényesebb pont felé áll, saját kezűleg nagyjából be tudjuk oda állítani. Ez a funkció azért fontos, mert felhős, heterogén fényviszonyok között, a folyamatos napkeresés miatt az energiatermelés kevésbé hatékony a napkövetést végző motorok főlegesen üzemelése miatt, és emellett fokozottabb az amortizáció is.

A napelem teljesítményének meghatározásához szükségem volt a feszültségének mérésére, amit az A5 – ös analóg pin – re kapcsolt feszültségosztó áramkörrel valósítottam meg. Mérés során minden mintavételkor (5 másodpercenként) szoftveresen számolom ki a teljesítményt, amit az Arduino kártyához kapcsolt SD kártya modulban elhelyezett SD kártyára írok ki. Hasonlóan teszek a másik, fix napelemmel is, így egy Excel táblába az adatokat bemásolva a két adathalmazból egy grafikont tudok csinálni, amin szemléletesen ábrázolva van mindkét jelleggörbe. Az adatkértékelésről részletesebben a 3.5. fejezetben lesz szó.



32. ábra: kapcsolási rajz (saját ábra)

### 3.4. Software

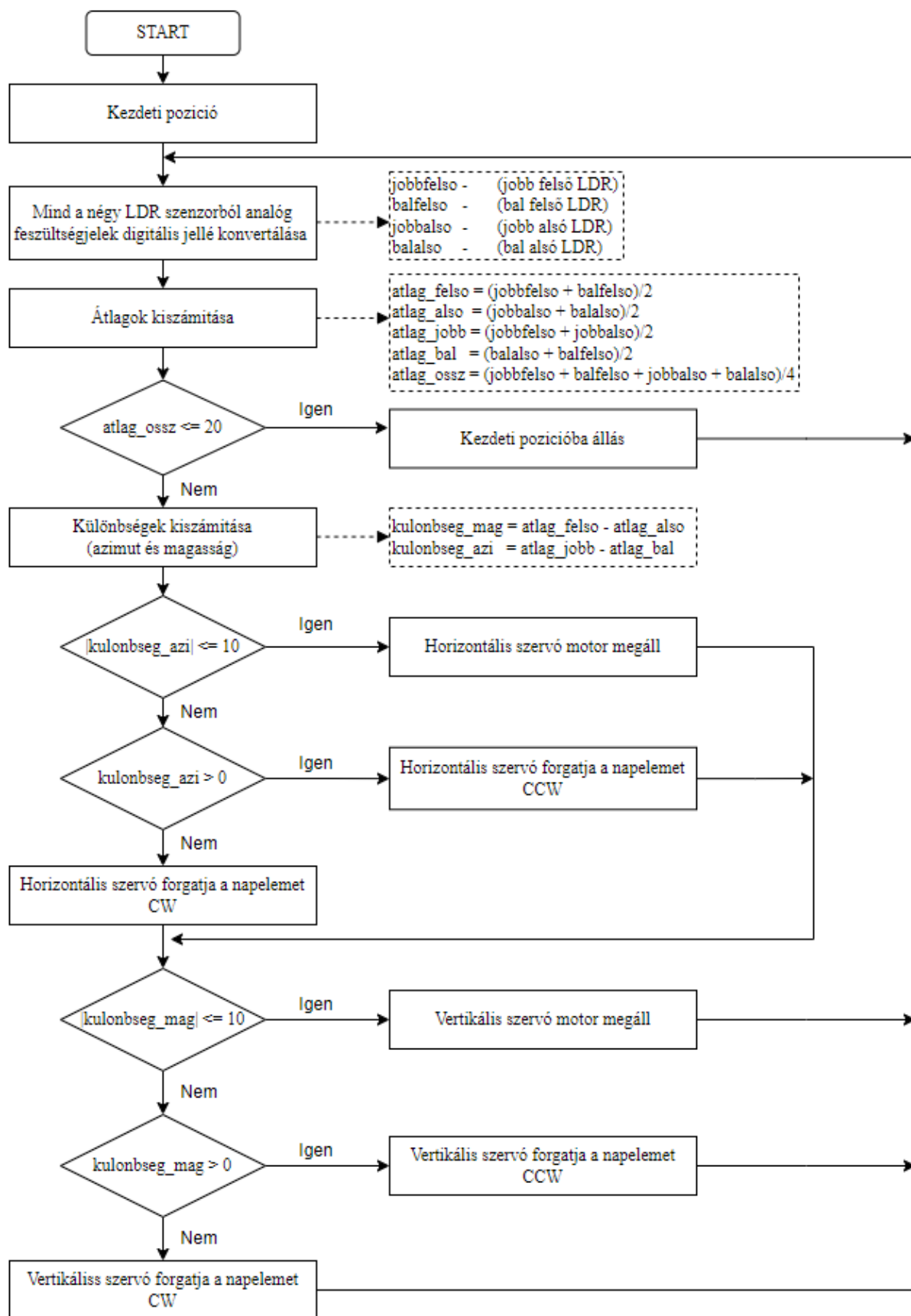
A napkövető rendszer automata működését szoftveresen a 33. ábrán (következő oldalon) látható folyamatábra alapján oldottam meg. A kódot az Arduino saját fejlesztői környezetében, az Arduino IDE – ben írtam. A teljes programkód a mellékleteknél található meg, ebben a fejezetben csak az automatikus funkció működését részletezem.

Lényege, hogy a mikrokontroller mind a négy LDR szenzorból kiolvassa az analóg feszültségjeleket (ad nekik egy értéket 0 és 1023 között) majd azt változóban menti el. Ezután felső, alsó, jobb, bal és összes átlagokat számít. Ha az összátlag kisebb egy előre meghatározott értéknél, az azt jelenti, hogy nagy az LDR – ek ellenállása, tehát nincs elég fény, besötétedett. Ilyenkor a szerkezet egy olyan kezdeti pozícióba áll, hogy a napelem majd a felkelő Nap irányába álljon, várja a következő napot.

Amennyiben van elég fény, a mikrokontroller az átlagértékekből azimut és magasság különbségértékeket számol. Először az azimut különbségértéket vizsgálja (jobb átlag – bal átlag). Ha az egy meghatározott tartományon belül van, akkor tudjuk, hogy nincs sok különbség a jobb és bal oldali LDR – eket érő fénymennyiség között, jó irányba áll a napelem, nem kell mozgatni a horizontális szervót. Azonban, ha az azimut különbségérték az intervallumon kívül esik, akkor az előjelétől függően a megfelelő irányba kell forgatni a motort (CW: óra járásával megegyező irány, CCW: óra járásával ellentétes irány). Ezután a mikrokontroller ugyanilyen módon a magasságkülönbséget (felső átlag – alsó átlag) vizsgálja és a vertikális szervót forgatja, amennyiben szükséges.

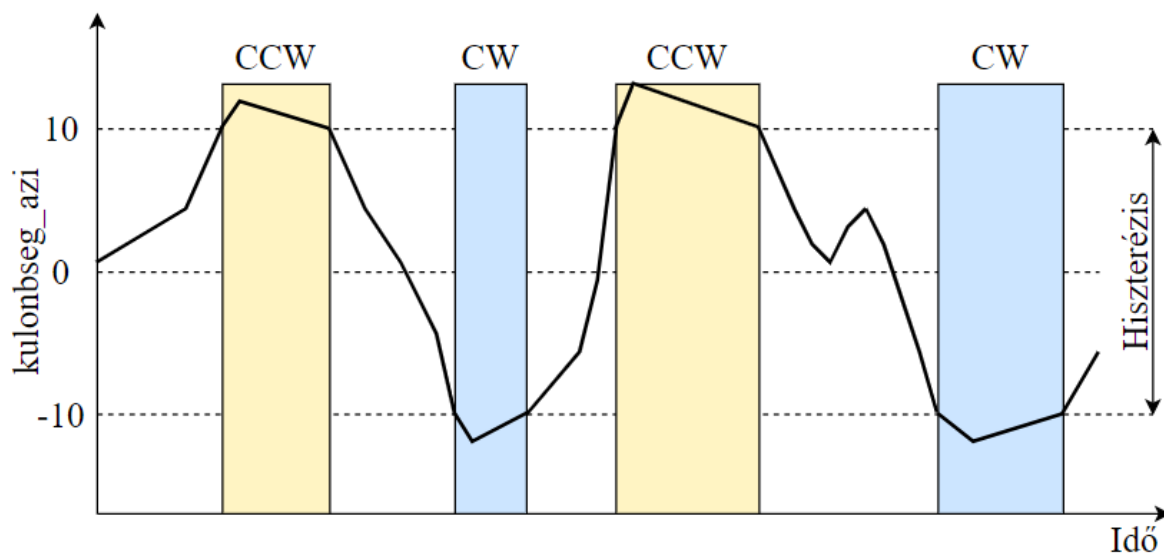
A hiszterézis alkalmazását az indokolja, hogy az 1. táblázatban láthatóan az LDR – ek ellenállása ugyanolyan fényviszonyok között is más és más, annak ellenére, hogy egyező típusúak. Ezáltal, ha nem lenne hiszterézis tartomány, a felső, alsó, jobb és bal oldali átlagokból számolt különbségértékek 0 körül ingadoznának, a motorok folyamatosan forognának. Ezzel a megoldással viszont, hogyha a különbségek eredménye a hiszterézis sávbán van, a szervó motorok mindig leállnak. A motorok csak akkor forognak, ha a különbség eredménye kívül esik az intervallumon  $[-10, 10]$ .

Tehát, a tűrési tartomány segítségével rengeteg energiát takaríthatunk meg ami a motorok forgatására fordítódna, stabil és kellően pontos működést tesz lehetővé, és nem utolsósorban az amortizációt is nagy mértékben csökkenteni tudjuk.



33. ábra: folyamatábra az automata működésről (saját ábra)

A 34. ábrán egy időzítési diagram látható, amely leírja a horizontális motor működésének elvét. Látható, hogy a motor – vezérlőjelek csak akkor magasak (igaz értékűek), amikor az azimut különbségérték a  $[-10, 10]$  tartományon kívül esik. Ugyanezen elv szerint működik a függőleges szervomotor is, csak a magasság különbségértéket vizsgálva.



34. ábra: histerézis alkalmazása (saját ábra)

### 3.5. Adatkiértékelés

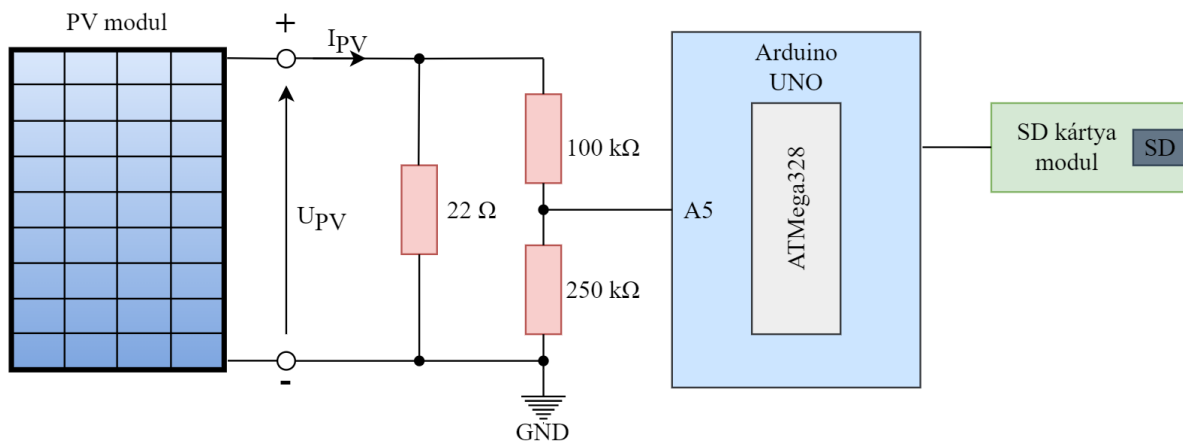
#### 3.5.1. Hardware

Ahogy azt már az elektronikai kapcsolás résznél említettem, a nyomkövető és fix állású napelemek összehasonlításához valahogyan meg kell mérnünk a teljesítményüket. Mivel az a feszültség és az áramerősség szorzata, azoknak az értékeit szükséges meghatározni.

A napelem feszültségét a mikrokontroller A5 – ös analóg bemeneti pin – jén mérem, azonban a névleges feszültsége 5,5 V, míg a mikrovezérlő 5 V – ra le van korlátozva. Ezért az LDR – eknél hasonló módon (csak más célból) feszültségosztót alakítottam ki, hogy a mért feszültség értéke ne tudja meghaladni az 5 V – ot. Biztonsági okokból a feszültségosztót úgy méreteztem, hogy még üresjáratban is csak maximum 5 V analóg feszültséget érzékeljen a mikrovezérlő. Ehhez megmértem délben, teljes napsütésben a napelem üresjáratú feszültségét. A maximális érték, amit mértem, 6,8 V volt, azonban hidegebb időben a hőfokfüggés miatt ez valamennyivel lehet több, ezért 7 V – al számoltam. A feszültségosztó képlete alapján meghatároztam, hogy milyen arányúnak kell lennie a két ellenállásnak, ahol 5 V a bemeneti feszültség, míg 7 V a kimeneti feszültség:

$$5 = 7 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} [V] \quad (6)$$

A képletből kijött, hogy annak az ellenállásnak, amelyiken a feszültségesést mérem, 2,5 – ször akkora kell lennie, mint a másiknak. Törekedtem rá, hogy minél nagyobb értékeket válasszak, de a készletem véges volt, így 100 kΩ és 250 kΩ (220 + 20 + 10 kΩ) nagyságúak mellett döntöttem. A kettő között kapcsoltam rá a mikrokontrollert, ami így a GND – től a nagyobb ellenálláson eső analóg feszültséget méri és alakítja át digitális értékké. A 35. ábrán látható a feszültség mérésének elve.



35. ábra: feszültségmérés elve (saját ábra)

Az ábra alapján látható, hogy 22 Ω terhelése van a napelemnek. Ezt a névleges feszültség és áramerősség (291 mA) ismeretében, Ohm törvénye alapján a hányadosukból határoztam meg.

A pillanatnyi leadott teljesítményt mérés során a nyomkövető és fix napelem esetében is programkódból kiírtam egy SD kártyára, külön szöveges fájlba az Arduino kártyára kapcsolt SD kártya modul segítségével. Végül, Excel táblába bemásolva az adatokat grafikont készítettem belőlük.

### 3.5.2. Software

Szoftver oldalról megközelítve az adatgyűjtést a 36. képen látható folyamatábra szerint jártam el. Miután megteremtettem a kommunikációt az SD kártya és a mikrovezérlő között, létrehoztam kettő szöveges fájlt a kártyán. A bemenetekre érkező feszültségértékekből az alábbi összefüggés alapján tudtam kiszámítani a feszültséget (most csak a napkövető napelemet nézve példaként):

$$U_{A5} = \frac{A5}{1024} \cdot 5 V \quad (7)$$

Ezután az ellenállásoknak az aránya ismeretében meghatározható a napelem feszültsége:

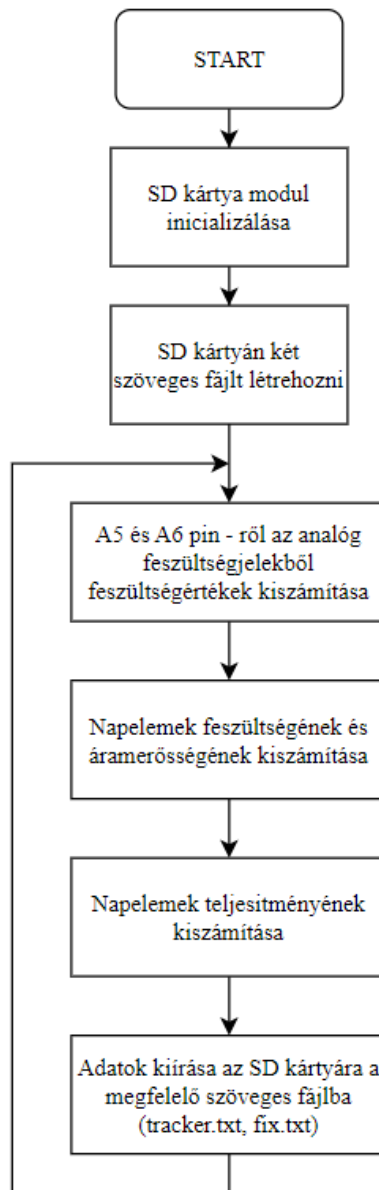
$$U_{tracker} = \frac{250 + 100}{250} \cdot U_{A5} = 1,4 \cdot U_{A5} [V] \quad (8)$$

Ebből a terhelés ismerete mellett Ohm törvénye szerint az áramerősség:

$$I_{tracker} = \frac{U_{tracker}}{22} [A] \quad (9)$$

Végül a teljesítmény kiszámítása:

$$P_{tracker} = U_{tracker} \cdot I_{tracker} [W] \quad (10)$$

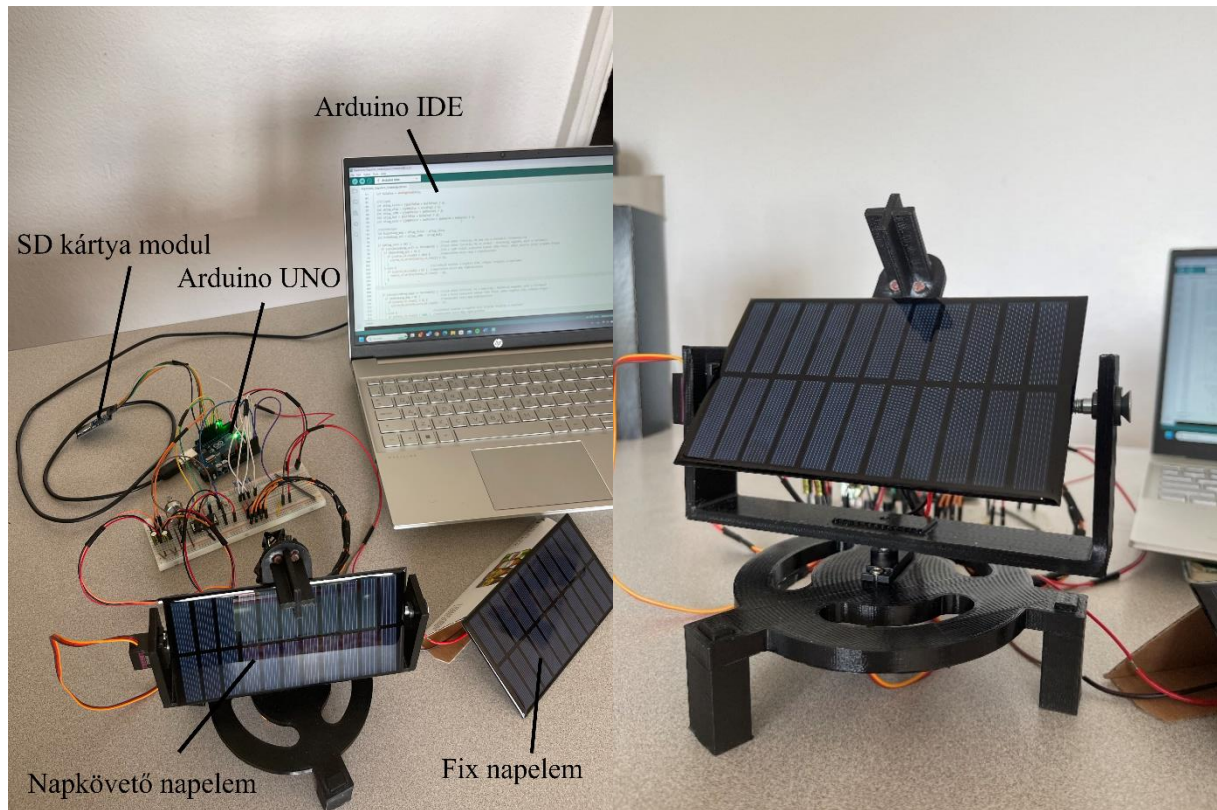


36. ábra: teljesítmény kiszámítása és az adatok gyűjtése (saját ábra)

## 3.6. Mérés

### 3.6.1. Kész szerkezet

A 37. ábra mutatja a kész, működőképes szerkezetet, ami sok tesztelés és hibajavítás után készen áll a mérésre.



37. ábra: a kész berendezés (saját ábra)

### 3.6.2. Mérés

A mérést (először) egy egész végig napsütéses időben csináltam napfelkeltétől naplementéig, ami nagyjából 13 órát ölelt fel. Azonban amikor ki akartam másolni az 5 másodpercenkénti teljesítményadatokat az SD kártyára, szomorúan tapasztaltam, hogy üresek a szöveges fájlok. Így másnap meg kellett ismételnem a mérést, de sajnos egyrészt részben felhős volt az idő, másrészt azt már csak máshol tudtam megcsinálni, ahol a legjobb helyen is árnyék volt napfelkeltekor és naplementekor is. Ezáltal a vizsgált időszak 11 órára csökkent, és a felhős, borús idő miatt nem annyira szemléletes a különbség a megtermelt energiában. Mindezek hatására nem pont olyan eredményt kaptam, mint amelyet szerettem volna, de sajnos máskor és máshol már nem lett volna időm megismételni a mérést, főleg azért, mert egy elég nagy hidegfront kezdődött közvetlenül a második mérés másnapján.

A vizsgálat úgy zajlott, hogy a fix napelemet, ami nagyjából  $40^\circ$  - os szöget zár be a vízszintes síkkal, beállítottam pontosan déli irányba, míg a másikat úgy helyeztem el az asztalon, hogy a vertikális tengelyű szervó keleti és nyugati irányban legyen a két véghelyzetében. Folyamatosan figyeltem, hogy probléma esetén tudjak rá azonnal reagálni, de minden rendben működött (kivéve első esetben az SD kártyára írás). A 38. ábra napfelkeltekor készült, látható, hogy kelet felé van fordulva a nyomkövető napelem, a 39. ábra pedig délelőtt 11 óra körül, amikor is hasonló helyzetben állnak a napelemek.



38. ábra: pillanatkép a mérésről napfelkeltekor (saját ábra)

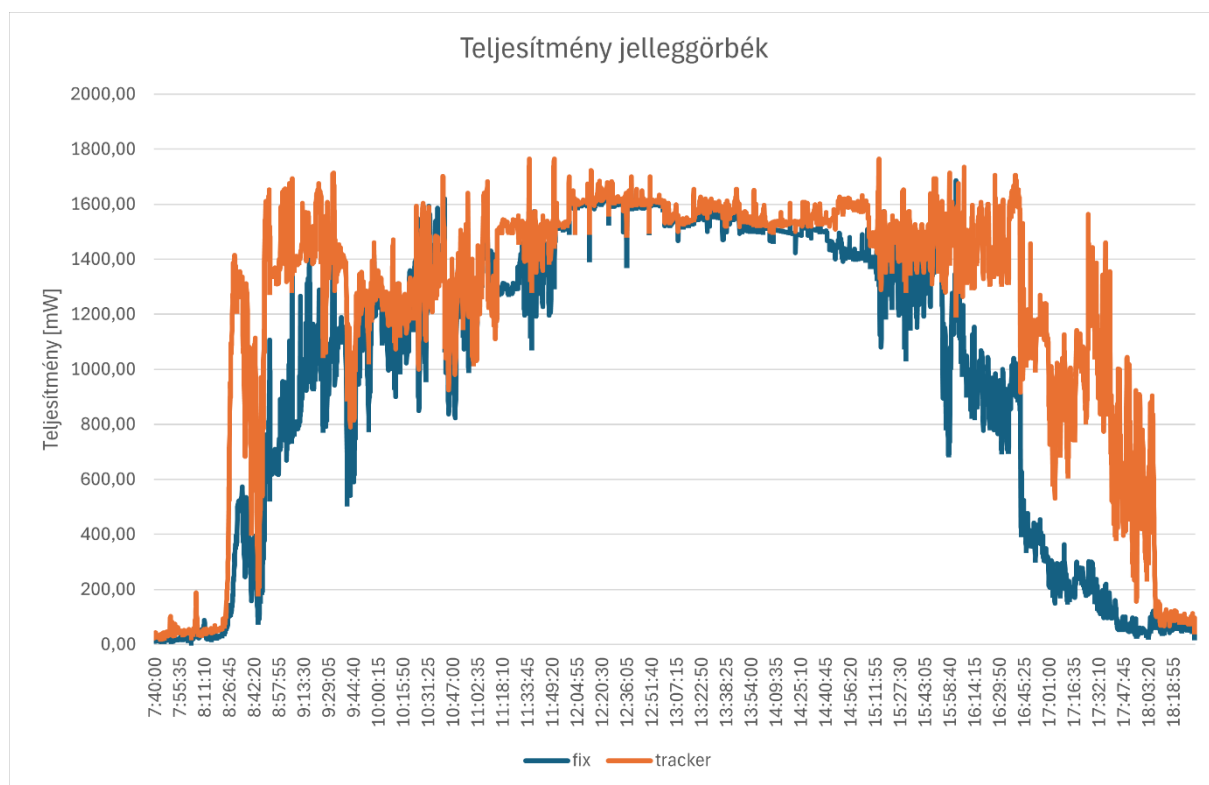


39. ábra: pillanatkép a mérésről délelőtt 11 óra körül (saját ábra)

## 4. Eredmények és értékelés

### 4.1. Eredmények

Az előző fejezetben említett okok miatt nem pont olyan jelleggörbét kaptam eredményül, mint amit szerettem volna, azonban a lényegi különbség látszik így is. Alapvetően a fix napelemnek egy hegyesebb karakterisztikája van, míg a napkövető napelemnek szélesebb, inkább téglalap alakú. Ez igazából azt jelenti, hogy a reggeli és késő délutáni órákban is jelentős áramot termel a napelem, ami a puszta többletenergián kívül sokkal szabadabbá teszi az energiafelhasználást is. A 40. ábra mutatja a nyomkövető (tracker) és a fix napelem mért teljesítményértékeit az idő függvényében.



40. ábra: teljesítmény jelleggörbék (saját ábra)

Az ábra nagyjából visszaadja a karakterisztikák közötti különbséget, azonban, ha be tudtam volna állítani a második mérésnél a napelemeket úgy, hogy napfelkeltekor és naplementekor is érje őket a nap, akkor kissé máshogyan nézne ki. A fix napelemé körülbelül ugyanazt mutatná, viszont a nyomkövetőnek a jelleggörbéje szélesebb, elnyújtottabb lenne, így több lett volna a termelt energiája is. Tisztán látszik a trackeres napelem görbéjéből, hogy reggel negyed 9 – kor érte először nap a napelemeket, és este negyed 7 – kor utoljára. Az is megfigyelhető, hogy déltől fél 3 – ig nagyjából azonos teljesítményt adtak le, a névleges 1,6 W – ot. Dél előtt viszonylag

felhős volt az idő, ami látszik is, széles tartományban ugráltak az értékek fel – le, délután pedig fátyolfelhős volt az ég. Néha megtörtént, hogy a nyomkövető napelemes rendszer kereste a Napot az égen néhány másodpercig, illetve sokszor a követés során túlfordult és korrigálnia kellett. Persze az is hozzátesz a rosszabb olvashatósághoz, hogy mivel körülbelül 8000 mintavétel történt, a valamelyik irányba kiugró eredmények nagyon látványosak a diagramon.

#### 4.1.1. A megtermelt energia különbsége

A két napelem görbe alatti területe adja meg az összes termelt energiájukat, amiből utána energiakülönbséget tudtam számolni. Először az Excel táblában kiszámoltam az 5 másodpercenkénti termelt energiájukat a következő képlettel, ahol  $P_n$  az  $n$  – edik mintavételkor mért teljesítményérték:

$$E_{n, 5s} = P_n \cdot 5 [Ws] \quad (11)$$

Ezután mindkét esetben összeadtam ezeket az értékeket, hogy megkapjam a teljes időre vonatkoztatott energiát. A fix panel összenergiája 38,9692 kW<sub>s</sub> – ra (átváltva:  $E_{fix} = 10,8248$  Wh), a nyomkövető napelemé 48,0282 kW<sub>s</sub> – ra adódott ( $E_{tracker} = 13,3411$  Wh). Ebből kiszámoltam, hogy százalékosan mennyivel termelt többet a napkövető napelem:

$$\eta = \frac{E_{tracker} - E_{fix}}{E_{fix}} \cdot 100 \% = \frac{13,3411 - 10,8248}{10,8248} \cdot 100 \% = 23,25 \% \quad (12)$$

Tehát végül kijött, hogy a nyomkövető napelem 23,25 % - al több energiát termelt egy nap alatt, mint a fix telepítésű napelem.

## 4.2. Következtetések és javaslatok

Általánosságban elmondható, hogy egy átlagos napkövető rendszernek 25 – 45 % - al több az energiatermelése, mint a fix rendszereknek (Debreczeni, 2012). Sajnos – a már említett okok miatt – az általam megtervezett rendszernek látszólag, ha csak az egy napi mérés számait nézzük, akkor ettől kicsit elmarad a hatékonysága. Valószínűleg teljesen tiszta, napsütéses időben és megfelelő helyen (ahol nemigen van árnyék) bőven 30 % felett lenne az általam kapott energia - termelésbeli különbség is.

Fontos megemlítenem, hogy a napkövető rendszer alapvetően drágább, karbantartást igényel, és működése során energiát is fogyaszt, ami a hatásfokából ront egy keveset. Azonban megtérülési idejük így is sokkal gyorsabb, mint a hagyományos napelemeké, 5 – 7 év közé teszik. Felhasználásuk családi házaknál a szűk hely miatt elég problémás, leginkább napelem parkoknál vagy nagy tetőkkel rendelkező létesítményeknél alkalmazzák őket, illetve olyan

területeken, ahol a napenergia maximális kihasználása kritikus szempont. Ezeket mind figyelembe kell vennünk, ha össze szeretnénk hasonlítani a két különböző rendszert, amit csak az egyedi igényeknek megfelelően tudunk megtenni. (Solartrackers, 2024)

Szakdolgozatomnak azonban inkább az a témája, hogy tényszerűen, kísérlettel bizonyítsam, hogy valóban jelentősen több energiát termel egy nyomkövető napelemes rendszer a hagyományosnál. Emellett célom volt az is, hogy egy olyan egyszerű, költséghatékony szerkezetet tervezzek és építsek meg, amit ezután akár nagy, rendes méretekben is meg lehet valósítani ugyanezen az elven. Úgy gondolom, hogy mindkét célokat sikerült elérnem. A prototípus, amit terveztem egyszerű, de robosztus, stabilan működött mindig. Alacsony áron meg lehet építeni, egyedül a 3D nyomtatás jelentett nagyobb kiadást, de nagyobb méretben nem műanyagból készülne amúgy sem. Rendes, ipari méretben is működőképes lenne, csak az alkatrészeknek kellene nagyobbak lennie (napelem, tartószerkezet, szervók, stb.). Másik célokat elérve, egy méréssel bebizonyítottam, hogy számottevő eltérés van az általam tervezett és a fix telepítésű rendszer energiatermelése között (még ha a mérési körülményeim nem is voltak optimálisak).

#### *4.2.1. Továbbfejlesztési lehetőségek*

Összességében úgy gondolom, hogy jól sikerült a projektem, azonban számos különböző módon lehet ezután továbbfejleszteni. Talán a legfontosabb lenne ezután egy MPPT (maximális munkapont kereső) töltésszabályozóval felszerelni annak érdekében, hogy mindig a lehető legnagyobb teljesítményt adja le, illetve egy külső Li-ion akkumulátort is lehessen vele tölteni. MPPT szabályozóval a termelés hatékonysága akár 30 % - al is növelhető kevésbé napsütéses időben, és csökkenti a veszteségeket is az akkumulátor töltése során (Debreczeni, 2012). Találtam egy ilyen modult (CN3065), aminek a bemeneti feszültsége 4,4 – 6 V között van, így tökéletes az általam használt napelemhez, és persze olcsó is.

A szerkezet stabilitásán is lehetne fejleszteni, például az egyes komponenseket (tartó – mozgató szerkezet, breadboard, Arduino UNO) ráerősíteni egy lapra, hogy szállításnál vagy nagy szélben se mozogjanak el. A vertikális tengelyű szervó motor tengelyére esetleg lehetne egy fogaskereket rögzíteni, ami egy, a villás tartóelemhez illesztett, talpcsapágyas tengelyen lévő fogaskereket hajtana, ezzel megóvva a motor tengelyét a nagy mértékű kihajlástól. A kinti használat miatt érdemes lenne vízállóvá is tenni az elektronikai alkatrészek elszigetelésével. Végül pedig, meg lehetne építeni rendes méretben, ami már nem csak egy kis akkumulátort töltene, hanem érdemben hozzájárulna a háztartás megújuló energiából származó ellátásához.

## 5. Összefoglalás

Úgy gondolom, hogy a jövőre nézve a legbiztatóbb megújuló energiaforrás a napenergia, és az is leginkább akkor, ha azt tőlünk telhetően a maximális mértékben kihasználjuk. Szakdolgozatom legfőbb célja ezért az volt, hogy megtervezek és megépítsek egy egyedi, kéttengelyű napelemes napkövető rendszer prototípust a napenergia legnagyobb kiaknázásának érdekében. Bizonyítva a módszerem hatékonyságát, termelt energiáját összevetettem egy hagyományos, fix telepítésű napelemével, ami mérésből kielégítő eredményeket kaptam.

A projekt kivitelezése során az egyszerűség és a minél alacsonyabb ár voltak a fő szempontok úgy, hogy ezek ne menjenek a használhatóság és pontosság rovására. Miután tájékoztam a megoldási lehetőségről és összeállt, hogy hogyan tudnék házilag megalkotni egy napkövető rendszert, elkezdtem kiválasztani az alkatrészeket szem előtt tartva a lehető legkevesebb alkatrésszámot. Ez a folyamat állt egy 1,6 W – os napelem, szervó motorok, fotoellenállások (fényérzékelő szenzorok), ATmega328 mikrovezérlő, műanyag siklócsapágy és néhány egyéb mechanikai és elektronikai alkatrész kiválasztásából. Ezzel párhuzamosan folyamatosan modelleztem a tartó – mozgató szerkezetet, amit utána 3D nyomtattam.

Egy kézenfekvő módszert is bemutattam az LDR szenzorok érzékenységének beállítására. Azzal, hogy számos mérés után kiválasztottam a szenzorokkal sorba kapcsolt, megfelelő értékű ellenállást, jelentősen növekedett a napkövetés pontossága. Az elektronikai kapcsolás bemutatása során szót ejtettem további funkciókról is, amik a berendezés manuális irányítását szolgálják. Egy gombbal lehet váltani automata és manuális mód között, és egy másik nyomógommbal lehet kiválasztani az általunk vezérelni kívánt szervót. Szoftver oldalról egy egyszerű algoritmust mutattam be, ami robosztussá és precízzé teszi a napkövetést, de csak alapvető számításokat tartalmaz, így elég hozzá az általam választott olcsó mikrovezérlő számítási kapacitása. Utána tértem rá a teljesítmény mérésére, amit egy feszültségosztóval oldottam meg. A mérési tartomány kiterjesztése gyanánt pontosan megválasztottam az ellenállásokat, majd az optimális terhelés meghatározása után szoftveresen számoltam ki a teljesítményt. Mérés során, öt másodpercenként egy speciális modulba illesztett SD kártyára mentettem ki az adatokat, amiket utána Excel táblázatban tudtam grafikonosan megjeleníteni.

Energiakülönbségre a nem teljesen optimális mérési körülmények ellenére végeredményként 23,25 % adódott, amit biztatónak vélek. Úgy hiszem, céljaimat elérve, szakdolgozatomban rávilágítottam arra, hogy a megoldásom megvalósítható és hatékony. A napelemes, és azon belül is a napkövető rendszerek lehetnek a bolygónk megóvásának egyik kulcsa.

## 6. Summary

I believe that looking ahead, the most promising renewable energy source is solar energy, especially when we make every effort to harness it to the fullest extent possible. Therefore, the primary aim of my thesis was to design and construct a unique, dual – axis solar panel tracker prototype to maximize solar energy utilization. Demonstrating the effectiveness of my method, I compared its generated energy to a traditional fixed installed solar panel, obtaining satisfactory results from measurements.

Throughout the project implementation, simplicity and cost – effectiveness were the main considerations, ensuring they did not compromise usability and accuracy. After researching the solution possibilities and devising a plan to create a homemade solar tracking system, I began selecting components, aiming for the least number of parts possible. This process involved choosing a 1.6 W solar panel, servo motors, photoresistors (light sensors), an ATmega328 microcontroller, plastic bearings, and various other mechanical and electronic components. Concurrently, I continuously modeled the support - moving structure, which was later 3D printed.

I also presented a straightforward method for adjusting the sensitivity of LDR sensors. By selecting the appropriate resistance value in series with the sensors after numerous measurements, the accuracy of solar tracking significantly improved. During the demonstration of the electronic circuitry, I discussed additional functions that facilitate manual control of the equipment. A button allows toggling between automatic and manual modes, and another button selects the servo we want to control. From the software perspective, I introduced a simple algorithm that enhances robustness and precision in solar tracking, but includes only basic calculations, so the computational capacity of the chosen inexpensive microcontroller is more than enough. I then proceeded to measure the performance, achieved through a voltage divider. To extend the measurement range, I precisely selected the resistances, and after determining the optimal load, I calculated the power software - wise. During the measurement process, data was saved every five seconds to an SD card inserted into a special module, which data I later visualized in graph form using an Excel spreadsheet.

Despite the non entirely optimal measurement conditions, a final energy difference of 23.25% was obtained, which I find encouraging. I believe that by achieving my goals, my thesis sheds light on the feasibility and effectiveness of my solution. Solar panels, particularly those equipped with solar tracking systems, can be key to preserving our planet.

## 7. Irodalomjegyzék

A.Z., H., A.M., Y. & N.M., H., 2018. Solar tracking systems: Technologies and trackers drive types – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91.. kötet, pp. 754 - 782.

Alibaba (webshop), 2024. *Alibaba.com*. [Online]

Available at: [https://www.alibaba.com/product-detail/Polycrystalline-1-6W-5-5V-Solar\\_62154535589.html](https://www.alibaba.com/product-detail/Polycrystalline-1-6W-5-5V-Solar_62154535589.html)

[Hozzáférés dátuma: 10 03 2024].

Arduino, 2024. *Arduino*. [Online]

Available at: <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>

[Hozzáférés dátuma: 13 03 2024].

Bartholy, J. és mtsai., 2013. *Megújuló energiaforrások*. hely nélkül.:Eötvös Loránd Tudományegyetem.

Bathó, V., 2010. *A napelemek környezeti célú vizsgálata*, Budapest: ismeretlen szerző

Bihari, Z. és mtsai., 2018. *Éghajlat*, Budapest: Magyar Tudományos Akadémia Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont.

Catalin, A., 2010. Simulation of a dual-axis solar tracker for improving the performance of a photovoltaic panel. *Journal of Power and Energy*, 1.. kötet, pp. 797-811.

Cotar, A. & Filcic, A., 2012. *Photovoltaic Systems*, Rijeka: REA Kvarner d.o.o..

Debreczeni, M., 2012. *Fotovillamos Energia – napelemes alapismeretek*. hely nélkül.:Greentechnic Hungary Kft..

dr. Papp, L., 2023. *Villanyautósok*. [Online]

Available at: <https://villanyautosok.hu/2023/07/02/igy-valtozott-a-vilag-energiafelhasznalasa-2022-ben-a-szamok-amelyekrol-jobb-ha-tudsz/>

[Hozzáférés dátuma: 06 02 2024].

DS New Energy, 2019. *DS New Energy*. [Online]

Available at: <https://www.dsneg.com/info/solar-cell-busbars-fingers-tab-wires-and-bus-39808254.html>

[Hozzáférés dátuma: 13 02 2024].

EasyKit, dátum nélkül. *EasyKit*. [Online]

Available at: <https://easykit.hu/napelem-energiahatekonysag-felfokozas/>

[Hozzáférés dátuma: 13 02 2024].

Electrical Technology, 2020. *What is LDR*, hely nélkül.: ismeretlen szerző

Electrical4U, 2020. *Electrical 4 U*. [Online]

Available at: <https://www.electrical4u.com/solar-cell/>

[Hozzáférés dátuma: 13 02 2024].

Eletronics Hub, 2024. *Eletronics Hub*. [Online]

Available at: <https://electronics-hub.pk/product/5mm-light-dependent-resistor-ldr-sensor/>

[Hozzáférés dátuma: 14 03 2024].

Energy Institute, 2023. *Statistical Review of World Energy*, hely nélkül.: Energy Institute.

Juhász , R., 2008. *Optoelektronikai eszközök, áramkörök*. Budapest: Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet.

Kereszturi, Á. & Tepliczky, I., 2003. *Csillagászati tankönyv kezdőknek és haladóknak*. hely nélkül.: Magyar Csillagászati Egyesület.

LaBerge, M., 2024. *EcoWatch*. [Online]  
Available at: <https://www.ecowatch.com/solar/thin-film-solar-panels>  
[Hozzáférés dátuma: 14 02 2024].

Lesics, 2019. *How do solar cells work?*, hely nélkül.: ismeretlen szerző

Levermore, P., 2019. *Savvy Science*. [Online]  
Available at: <https://www.savvyscience.org/organic-solar-panels/>  
[Hozzáférés dátuma: 14 02 2024].

Lipták, R. & Balázs , P., 2021. Cellaoptimalizált napelemek. *Multidiszciplináris tudományok*, 11.(3.), pp. 161 - 166.

Matusz - Kalász, D., Lipták, R. & Tóth, P., 2021. Napelemek tönkremenetele. *Multidiszciplináris tudományok*, 11.(3.), pp. 94 - 101.

Mayer, M. J., 2020. *Napelem jelleggörbék*, hely nélkül.: ismeretlen szerző

Réti, I., 2015. *Nagy hatásfokú félvezető alapú napelemek*, Gödöllő: ismeretlen szerző

Sajtófigyelés, 2022. *Önámítás-e az energia tekintetében önellátó Magyarország képe?*. [Online]  
Available at: <https://www.mnnsz.hu/onamitas-e-az-energia-tekinteteben-onellato-magyarorszag-kepe/>  
[Hozzáférés dátuma: 06 02 2024].

Sisolar, 2021. *Sisolar*. [Online]  
Available at: <https://sisolar.hu/polikristalyos-napelem/>  
[Hozzáférés dátuma: 14 02 2024].

Svarc, J., 2020. *Clean Energy Reviews*. [Online]  
Available at: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/solar-panel-components-construction>  
[Hozzáférés dátuma: 13 02 2024].

Szalánczi, D., 2020. *Napelemek, napkollektorok és a hibrid rendszer összehasonlítása*, Miskolc: ismeretlen szerző

TME, 2024. *TME*. [Online]  
Available at: <https://www.tme.eu/hu/details/mfm-0610-10/csuszocsapagyak/igus/>  
[Hozzáférés dátuma: 13 03 2024].

Vöröss , K., 2019. *Home Info*. [Online]  
Available at: <https://www.homeinfo.hu/epitkezes-felujitas/gepeszet/2745-igy-hasznosithatjuk-a-napenergiat-otthonunkban-napelemes-es-napkollektoros-rendszerek>  
[Hozzáférés dátuma: 09 02 2024].

## 8. Ábrák és táblázatok jegyzéke

### 8.1. Ábrák

1. ábra: A világ energiafelhasználása, 6. oldal
2. ábra: napfénytartam évi összege, 8. oldal
3. ábra: PV – cella felépítése, működése, 9. oldal
4. ábra: napcellák sorba kapcsolása, 11. oldal
5. ábra: napelemek felépítése, 12. oldal
6. ábra: napelemek összehasonlítása, 14. oldal
7. ábra: különböző színű OPV panelek, 15. oldal
8. ábra: szilícium kristályos napelemcella  $U - I$  jelleggörbéje, 16. oldal
9. ábra: ellenállás jelleggörbéje, 17. oldal
10. ábra: kitöltési tényező, 18. oldal
11. ábra: besugárzás hatása a napelem jelleggörbéjére, 19. oldal
12. ábra: a napelemcellák hőmérsékletének hatása a karakterisztikára, 20. oldal
13. ábra: példák delaminációra, 22. oldal
14. ábra: bypass – dióda működése, 23. oldal
15. ábra: napkövető szerkezetek típusai, 24. oldal
16. ábra: fotoellenállás karakterisztikája, 25. oldal
17. ábra: működési vázlat, 27. oldal
18. ábra: választott napelem, 28. oldal
19. ábra: modell előnézete, 29. oldal
20. ábra: modell hátulsó nézete, 30. oldal
21. ábra: motor tengelyének rögzítése, 31. oldal
22. ábra: választott csapágy, 31. oldal

- 23. ábra: a szerkezet méretei, 32. oldal
- 24. ábra: a kész nyomtatott alkatrészek, 33. oldal
- 25. ábra: MG90S szervó motor, 34. oldal
- 26. ábra: Arduino UNO, 35. oldal
- 27. ábra: LDR szenzor, 36. oldal
- 28. ábra: feszültségosztó áramkör, 36. oldal
- 29. ábra: LDR elrendezés hengerrel, 37. oldal
- 30. ábra: LDR elrendezés a sarkokban, 38. oldal
- 31. ábra: pillanatképek a mérésről, 40. oldal
- 32. ábra: kapcsolási rajz, 43. oldal
- 33. ábra: folyamatábra az automata működésről, 45. oldal
- 34. ábra: hiszterézis alkalmazása, 46. oldal
- 35. ábra: feszültségmérés elve, 47. oldal
- 36. ábra: teljesítmény kiszámítása és az adatok gyűjtése, 48. oldal
- 37. ábra: a kész berendezés, 49. oldal
- 38. ábra: pillanatkép a mérésről napfelkeltekor, 50. oldal
- 39. ábra: pillanatkép a mérésről délelőtt 11 óra körül, 50. oldal
- 40. ábra: teljesítmény jelleggörbék, 51. oldal

## **8.2. Táblázatok**

- 1. táblázat: LDR – ek ellenállásértékei különböző napszakokban, 39. oldal
- 2. táblázat: LDR – ek kimenő jele különböző ellenállásokkal sorba kapcsolva

## 9. Mellékletek

Alább található a teljes programkód Arduino IDE környezetben:

```
#include <SPI.h>
#include <SD.h>      //SD kártya könyvtárak
#include <Servo.h>   //szervó könyvtár

long mostMillis;    //"stopper óra", milliszekundumokban

File myFile;

Servo szervo_vt;
Servo szervo_ht;

boolean adat_kesz;  //igaz, amikor ki kell írni az adatot SD kártyára
boolean motor_kesz; //igaz, amikor forgatni kell a motort

int turesmezo = 10; //LDR értékek túrésmezeje

int mod = 0;        //automata/manuális mód
int tengely = 0;    //vertikális/horizontális tengely
int gomb_allapot_mod = 0;
int gomb_allapot_tengely = 0;
int elozo_allapot_mod = 0;
int elozo_allapot_tengely = 0;

void ido() { //függvény az eltelt idő meghatározására
    mostMillis = millis();
}

/*időben párhuzamosan több feladatot kell elvégezni, a delay utasítás
azért nem jó, mert minden feladatot késleltet*/
void parhuzamos_mukodes() {
    static unsigned long elozo_adat;
    static unsigned long elozo_motor;

    if (mostMillis - elozo_adat > 5000) { //ha lejárt 5 s, akkor végezze el a
"meres" függvényt
        elozo_adat = mostMillis;
        adat_kesz = true;
        meres();
    } else {
        adat_kesz = false;
    }

    if (mostMillis - elozo_motor > 25) { //25 milliszekundumonként forog a
motor egy fokot
        elozo_motor = mostMillis;
    }
}
```

```

    adat_kesz = true;
    if (mod == 0) {
        automata_napkovetes();
    } else {
        manualis_napkovetes();
    }
} else {
    motor_kesz = false;
}
}

void meres() {
    //napkövető napelemre vonatkozó adatok
    float mert_fesz = analogRead(A5) * 5.0 / 1024; //egy ellenálláson mért
    feszültségesés
    float pv_fesz = mert_fesz * 1,4; //feszültség
    float pv_aram = pv_fesz / 22; //áramerősség
    float pv_teljesitmeny = pv_fesz * pv_aram; //teljesítmény

    myFile = SD.open("TRACKER.txt", FILE_WRITE); //létrehoz egy szöveges fájlt
    az SD kártyán
    myFile.println(pv_teljesitmeny * 1000); //beleírja a teljesítményt
    milliWattban
    myFile.close(); //bezárja a file - t (hogyan
    tudjon írni a másikba)

    /*A fix napelem méréséhez szükséges volt ez a kódrészlet, azonban alap
    esetben a potenciométer van az A4 pin - re kapcsolva.
    float fix_mert_fesz = analogRead(A4)*5.0/1024; //egy ellenálláson mért
    feszültségesés
    float fix_pv_fesz = fix_mert_fesz*1.4; //feszültség
    float fix_pv_aram = fix_pv_fesz/22; //áramerősség
    float fix_pv_teljesitmeny = fix_pv_fesz * fix_pv_aram; //teljesítmény

    myFile = SD.open("FIX.txt", FILE_WRITE); //létrehoz egy szöveges fájlt az SD
    kártyán
    myFile.println(fix_pv_teljesitmeny*1000); //beleírja a teljesítményt
    milliWattban
    myFile.close(); //bezárja a file - t (hogyan tudjon írni a másikba)*/
}

void automata_napkovetes() {
    //LDR - ek ADC értékei
    int jobbfelso = analogRead(A0);
    int balfelso = analogRead(A1);
    int jobbalso = analogRead(A2);
    int balalso = analogRead(A3);

```

```

//átlagok
int atlag_felso = (jobbfelso + balfelso) / 2;
int atlag_also = (jobbalso + balalso) / 2;
int atlag_jobb = (jobbfelso + jobbalso) / 2;
int atlag_bal = (balfelso + balalso) / 2;
int atlag_ossz = (jobbfelso + balfelso + jobbalso + balalso) / 4;

//különbségek
int kulonbseg_mag = atlag_felso - atlag_also;
int kulonbseg_azı = atlag_jobb - atlag_bal;

if (atlag_ossz > 20) { //csak akkor futtatja, ha meg van
a minimális fénymennyiség
    if (abs(kulonbseg_azı) >= turesmezo) { //csak akkor futtatja, ha az
azimut - különbség nagyobb, mint a tırésmező
        if (kulonbseg_azı > 0) { //ha a jobb oldali szenzorok
kapnak több fényt, akkor pozitív (CCW) irányba forgat
            if (szervo_vt.read() < 180) { //amennyiben nincs még a
véghelyzetben
                szervo_vt.write(szervo_vt.read() + 1);
            }
        } else { //ellenkező esetben a negatív (CW)
irányba forgatja a napelemet
            if (szervo_vt.read() > 0) { //amennyiben nincs még véghelyzetben
                szervo_vt.write(szervo_vt.read() - 1);
            }
        }
    }
}

if (abs(kulonbseg_mag) >= turesmezo) { //csak akkor futtatja, ha a
magasság - különbség nagyobb, mint a tırésmező
    if (kulonbseg_mag > 0) { //ha a felső szenzorok kapnak több
fényt, akkor negatív (CW) irányba forgat
        if (szervo_ht.read() > 0) { //amennyiben nincs még
véghelyzetben
            szervo_ht.write(szervo_ht.read() - 1);
        }
    } else { //ellenkező esetben a negatív (CW)
irányba forgatja a napelemet
        if (szervo_ht.read() < 180) { //amennyiben nincs még véghelyzetben
            szervo_ht.write(szervo_ht.read() + 1);
        }
    }
}
} else { // ha nincs meg a minimális fénymennyiség, keleti irányba állítja
    szervo_vt.write(180);
    szervo_ht.write(90);
}
}

```

```

void manualis_napkovetes() {
    //ha megnyomják a gombot, megváltoztatja, hogy melyik tengelyt forgatja a
    potenciométer
    gomb_allapot_tengely = digitalRead(8);
    if (gomb_allapot_tengely != elozo_allapot_tengely) {
        if (gomb_allapot_tengely == HIGH) { //felfutó élvezérlés
            delay(50); //bouncing elkerülésére
            if (tengely == 1) {
                tengely = 0;
            } else {
                tengely = 1;
            }
        }
    }
    elozo_allapot_tengely = gomb_allapot_tengely;

    if (tengely == 0) {
        szervo_vt.write(map(analogRead(A4), 0, 1023, 0, 180));
    } else {
        szervo_ht.write(map(analogRead(A4), 0, 1023, 0, 180));
    }
}

void setup() {
    Serial.begin(9600); //soros kommunikáció megkezdése

    if (!SD.begin(10)) { //ha nem sikerül a kapcsolat létrehozása az SD
modullal
        Serial.println("Az inicializálás nem sikerült!");
        while (1)
            ;
    }
    Serial.println("Inicializálás kész.");

    myFile = SD.open("TRACKER.txt", FILE_WRITE); //létrehoz egy szöveges fájlt

    if (myFile) { //ha sikerül létrehoznia
        Serial.println("Történik az adatok írása ide: TRACKER.txt...");
    } else { //ha nem sikerül létrehoznia
        Serial.println("Nem lehet megnyitni: TRACKER.txt");
    }
    myFile.close(); //bezárja a fájlt

    myFile = SD.open("FIX.txt", FILE_WRITE); //létrehozza a másik szöveges
fájlt

    if (myFile) { //ha sikerül létrehoznia
        Serial.println("Történik az adatok írása ide: FIX.txt...");
    } else { //ha nem sikerül létrehoznia

```

```

    Serial.println("Nem lehet megnyitni: FIX.txt");
}
myFile.close(); //bezárja a fájlt

szervo_vt.attach(6); //a 6 - os pin - en van a vertikális tengelyű szervó
szervo_ht.attach(5); //az 5 - ös pin - en van a horizontális tengelyű

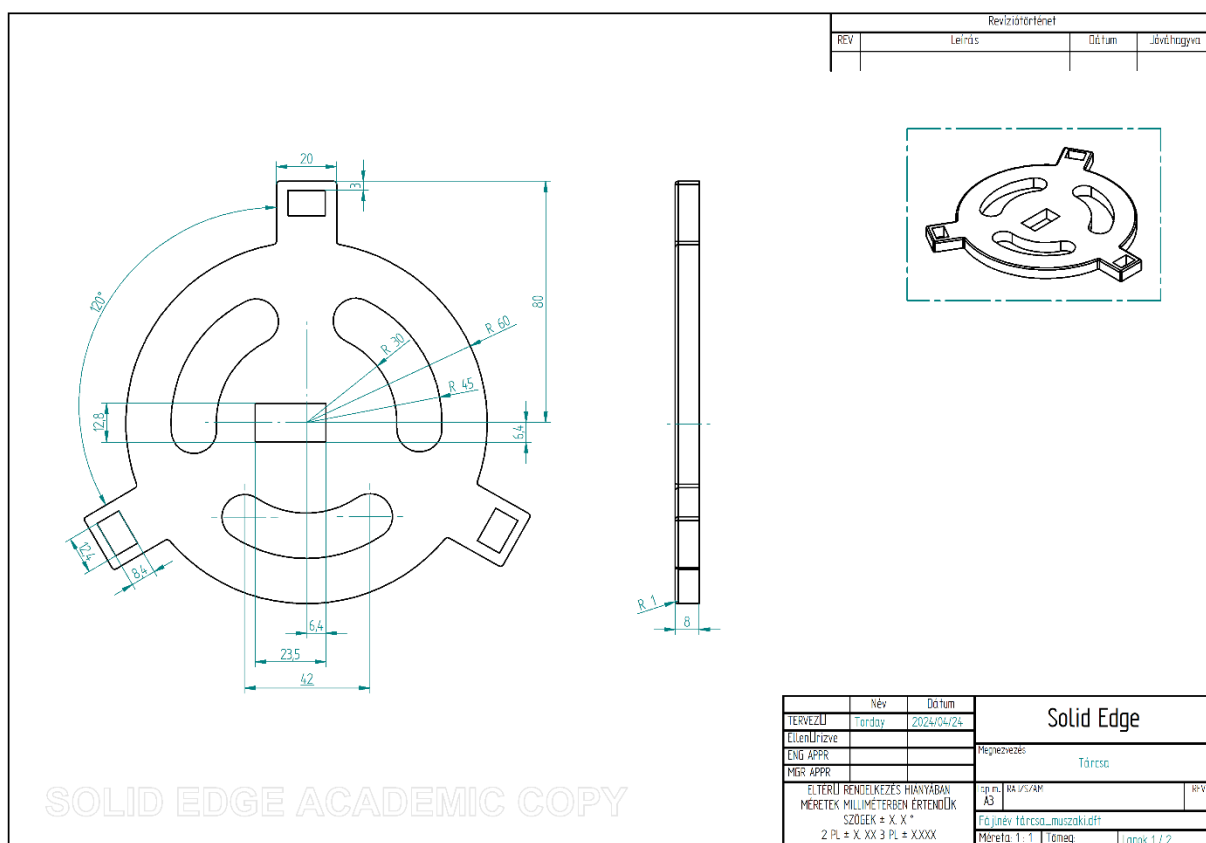
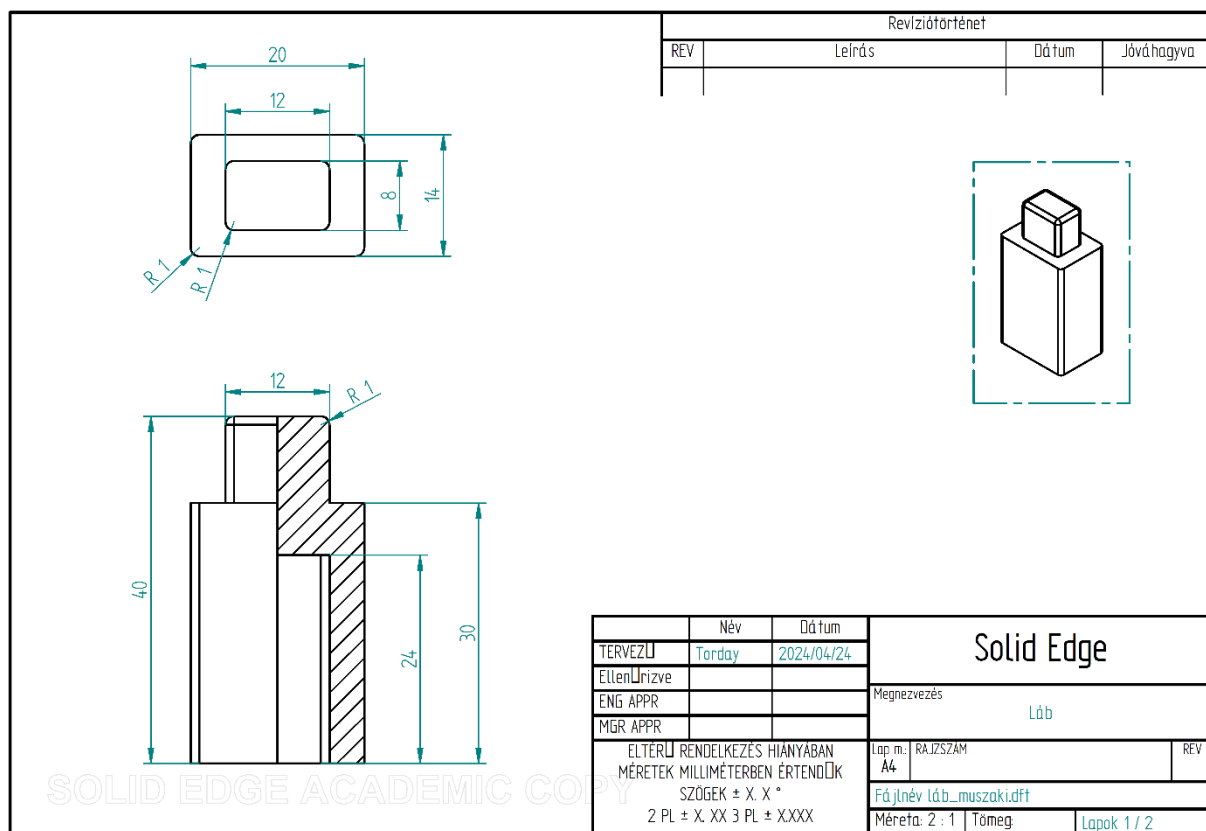
pinMode(8, INPUT); //tengelykapcsoló gomb inputként van figyelembe véve
pinMode(9, INPUT); //mód kapcsoló gomb inputként van figyelembe véve
}

void loop() {
    //ha megnyomják a mód kapcsoló gombot, akkor megváltoztatja a "mod" értékét
    gomb_allapot_mod = digitalRead(9);
    if (gomb_allapot_mod != elozo_allapot_mod) {
        if (gomb_allapot_mod == HIGH) { //felfutó élvezérlés
            delay(50); //bouncing elkerülésére
            if (mod == 1) {
                mod = 0;
            } else {
                mod = 1;
            }
        }
    }
    elozo_allapot_mod = gomb_allapot_mod;

    ido();
    parhuzamos_mukodes();
}

```

Alább találhatóak a műszaki rajzok az általam tervezett, 3D nyomtatott alkatrészekről:





20

40

R 1

R 1

8

4

4

TERVEZŐ

Ellenőrzve

ENG APPR

MGR APPR

Név

Torday

Dátum

2024/04/24

ELTERJ RENDELKEZÉS HIÁNYÁBAN

MÉRETEK MILLIMÉTERBEN ÉRTENDŐK

SZÖGEK ± X. X °

2 PL ± X. XX 3 PL ± XXXX

Lap m.

A4

RAJZSZÁM

REV

Fájl név kereszt.dft

Méret: 2 : 1

Tömeg

Lapok 1 / 2

Revíziótörténet

| REV | Leírás | Dátum | Jóváhagyva |
|-----|--------|-------|------------|
|     |        |       |            |

Solid Edge

Megnevezés

Árnyékoló kereszt

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

67

## NYILATKOZAT

### a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Torday Nándor  
A Hallgató Neptun kódja: AZ2501  
A dolgozat címe: Napkövető napelemes rendszer tervezése és vizsgálata  
A megjelenés éve: 2024  
A konzulens intézetének neve: Műszaki Intézet  
A konzulens tanszékének a neve: Járműtechnika Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlant állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumba. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után

nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumban.

Kelt: 2024 év 04 hó 25 nap



Hallgató aláírása

**MATE Szervezeti és Működési Szabályzat**

**III. Hallgatói Követelményrendszer**

**III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat**

**6.13. sz. függelék: A MATE egységes szakdolgozat /  
diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója**

**4.1. sz. melléklete: Konzulensi nyilatkozat**

**NYILATKOZAT**

Torday Bándor (név) (hallgató Neptun azonosítója: AZ2501)  
konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a  
záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót<sup>1</sup> áttekintettem, a hallgatót az  
irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól  
tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő  
védésre javaslom / nem javaslom<sup>2</sup>.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem<sup>3</sup>

Kelt: 2024 év 04 hó 19 nap

Gergely Zoltán  
belső konzulens

<sup>1</sup> A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

<sup>2</sup> A megfelelő aláhúzendő.

<sup>3</sup> A megfelelő aláhúzendő.