

DIPLOMADOLGOZAT

Keleti Dániel Márk

2025



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

Műszaki Intézet

Műszaki menedzser mesterképzési szak

Egyetemi naperőmű park korszerűsítése

Belső konzulens: Dr. Seres István
Egyetemi docens

Belső konzulens

intézete/tanszéke: Matematika és
Természettudományi Alapok
Intézet

Készítette: Keleti Dániel Márk

Gödöllő

2025

TARTALOMJEGYZÉK

Tartalom

1. Bevezetés	5
2. Szakirodalom.....	7
2.1. Energiatípusok	7
2.1.1. Nem megújuló energiaforrások	7
2.1.2. Megújuló energiaforrások.....	8
2.2. Napenergia.....	9
2.2.1. Fogalma, előnyei és hátrányai	9
2.2.2. Környezeti hatása.....	11
2.3. Magyarország helyzete napenergia terén	13
2.3.1. Napsütéses órák száma Magyarországon	13
2.3.2. Villamosenergia-termelés Magyarországon	15
2.4. Napelemek	17
2.4.1. Napelemek története.....	17
2.4.2. Napelemek fajtája	18
2.4.3. Napelemek összehasonlítása	22
2.5. Napelemek működése	24
2.6. Napelemek felépítése	26
2.7. Inverter.....	28
2.8. Napelemek jelleggörbéje	29
2.9. Napelemek degradációja	33
3. Anyag és módszer	35
3.1. Vizsgált téma bemutatása.....	35
4. Egyetemi napelem rendszer vizsgálata	37
4.1. Rendszer bemutatása	37
4.1.1. Telepítési információk.....	37
4.1.2. Működési információk	40
4.2. Telepítési költségek.....	44
4.3. Elméleti megtérülés	44
4.4. Valós megtérülés és hatékonyság számítás	48
5. Korszerűsítés vizsgálata	59
5.1. Mai modern rendszerek összehasonlítása az eredetivel	59
5.2.1. Modern rendszer teljesítmény számolás.....	60
5.2.2. Modern rendszer megtérülése	62
6. Eredmények	65

7. Összefoglalás.....	67
8. Summary	69
9. Felhasznált irodalomjegyzék.....	70
10. Táblázat és ábrák jegyzéke.....	72
11. Melléklet	73
12. Eredetiség nyilatkozat, nyilatkozatok	80

1. BEVEZETÉS

A diplomamunkám témájának kiválasztásakor fontos szempont volt számomra, hogy olyan témát válasszak, aminek nem csak aktualitása van, hanem köze van a fenntarthatósághoz. Így esett a választásom a diplomadolgozatom témájára, azaz az Egyetemi naperőmű park korszerűsítésének vizsgálatára. Azért keltette fel ez a téma az érdeklődésemet, mert a megújuló energiaforrások alkalmazása és erre való átállás a fosszilis energiahordozókról napjainkban az egyik legaktuálisabb téma. Aktualitása mellett elmondható még, hogy dinamikusan fejlődő területéről is van szó. A megújuló energiaforrások iránti érdeklődésem régóta fennáll, korábban is több alkalommal foglalkoztam a témakör különböző területeivel, más típusú megújuló energiaformák vizsgálatán keresztül. Most a napelempark korszerűsítésnek vizsgálata keltette fel az érdeklődésemet, mert a megújuló energiaforrások közül ez az, ami ma Magyarországon a legdinamikusabb fejlődést és a legszélesebb körben való elterjedést mutatja. Dolgozatomban céлом a téma technológiai irányú megközelítése is a gazdasági és fenntarthatósági elemzés mellett.

A téma feldolgozásánál meg kell ismernünk a napeleemes rendszerek miből állnak össze, a rendszernek milyen technológiai adatai vannak, milyen fejlődésen ment át az elmúlt évtizedekben. Vizsgálni kell a jelenlegi rendszert, annak technológia paramétereit, és mivel egy 20 évvel ezelőtt telepített rendszerről van szó, így annak hatékonyságát. A vizsgálatom során céлом, hogy megismerjem az aktuális rendszer összetevőit, a projekt dokumentumai és információ segítségével a telepítés körülményeit, a mérési adatok segítségével pedig vizsgáljam, hozta-e a rendszer az elvárt szintet, vagy esetleg alul vagy felül teljesített azt. Előzetes véleményem alapján a rendszer az akkori adatok és becslések alapján még lehet, hogy tudja teljesíteni a vele szemben elvárt paramétereket, de látva, mekkora fejlődésen ment át ez a technológia 20 év alatt, nem tartom valószínűnek, hogy gazdaságosabb üzemeltetni a jelenlegi rendszert egy korszerű modern rendszer helyett. Márpedig a mai technológia segítségével egy mai modern rendszer sokkal nagyobb hatékonysággal működik, ezáltal több energiát tud zölden az egyetem villamos hálózatába táplálni. Minden egyes apró különbség is akár, ami a jelenlegi és egy mai modern rendszer között megvan, azt jelentené, hogy az egyetemnek annyival kevesebb villamos energiát kell felhasználnia a hálózatból, amivel nem csak gazdaságilag jár jobban, de ezzel együtt annyival kevesebb villamosenergiát kell fosszilis energiahordozókból előállítanunk. Az energiahordozók drágulása, a környezeti terhelés csökkentésének igénye és az energiatárolási technológiák

fejlődése mind olyan tényezők, amelyek a napelemes rendszerek korszerűsítését elengedhetlenné teszik.

Dolgozatomban azt vizsgálom megérvé-e korszerűsíteni a jelenlegi rendszert, mekkora különbség van a mai modern és az akkori telepített között, illetve gazdaságilag mit jelentene hosszútávon ez a befektetés, reálisan keretek között megtérülne-e. Vizsgálatom végeredményeként egy átfogó képet várok a két rendszer közötti különbségről egy egyszerűen meghozható, adatokon és számokon alapuló könnyen alátámasztható döntést.

2. SZAKIRODALOM

2.1. Energiatípusok

Bárhonl bármikor vizsgáljuk az emberiség történetét mindig arra jutunk, hogy energiára szükségünk van és mindig is kiemelkedő szerepet játszott. A civilizáció fejlődésével csak megnőtt az energiaigénye az emberiségnek, de mindig is szükség volt az otthonok fűtésére a gyárak működtetésére, közlekedésre vagy épp a világításra. Az viszont, hogy ezt a szükséges energiát milyen energiaforrásból szerezzük be egyáltalán nem mindegy és nem egy elhanyagolható kérdés. Ma sokat beszélünk a klímaváltozásról a globális felmelegedésről és a fenntarthatóságról melyeknek alapja az energiaforrások vizsgálata. Energiát nem tudunk a semmiből létrehozni. Ahhoz, hogy energiát kapjunk át kell azt alakítanunk egyik formából egy másik formába. Maga az energia a munkavégző képesség mértékét jelenti, azaz valamilyen fizikai folyamat során mennyi munkát képes végezni például mozgás létrehozásával vagy termelésével, vagy fény kibocsátásával. Ezáltal energiát nem a semmiből hozunk létre, hanem ahogy köznyelven energiatermelésről beszélünk valójában energiaátalakításról van szó. Átalakítani kétfajta energiaforrásból lehet, az egyik a nem megújuló a másik a megújuló energiaforrás. (Debreczeni, 2012)

2.1.1. Nem megújuló energiaforrások

A nem megújuló energiaforrások olyan energiahordozók, amelyek készletei végesek, emberi időléptékben nem képesek újratermelődni. Felhasználásuk során fokozatosan kimerülnek, ezért hosszú távon nem fenntarthatók. Ide tartoznak a kőszén, a kőolaj, a földgáz és még az uránium is. Fosszilis energiahordozóknak nevezzük azokat, amelyeknél égetés folyamatával állítunk belőlük elő energiát. Ide tartozik a felsoroltak közül mindegyik kivéve az urániumon. A folyamat rendkívül egyszerű, az energiahordozót elégetik és az égés során felszabadul belőlük a hőenergia. Ezt a hőenergiát, amit erőművek kazánjaiban megtermeltek átadják általában víznek, melyből gőz keletkezik. A gőzzel meghajtanak egy gőzturbinát, aminek forgó mozgásából egy generátor állít elő villamos energiát. Láthatjuk, hogy a folyamat során folyamatos átalakuláson megy végig az energia, ami a rendszerben van és így az átalakításokkal kapunk a végén olyan fajta energiát, amit fel tudunk használni,

vagy hasznosítani tudunk. A folyamat első lépésében azonban ezeket a fosszilis energiahordozókat el kell égetnünk, ami rendkívül magas szén-dioxid és egyéb káros anyagok kibocsátásával jár, így jelentős terhelést adva ezzel a környezetnek.

A nem megújuló energiaforrások közül nem tartozik a fosszilis energiahordozók közé az uránium. Ugyanis ennél a folyamatnál nem a már fent említett folyamat megy végbe teljesen. Egy bizonyos ponttól ugyanaz a folyamata a nukleáris energiatermelésnek is, mint a fosszilisnek (gőzt termelnek víz forralásával), ugyanakkor itt nem az anyag elégetésével kezdődik a folyamat. Ennél a folyamatnál az urániumot, mint üzemanyagot használjuk az atomreaktorokban. Az urán atommagok hasadását használjuk ki, amit egy neutron besugárzással elő tudunk idézni, és a keletkező neutronokkal fent tudunk tartani és szabályozni úgy, hogy nagy mennyiségű hőenergia jön létre. Ezt a hőenergiát innentől ugyan úgy tudjuk felhasználni, mint korábban, vizet melegítünk, gőzt állítva elő belőle, majd ezzel egy turbinát hajtunk meg. A gőzturbinával ugyan úgy egy generátort hajtunk meg ami villamos energiát termel. A nukleáris energia folyamata nem jár folyamatos károsanyag kibocsátással és a környezet terhelésével, mint a fosszilis energiahordozók esetében, azonban az urán üzemanyagot nem lehet a végtelenségig hasznosítani. Sajnos ezek a fűtőanyagok vagy üzemanyagok elhasználódnak, így cserélni kell őket, ami nagy veszélyt jelent, hogy az elhasznált fűtőanyag még a folyamat után is radioaktív marad így ennek tárolására speciális módon van csak lehetőség. Így bár a folyamat közben káros anyag nem jut a levegőbe a folyamat végén több tízezer évig gondoskodnunk kell az elhasznált fűtőanyagok tárolásáról. (Debreczeni, 2012)

2.1.2. Megújuló energiaforrások

A megújuló energiaforrások olyan természeti energiaforrások, amelyek folyamatosan rendelkezésre állnak vagy rövid idő alatt újratermelődnek, ezért hosszú távon fenntarthatóak. Ide tartoznak a napenergia, ahol a napsugárzásnak az energiáját hasznosítjuk vagy a szélenergia, ahol a légmozgásból származó energiát hasznosítjuk vagy a vízenergia, ahol folyóvizek esetében tudjuk annak mozgási energiáját hasznosítani vagy a biomassza, ahol a szerves anyagokból tudunk égetés során energiát kinyerni vagy a geotermikus energia, ahol a Föld hőjét tudjuk hasznosítani. Ezek a forrásaink kimeríthetetlenek, környezetbarátabbak a fosszilis energiahordozóknál és csökkentik a szén-dioxid kibocsátást, ugyanakkor hely és időjárásfüggő a termelésük.

A napenergiát kétféle módon is tudjuk hasznosítani, hő és villamos energiává is át tudjuk alakítani. Villamos energiát napelemekkel míg hőt napkollektorokkal tudunk kinyerni. A napelemek a napsugárzást villamos energiává alakítják azzal, hogy félvezető anyagában a fény elektronokat mozgat meg mely folyamat során feszültség, és ezáltal elektromos áram keletkezik. A napkollektoroknál a napsugárzást hőenergiává alakítjuk, mely segítségével vizet melegítünk vagy a fűtésrendszerben rásegítésre használjuk azt fel. A szélenergiánál a levegő mozgási energiáját hasznosítjuk, amelyet szélturbinák segítségével villamos energiává alakítunk. A szélenergiában is szerepet játszik a nap ugyanis a nap által okozott hőmérséklet és nyomás különbségek miatt alakulnak ki légköri mozgások. Az áramlás mozgási energiáját szélturbinákkal alakítjuk át, először a szélturbina lapátjait forgatja meg a szél, ami egy generátorhoz kapcsolódva villamos energiává alakítja azt. A vízenergiát nagyon hasonló módon tudjuk előállítani mint a szélenergiát, annyi különbséggel, hogy itt az áramló közeg az nem a levegő, hanem a víz. A zuhogó vagy áramló víz turbinalapátokat hajt meg mely úgyszintén generátor segítségével villamos energiává alakítja azt. Biomasszából kémiai vagy biológiai úton nyerhető ki energia. Égetés folyamán hőenergiává alakulnak a szerves anyagok melyeket hő- vagy villamos energiává tudunk alakítani. Másik mód, hogy a szerves anyagokból tudunk előállítani biogázt. Általában erjedés során metán termelődik, amit ugyan csak égetéssel tudunk először hő majd, ha szükséges akkor villamos energiává alakítani. A geotermikus energia a Föld belső hőjének hasznosítását jelenti, amelyet hőenergia vagy villamos energia előállítására lehet felhasználni. Ebben a folyamatban azt használjuk ki, hogy a Föld hője folyamatosan rendelkezésre áll és mindig újratermelődik. A Föld hőjét szondák vagy kutak segítségével vezetik a felszínre, ahol azt vagy épületek fűtésére, melegvíz előállítására használják, vagy gőz előállítására mellyel egy turbinát meghajtva majd generátor segítségével villamos energiát tudunk előállítani. (Bartholy, et al., 2013, MetGroup)

2.2. Napenergia

2.2.1. Fogalma, előnyei és hátrányai

A napenergia az emberek életében az egyik legfontosabb megújuló energia. A naptól olyan mennyiségű energia éri el a földet, hogy 1 órányi mennyiség fedezné globálisan az egész éves energiaszükségletet. Felhasználása semmiféle hátránnyal vagy káros következménnyel nem jár a környezetünkre és a Napra nézve sem. Fontos még hogy amellet, hogy nincs káros

következménye, emberi léptékkal nézve kimerülés nélkül tudjuk hasznosítani az innen származó energiát. Maga a napenergia fogalma a következő: A napenergia a naptól származó energia, amely hő- vagy elektromos energiává alakul. (Bartholy, et al., 2013)

Minden technológiának vannak előnyei és hátrányai is, így a napenergiának is megvannak ezek. Attól, hogy megújuló és kimeríthetetlen még vannak hátrányai is az előnyei mellett. Kezdjük az előnyeivel:

- Megújuló energiaforrás: legfontosabb előny, az egész világon rendelkezésre áll korlátlanul. Soha nem fogy el amíg a Nap létezik, ami azt jelenti, hogy még legalább 5 milliárd évig kihasználhatjuk.
- Csökkenti a villanyszámlát: amennyi villamos energiát elő tud állítani egy háztartás és amennyi villamos energiát ebből fel is tud használni annyival csökkenteni tudja a hálózati villamosenergia fogyasztását ezzel csökkentve a villanyszámlát. Az, hogy ez mekkora megtakarítást jelent, az függ a rendszertől a felhasználástól és az elszámolás módjától.
- Különböző alkalmazások: változatos célokra használható fel. Tudunk villamos energiát termelni, tudunk hőt termelni. Villamos hálózat hozzáféréssel nem rendelkező területeken tudunk villamos energiát előállítani.
- Alacsony karbantartási költségek: A napenergia-rendszereknél nem a karbantartás a drága, hanem a telepítés az, ami költséges. Ha már telepítve van egy ilyen rendszer a fenntartása elenyésző. A karbantartás, amit igényel évente pár alkalommal egy tisztítás, de sok esetben mivel nem síkban vannak így általában valamennyire megoldja az eső. A napelemekre a gyártók 20-25 éves garanciát adnak így ezzel nem keletkezik karbantartási költségünk. Nincs forgó, mozgó alkatrészünk, ami bármilyen sokasítást vagy kopásból eredő karbantartást igényelne. Az egyetlen, ami a hosszú használati idő alatt karbantartandó, vagy cserés lehet az az inverter és a kábelek, amik az áram átalakításáért és szállításáért felelősek így a maximális hatékonyság és biztonság miatt ezekre oda kell figyelni.
- Technológiai fejlesztés: A technológia már jóideje folyamatos és gyors fejlődésen ment keresztül és a jövőben sem várható a technológia fejlődésének csökkenése. A nanotechnológiák fejlődése és a kvantumfizika terén elért innovációk jó hatást gyakorolhatnak a jövőben a napenergia technológiájára is. (EnergiaBarát, 2023)

A felsorolt előnyei mellett azonban a hátrányairól is kell beszélnünk:

- **Költség:** Maga a rendszer megvásárlása és telepítése költsége magas, így a kezdeti költségek jelentősek. Napelemből is egy komoly nagyságrenddel kell számolnunk kezdetben, az inverternek is magas ára van és ha tárolni is szeretnénk az energiát, amit a megtermelés után nem tudunk egyből felhasználni akkor az akkumulátoroknak is magas ára van.
- **Időjárásfüggő:** Nagyon kiszolgáltatott a rendszer az időjárásnak. Nem szükséges a napenergia gyűjtéséhez teljesen tiszta és napsütéses idő, szűrt fényben is lehet hasznosítani azonban a hatékonyságban jelentős visszaesés tapasztalható. A másik hátránya, hogy csak napközben lehet hasznosítani így az éjszakai időszakok teljesen kiesnek.
- **A napenergia tárolása:** A legjobb begyűjtött napenergia az, amit egyből el is használunk. Ha nem tudjuk egyből elhasználni az akkumulátorokban történő tárolása nagyon drága. Előnyt jelent ugyan, hogy a napközben megtermelt energiát éjszaka is fel tudjuk használni, de az ilyen rendszerek melyeket akkumulátorokkal is felszerelünk és a rendszer többi részét is ehhez mérten alakítjuk ki, jelentős többletköltséggel járnak. Ezt a többletköltséget pedig nem biztos, hogy visszahozza az éjszakai amúgy is elenyésző fogyasztás. (EnergiaBarát, 2023)

2.2.2. Környezeti hatása

Szerencsére a napenergia hasznosítása egyre nagyobb szerepet kap, ami rendkívül jó a környezetre gyakorolt pozitív hatása miatt. A fosszilis energiahordozókkal szemben számos, és nagyon fontos előnye van, ha ökológiai szempontból közelítjük meg a témát. Tiszta és megújuló energiaforrásról beszélünk, ami kimeríthetetlen, csökkenti az ökológiai lábnyomot és még a globális felmelegedés lassításában is nagy szerepet játszik. Ezek a szempontok mellett vannak persze más előnyei pl.: gazdasági előnyei is a háztartásokra nézve. Ez szerencsére nagyban hozzájárul ahhoz, hogy egy ilyen ütemben fejlődő és elterjedő technológiáról beszéljünk. Fontos a technológia minél szélesebb körű elterjedése és használata mert jelenleg ez az egyik leghatékonyabb és legelérhetőbb megújuló energiaforrás, ami a fenntartható jövőt biztosítja mindenki számára.

A napenergia hasznosítása nem jár semmiféle levegőszennyezéssel. Ha csak azt vizsgáljuk, hogyan állítanak elő ma a világban villamosenergiát általában fosszilis energiahordozókat égetünk el, amik nagy mennyiségű kén-dioxid, nitrogén-oxidok és szén-dioxid levegőbe jutását eredményezi. Azzal, hogy a napenergiából állítunk elő villamos energiát ezeknek a gázoknak a levegőbe jutása a folyamat során zéró és emelet azt a villamosenergiát, amit megtermelünk a napenergiából már nem a fosszilis energiahordozókból kell kinyernünk ezáltal azt a mennyiségű légszennyezést már ki is váltottuk. Jót teszünk ezzel magunknak is, ugyanis ezeknek a gázoknak légkörbe való jutása magasabb kockázattal okoznak légzőszervi megbetegedéseket vagy asztmát.

Másrésről a fosszilis energiahordozók mennyisége véges. Az olaj gáz vagy szén kitermelése amellet, hogy nem végtelen még rendkívül környezetszennyező is. Ezeknek az energiahordozóknak a kimerülése közel sem olyan távoli, mint azt a legtöbben gondolnánk. A kőolaj készletek globálisan kiürülnek 50 év múlva egy becslés szerint, földgázból sem állunk sokkal jobban erre 60 évet becsültek míg szénből 100-120 évre elegendő tartalékkal rendelkezünk. Ezek a számok azért emberi léptékben már nem olyan távoliak, és persze az is hozzá tartozik, hogy ahogy haladunk előre és fogynak a készletek egyre nehezebben kibányászható tartalékokhoz kell nyúlnunk és a gyengébb minőségű energiahordozókhoz. A készlet csökkenése és az egyre nehezebben hozzáférhetőbb lelőhelyek miatt ezeknek az energiahordozóknak az árában biztosan emelkedés várható.

A globális felmelegedés tényét vitatnunk úgy érzem már nem kell manapság, a mértékét annál inkább. Egyre több és nagyobb szervezet jön rá és kezd el harcolni a globális felmelegedés csökkentése érdekében. Ezekben a harcokban nagyon fontos szerepet játszik a megújuló energiaforrások használata. A napenergiát hasznosító rendszerek elterjedése azonban egy újabb kérdés csomagot hozott előtérbe. Nagyon fontos megtalálnunk az egyensúlyt az energiatermelés és az energiafogyasztás között. Mivel ezek a rendszerek csak nappal termelnek és akkor is jelentősen függ a teljesítményük az időjárási körülményektől így fontos kérdés az energia tárolása. Fejlődnek ezek a technológiák gondoljunk csak a lítium-ion akkumulátorokra vagy a hidrogénalapú tárolókra melyek megoldják az energia raktározását. Egy lakosság körében is elterjed átlagos méretű 5 kW-os napelemes rendszer képes évente 7000 kWh áramot előállítani, ami öt tonna szén-dioxid kibocsátásától védi meg a környezetet. Egy folyamatosan növekvő hatékonyságú rendszerről beszélünk, ami

hosszútávon adna megoldást a környezetszennyezés és a klímaváltozás visszaszorítására. (lakasgeneral, 2025, Bodócs T., 2022)

2.3. Magyarország helyzete napenergia terén

2.3.1. Napsütéses órák száma Magyarországon

Magyarország elhelyezkedését illetően mérsékelt övi, kontinentális éghajlatú. Három nagy éghajlati hatás érvényesül, Atlanti óceáni hatás, kontinentális hatás, mediterrán hatás. Ezen három hatás miatt Magyarország időjárása nagyon változékony. Ez a változékonyság miatt különül el jól egymástól a 4 évszak. Jelentős a hőmérséklet ingadozás a téli és nyári időszakban, a csapadék eloszlása sem egyenletes az ország különböző pontjain, illetve a napsütéses órák száma is jelentősen különbözik az ország déli, illetve északi tájai között.

1. ábra: Napsütéses órák száma Magyarországon

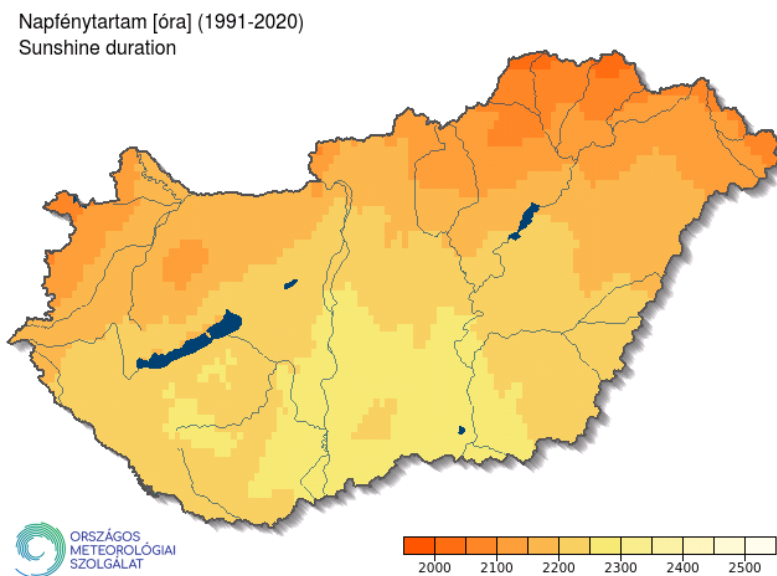
(Forrás: Saját szerkesztés KSH (1985-2023) adatok alapján)



Ugyanakkor elmondható, hogy az átlagos napsütéses órák száma Magyarországon mára túllépte a 2500 órát. Ez a 2500 óra egy folyamatos növekedés eredménye, ugyanis ahogy az 1. ábrán láthatjuk 1985-ben ez a szám 2000 volt. 1985-óta voltak ugyan olyan évek, amikor akár

a 2000 napsütéses óra/év alá is bementünk, de egy folyamatos növekedés mellett eljutottunk oda, hogy az elmúlt 10 évben a napsütéses órák száma 2300 fölött van és 2024-ben második alkalommal 2022 után újra átlépte a 2500 órát. (KSH. 1985-2023)

2. ábra: Az évi átlagos napfénytartam Magyarországon 1991-2020 között
(Forrás: HungaroMet)



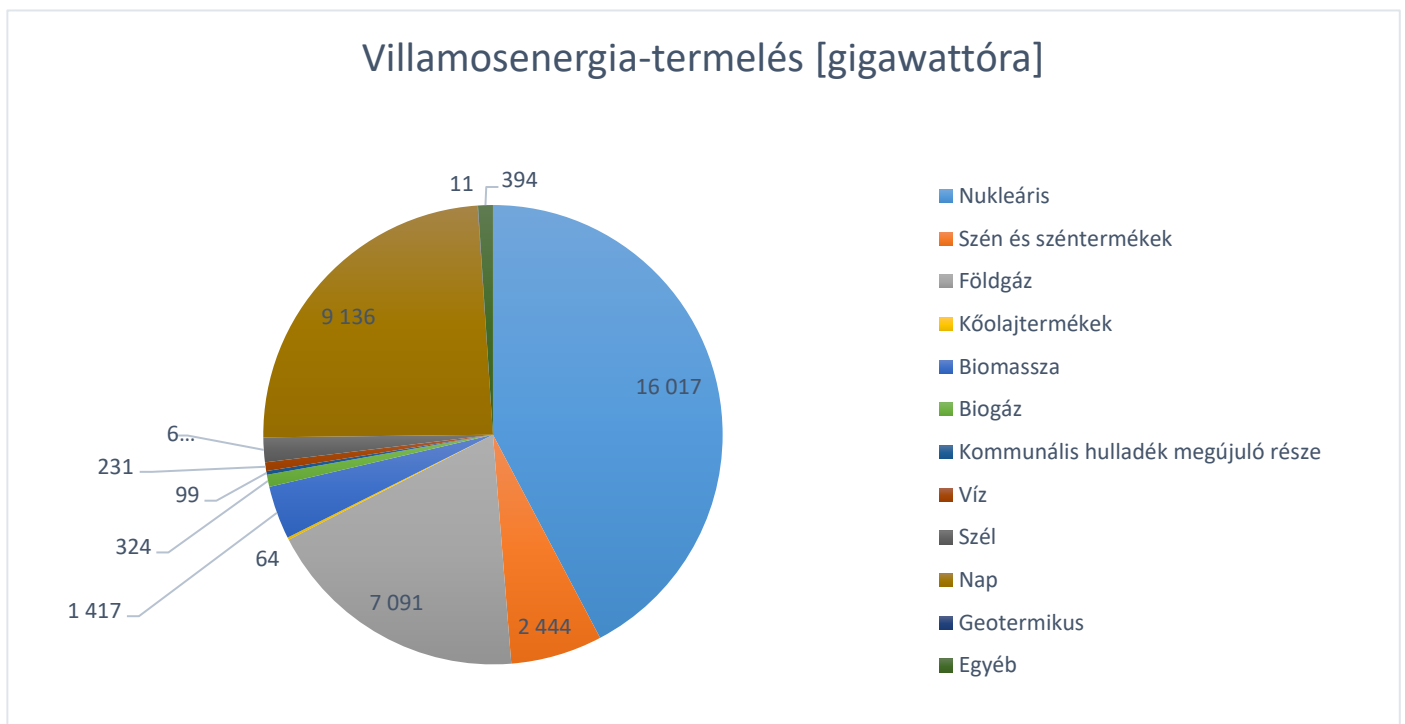
A hazai napsütéses órák száma, és a földrajzi adottságok alapján a napsugárzásból érkező energia mennyisége közel 380-szorosa az ország éves villamosenergia-fogyasztásának. Ez a napsugárzásból érkező energia mennyiség vízszintes felületre értendő, tehát ha egy napelemet vagy napkollektort nem vízszintesen, hanem megdőntve, minél merőlegesebb szögben a beérkező napsugárzás irányába fordítunk tovább növelhető a hasznosítható energia mennyisége. Megtermelni azonban csak egy dolog az energiát, azt fel is kell használni vagy eltárolni arra az időszakra, amikor kevesebb, vagy abszolút semmi energiát nem tudunk hasznosítani. Visszautalva Magyarország változékony időjárására volt időszak nyáron, amikor 70 napon keresztül az ország villamos fogyasztásának 80%-át napenergiából állítottuk elő, azonban ott vannak téli hónapok, amikor a napsütéses órák száma drasztikusan, akár ötödére is csökken a nyári hónapokhoz képest. A nagy különbség oka a téli időszakban jellemző rövidebb nappalok, illetve a felhőborítottság is jelentősen megnő a téli hónapokban. (HungaroMet)

2.3.2. Villamosenergia-termelés Magyarországon

Energiát előállítani muszáj, de nem mindegy ezt milyen módon tesszük. A mai társadalmi berendezkedés alapkövetelménye az energia valamilyen forrásból történő előállítása. Két nagy fő típusa van az energiáknak, a megújuló és a nem megújuló. 2023-ban a világ energiájának 81%-át fosszilis, azaz valamilyen nem megújuló energiaforrásból állítottuk elő. Ez a szám hatalmas és tennünk kell azért, hogy egyre nagyobb részét állítsuk elő a felhasználni kívánt energiáknak valamilyen megújuló energiaforrásból. Különösen fontos ez most a globális felmelegedés időszakában, ami egyre csak nő, és jelenleg még egy folyamatos, de mérsékelt szinten sem tudjuk megtartani ennek mértékét.

3. ábra: Villamosenergia termelés megoszlása 2024-ben

(Forrás: Saját szerkesztés KSH 2024-es adatok alapján)

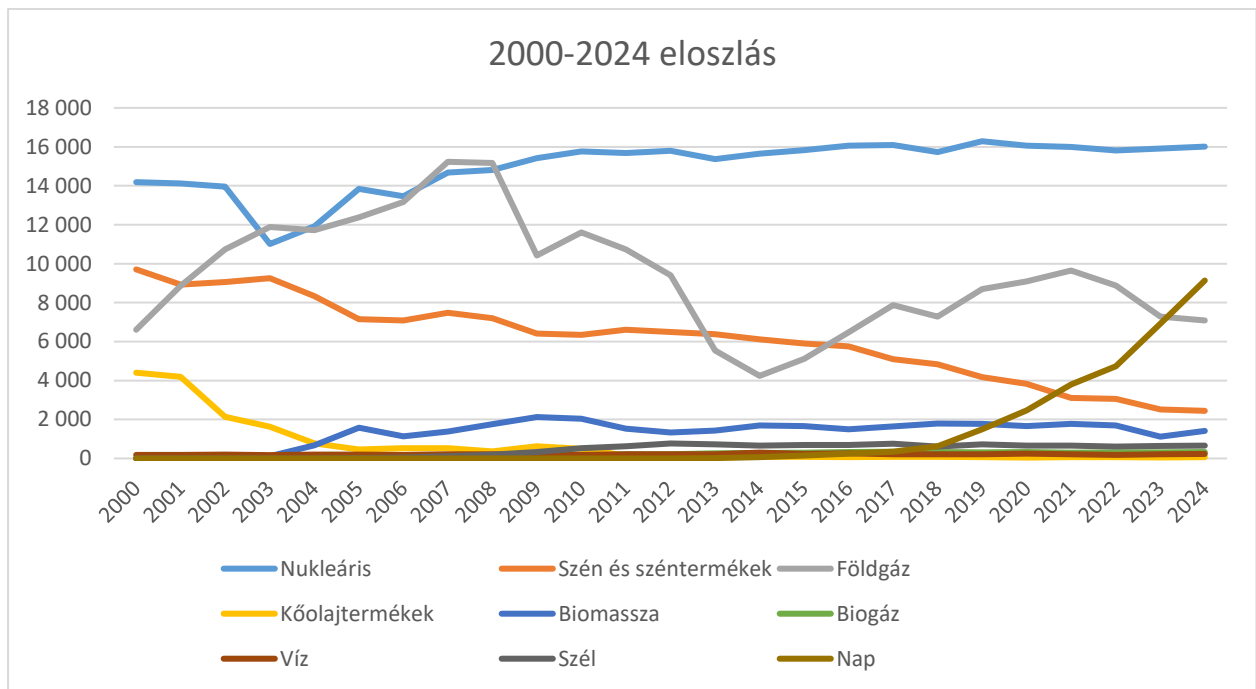


A 3. ábrán látható 2024-ben hogyan oszlott meg a magyarországi villamosenergia-termelés az előállítás módja szerint. 2024-ben elértünk arra a szintre, hogy a megtermelt energia 72,5%-át sikerült megújuló és nukleáris forrásból előállítani. Ketté kell választani ugyanis a nukleáris energiaforrás nem tehető a megújuló energiaforrások közé, mert az előállításához szükséges urán véges készletű, ugyanakkor hasonlóan a megújuló energiaforrásokhoz nem keletkezik a folyamat során káros anyagként szén-dioxid. Ez a 72,5% azt gondolom már így is kiemelkedő a világ energiatermeléséhez hasonlítva, azaz a 81% fosszilis energiaforráshoz. Azonban, ha

visszaugrunk 10 évet az időben, akkor látjuk, hogy Magyarországon sem volt ilyen kiemelkedő a helyzet. A 4. ábrán láthatjuk, hogy 2015-ben csupán 48%-a volt az energiaforrásunknak megújuló vagy nukleáris, amiből 42% volt maga a nukleáris. Köszönhetően a napenergia hasznosításának nagyot léptünk előre azóta. (KSH, Bruttó villamosenergia)

4. ábra: Megtermelt villamosenergia forrásai

(Forrás: Saját szerkesztés KSH (2000-2024) adatok alapján)



A 4. ábrán azt is láthatjuk hogyan változott a kétezres évektől napjainkig a megtermelt villamos energia előállításának módja. A nukleáris forrásból származó villamosenergia mindig is vezető szerepben volt, mellette pedig földgázból és különböző szén és széntermékekből. A megújuló energiaforrások közé tartoznak, azok az energiaforrásaink melyek emberi léptékkal mérve nem fogynak ki, és használatuk közben újratermelődnek. Ilyen energiaforrás a napenergia, a szélenergia, a vízenergia, a geotermikus energia és a biomassza. Magyarországon a megújuló energiaforrások kihasználása a vízenergiával indult, de sajnos nem túl jelentős, 170-301 GWh éves villamosenergiát állítunk vele csak elő, míg Magyarország éves villamosenergia előállítása 34-40 ezer GWh között alakult a 2000-es évektől napjainkig. Ennél sokkal jelentősebb megújuló energiaforrás volt, amit kihasználtunk az a biomassza. 2003-tól vált szemmel is láthatóvá a biomassza használata mellyel átlagosan 1500 GWh-nyi villamosenergiát állítunk elő évente. Az igazán nagy áttörés a megújuló energiaforrások

kihasználásában 2018-tól kezdődően látható, amikor is a napenergia kihasználása meredek emelkedésnek indult. Egy év alatt elérte a biomassza szintjét majd a második évben elérte a szén és széntermékek szintjét és 2023-ban megelőzte a földgáz szintjét is. 2024-ben és napjainkban Magyarországon a nukleáris energiaforrás után már a napenergia forrás a második legnagyobb és csak ezt követik a különböző nem megújuló és megújuló energiaforrások. Szerencsére a megújuló energiaforrások kihasználásával egyetemben a nem megújuló energiaforrások folyamatos csökkenést mutatnak. A kőolajtermékekből származó energia előállítás csaknem teljesen megszűnt, a szén és széntermékekből származó energia előállítás a negyedére csökkent, míg a 2007-2008 környékén megugró földgáz használatot is sikerült napjainkban a felére csökkenteni. Ahhoz, hogy a nem megújuló energiaforrások használatát csökkenteni tudjuk nagyban hozzájárult a napenergia előtérbe helyezése, mely Magyarország villamosenergia termelésének a negyedét adta 2024-ben. (KSH, Bruttó villamosenergia)

2.4. Napelemek

2.4.1. Napelemek története

A napelemek története a 19. század elejére nyúlik vissza, amikor 1839-ben Alexandre Edmond Becquerel francia fizikus felfedezte a fényelektromos hatást: azt a jelenséget, hogy bizonyos anyagok fény hatására elektromos áramot termelnek. Ezt követően az 1860-as 1870-es években Willoughby Smith és Charles Fritts kísérletei vezettek az első szilárdtest fotovillamos eszközök létrehozásához. Fritts 1885-ban elkészítette az első működő napelemet, amely szelénrétegből és vékony aranybevonatból állt, de hatásfoka alig érte el az 1%-ot. A 20. század elején Albert Einstein elméleti szinten is megmagyarázta a fényelektromos hatást, amiért később Nobel-díjat kapott, és ezzel megalapozta a napelemek fizikai hátterét. A technológiai áttörést azonban a félvezetők kutatása hozta meg: 1941-ben Russell Ohl szabadalmaztatta a szilíciumalapú PN-átmenetet, amely a mai napelemek alapelve.

Az igazi mérföldkő 1954-ben következett, amikor a Bell Laboratories bemutatta az első korszerű, 6%-os hatásfokú szilícium napelemet. A fejlesztés kezdetben nem a földi energiaellátást célozta, hanem ahogy már a tudományos áttöréseknél megszokhattuk először a hadi és űripárt célozta. 1958-ban a Vanguard-1 műhold már napelemekkel működött, és a hidegháborús űrverseny óriási lendületet adott a további fejlődésnek. A civil felhasználás csak a hetvenes években indult meg, főként az olajválság hatására, amikor a megújuló

energiaforrások iránti érdeklődés megnőtt. Ekkoriban jelentek meg a kisebb teljesítményű napelemek mindennapi eszközökben, például számológépekben vagy jelzőrendszerekben.

Elliot Berman 1969-ben már azzal a jóslattal állt elő, miszerint az ezredforduló környékére jelentősen megdrágul majd az elektromos energia, ami készletét nyújt alternatívák keresésére, mint például a megújuló energia és azokon belül is a napelemes rendszerekre. A kilencvenes évektől kezdve a gyártási költségek jelentősen csökkentek, a hatásfok pedig fokozatosan 10–15% körülire emelkedett. Az állami támogatásoknak és a környezettudatosság erősödésének köszönhetően Európában, Japánban, majd világszerte egyre több napelemrendszer épült ki. Napjainkra a szilícium alapú napelemek hatásfoka ideális körülmények között eléri a 20–25%-ot, és számos új technológia is megjelent, köztük a vékonyrétegű modulok, és az átlátszó vagy hajlékony panelek. A napelemek ma már nemcsak az űrkutatásban, hanem a globális energiatermelés egyik meghatározó szereplőjeként járulnak hozzá a fenntarthatósághoz és a fosszilis energiaforrásoktól való függetlenedéshez. (Napelem kivitelezés)

2.4.2. Napelemek fajtája

A napelemek világában négy fő típust különböztetünk meg, amelyek anyaguk és technológiájuk szerint eltérő jellemzőkkel rendelkeznek. Az első csoportot a kristályos napelemek alkotják, amelyek között megtaláljuk a monokristályos és a polikristályos változatokat. Ezek a napelemek általában magas hatásfokkal rendelkeznek, tartósak és hosszú élettartamúak, ezért széles körben használják őket. A másik fontos csoportot az amorf napelemek, más néven vékonyfilm napelemek képviselik. Ezek a napelemek rugalmasok, könnyűek és olcsóbban előállíthatók, így kiválóan alkalmasak nagy felületek vagy hordozható eszközök energiaszolgáltatására, bár hatásfokuk alacsonyabb a kristályos napelemeknél. Vannak még hibrid napelemek is melyek nevükből adódóan kétfajta technológiát egyszerre valósítanak meg. Ezek általában egy szilícium rétegből állnak mely előállítja a villamosenergiát és a réteg mögött helyet kap egy folyadék keringtető rendszer, amely napkollektorként működve két szerepet is ellát, egyszer hasznosítja a víz felmelegítésére az energiát, másrészt hűtő feladatot is ellát növelve ezzel a panel hatásfokát. Ez a három típus együttesen fedi le ma a piacot különböző tulajdonságokkal megadva a lehetőséget, hogy minden helyzetben ki tudjuk választani az adott körülmények között legmegfelelőbbet. A

manapság megjelent egyéb napelemek (organikus, GaAs, hajlékony, stb) jelenleg kísérleti jellegűek, fejlesztés alatt állnak.

Ha a piacon fellelhető napelem fajtákat nézzük, akkor elmondható, hogy a kristályos napelemek terjedtek el a legszélesebb körben. Nagy tisztaságú szilícium cellákat hoznak létre, melyeknél a gyártási technológiánál dől el, hogy mono- vagy polikristályos szerkezetű lesz. (Kiss E. 2019, Szalánczi, 2020)

Monokristályos napelem

A monokristályos napelemek felépítésüket tekintve több cellából állnak ugyanakkor egy-egy cella egy-egy szilícium tömbből épül fel. Monokristályos azaz „egy kristályos” napelem celláit különleges eljárással hozzák létre. Először is nagy tisztaságú szilíciumot nyernek ki és állítanak elő kvarcchomokból. A nagy tisztaságú szilíciumból ezután egy hengerben megolvasztják 1400°C-on majd az olvadt szilíciumba szilárd állapotú szilícium kristályt lógatnak. Ezt a folyamatot Czochralski-eljárásnak nevezik, amit még az 1900-as évek elejéről egy lengyel kémikusnak köszönhetünk. Az eljárás folyamán az olvadt szilícium a megforgatott szilárd kristályon az elektromos térben megszilárdulva egy hengeres formát ölt, és a szilárd szilícium magot folyamatosan kiemelve az olvadt masszából végül a nagy része kicsapódik, kristályosodik és létrejön egy henger alakú tömör szilícium tömb. Ezt a szilícium hengert a következő lépésben merőlegesen vékony szeletekre vágják. Ezek a vékony szeletek 160 és 210 mikron vastagság között vannak. Ezek a szeletek már egységes kristályszerkezetűek, egy szilícium kristályból állnak. Mivel a szeleteket a henger formájú kristálytömbből nyertük így ezek egy kört formáznak. A minél jobb helykihasználás végett ezért levágva belőlük 8 szögletű cellákat hoznak létre. Ennek köszönhető az, hogy a monokristályos napelem táblákon nem négyszögletű, hanem 8 szögletű cellákat találunk. Emellett jellegzetessége még a polikristályos napelemek sötét fekete, sötétszürke színe. Sötét színével és egykristályos szerkezetével ezen napelemek hatásfoka a legjobb, 18-22% között van, de laboratóriumi körülmények között elérhetik akár a 25-30%-ot is. Ami az előnye még ennek a fajtának, a nagyobb ellenállás a hőmérséklet emelkedésére. Kisebb a hőmérsékleti együtthatója ezáltal nagyobb hőmérséklet mellett is stabil teljesítménnyel tudnak dolgozni. Élettartamukat tekintve 20-25 év garancia mellett a panelek általában 80-90%-os névleges teljesítményt tudnak 25-30 évig, tehát bőven a megterületi időjükön túl van az élettartamuk. Bár alacsonyabb fényviszonyok között jobban teljesítenek társaiknál a monokristályos napelemek hátrányára kell sajnos beírni, hogy a szórt fény kevésbé tolerálják, ilyenkor teljesítményük drasztikusan lecsökken, tehát ilyen

körülmények között alulmaradnak a polikristályos napelemekkel szemben. Ha Magyarországot vizsgáljuk, nem a monokristályos technológia a legideálisabb. Ezeket a napelemeket a forró éghajlatú területekre javasolják, ahol sok a direkt napsütés, kevés a felhős órák száma ezáltal a szórt fény kevésbé jellemző. Az éghajlati adottságokon túl ennél a típusnál sokkal körültekintőbbnek kell lennünk a telepítésekor, mert érzékenyebbek a tájolásra és a pontosan megválasztott dőlésszögre. Ugyanakkor egységnyi felületre nézve ezeknek a napelemeknek a legjobb a teljesítménye, így ahol nem áll rendelkezésre nagy hely ott is ideálisak lehetnek. Ha az előállítási költségeket nézzük egy monokristályos cella előállítása időigényesebb és nagyobb energia szükséges hozzá, ezért általánosságban elmondható, hogy előállítása drágább, mint a polikristályos napelemé, ugyanakkor manapság már nincs akkora különbség az árakban, ami pedig van, azt a teljesítmény ellensúlyozza. (Kiss E. 2019, Szalánczi, 2020)

Polikristályos napelem cellák

Polikristályos vagy többkristályos szilíciumban a kristályszerkezet nem homogén eloszlású. A napelem cellák szemcsehatárokkal rendelkeznek. A gyártási folyamat során az olvadt szilíciumot grafittégelyekbe öntik, majd a hűtést szabályozva kristályosítják ki. A kristályosodási folyamat a hűtési folyamat közben több pontból indul meg. Az ostyákat (kb. 180–350 μm vastagságúak) négyzet alakú rudakból vágják ki és komplett cellákká állítják össze. A polikristályos napelemek olcsóbbak, mint a monokristályos napelemek, de ezeknek a napelemeknek alacsonyabb a hatékonyságuk a napelemekben jelenlévő szemcsehatárok miatt. Mivel az egyes kristályok nem feltétlenül tökéletesen illeszkednek egymáshoz, mint a monokristályos cellák az előző esetben, így veszteségek vannak a cellák közötti rések miatt. Ez az eltérés azonban bizonyos körülmények között segíthet, mivel a cellák nem csak a megfelelő szögből megvilágítva tudnak működni, hanem minden szögből tudják a fényt hasznosítani, akár szórt fényenél vagy gyenge megvilágítás esetén is. A panelek megjelenése is más, a véletlenszerű kristályelrendezés miatt. A panelek kissé kékesebbek, mivel visszatükrözik a fény részét. A polikristályos cellák korábban olcsóbbak voltak, mint a monokristályos cellák az egyszerűbb gyártási folyamatuk miatt, de manapság áruk nagyon hasonlít a monokristályos cellákhoz, bár kissé alacsonyabb a hatásfokuk (kb. 14–18%). Ez az érték laboratóriumi körülmények között 20%

A tömbösítéshez használt másik eljárás a Siemens-eljárás, amely kisebb energiaigényű, mivel egy nagyobb kád formájú kemencében, több pontról kiindulva egyszerre növesztik a szilíciumkristályokat, alacsonyabb hőfokon, mindössze 1100 °C-on és nagyobb méretben

történik a tömbösítése a szilíciumnak. A nagy tömböket ezután kisebb hasábokra szeletelik fel (156x156mm, 6" átmérőjű), viszont a vágási vonalak nem esnek egybe a kristályok széleivel, és az így kapott szilíciumlapkákon belül akár több szilíciumkristály „darabjai” is megtalálhatók. Ebből készülnek a polikristályos napelemcellák. A feldolgozatlan polikristályos lapkákon jól kivehetők még az egyes kristályok közötti határvonalak.

A polikristályos Siemens-eljárás előnye, hogy kevesebb energia szükséges hozzá, ezáltal olcsóbbak az így előállított szilíciumtömbök, mint a monokristályos tömbök, és ez az ár előny végig követhető egészen a kész napelemekig. (Kiss E. 2019, Szalánczi, 2020)

Vékonyfilm napelem cellák

A vékonyrétegű vagy vékonyfilm vagy esetleg szakirodalomban amorf típusú napelemekről is érdemes szót ejteni a kristályos napelemek mellett, technológiájuk és teljesítményük nem elhanyagolható. Legnagyobb különbsége a kristályos napelemekhez képest az a gyártási technológiája és felépítése közötti különbség. Míg a mono- és polikristályos napelem cellákat kristálytömbökből készítik itt egy teljesen ellentétes technológiát alkalmaznak. Felépítés szempontjából az üveglap ugyan úgy jelen van azonban ennél a típusnál közvetlenül erre az üveglap felületére hordják fel félvezető réteget. Ezt kémiai és fizikai lecsapatással viszik fel vékony rétegben a felületre. Az egyik legelterjedtebb gyártási technológia az amorf szilícium és a mikrofilm szilícium. Ennél a típusnál ugyan úgy a szilícium adja a félvezető réteget, azonban ezt nem kristálytömbökből nyerik ki, hanem gázból. Szilán (SiH₄) gázból kémiai folyamat során elválasztják a szilíciumot és a hidrogént, majd a szilícium lecsapódik az üveg felületére. Bár gyártásuk egyszerűbb, teljesítményük jócskán elmarad a kristályos napeleméktől, az amorf szilícium napelemek 5-6%-os a mikrofilm szilícium napelemek 7-8%-os hatásfokkal rendelkeznek.

A kadmium tellurid napelemeket főként egyetlen gyártó a First Solar gyártja. Ez a vékony rétegű napelem fajta egy úgynevezett VTD technológiával készül, ami egy magas hőmérsékletű porlasztási technológia. A kiinduló por alapanyagot gőz halmazállapotig hevítik majd ezt viszik fel az üvegrétegre, ahol az lecsapódik, létrehozva ezzel egy egyenletes polikristályos kadmium tellurid réteget. Nagyon nagy előnye ennek a gyártási folyamatnak a nagy sebessége. Nagyon gyorsan megy a rétegek felhordása, ezáltal a gyártási kapacitás nagy ennél a típusnál. A nagy gyártási sebességnek és az olcsóbb előállíthatóságnak köszönhetően a késztermékek is olcsóbbak. Ennek a típusnak az előzőnél valamivel jobb 7-9%-os hatásfoka van. Az alacsonyabb hatásfok mellett is versenyben tudtak maradni a piacon. A kristályos

napelemekkel szemben e vékonyréteg napelemeknél sokkal nagyobb helyre van szükségük, sokkal több darabszám miatt több egyéb költségünk van a telepítésnél, de még így is 30-40%-os árelőnyben vannak. És ha ezt az árat összevetjük a hatásfokkal, amit összehasonlítunk a kristályos napelemek magasabb árával és hatásfokával igenis versenyben van egymással a két technológia.

Nagy előnye a vékonyrétegű napelemeknek, hogy alapanyaguk bőséges és olcsó így lehetséges még áresés ennél a típusnál. Kevésbé érzékeny a technológia a hőmérséklet emelkedésére. Így olyan helyeken, ahol nagy hőmérsékletre lehet számítani egy kristályos napelemmel szemben nem veszíti el teljesítményének 20-30%-át. A magasabb hőmérséklet tolerálása mellett a besugárzás szögében is rugalmasabbak. Akár $\pm 15^\circ$ -kal is eltérhet a besugárzási szögtől a napelem különösebb teljesítmény visszaesése nélkül. Ezeknek a napelemeknek az elterjedése a lakosság körében még nem olyan jelentős, potenciál inkább a melegebb területek például sivatagokban történő telepítéskor jelentős. Előnyük még ezeknek a napelemeknek, hogy az alapanyagból csak pont annyit kell felhordani amennyi szükséges, ezért nagyon vékony rétegben anyagfelesleg nélkül gyártható. Jobban tűri a szórt fényt, jobban tudja hasznosítani, illetve a Kelet-Nyugat irányú tájolásnál hatékonyabban működnek a kristályos típusoknál. (Kiss E. 2019, Szalánczi, 2020)

2.4.3. Napelemek összehasonlítása

Láthatjuk, hogy a piacon sok különböző típusú napelem megtalálható, és a különböző típusokon belül is nagy a szórás teljesítményben és tulajdonságokban. Hogy jobban összefoglaljam és szemléletesebb legyen nézzük milyen előnyei és hátrányai vannak a különböző típusoknak.

Monokristályos napelem

+ Előnyei

- Hosszú garanciális időszak és élettartam
- Ideális körülmények között az egyik legjobb hatásfok

- Hátrányai

- Előállítása ennek a típusnak az egyik legköltségesebb
- Felhős időben, vagy ha nincs közvetlen napsugárzás a szórt fényt nem tudja jól hasznosítani

- Magas hőmérsékleten a teljesítmény csökken

Polikristályos napelem

+ Előnyei

- Gyártása és előállítása olcsóbb és gazdaságosabb
- Teljesítménye kevésbé függ a tájolástól és a dőlésszögtől
- Széles körű felhasználási lehetőségeket
- Szórt fény jól hasznosítja
- Jó hatásfok, de nem kiemelkedő

- Hátrányai

- Monokristályos napelemek hatásfokát nem éri el
- Magas hőmérsékleten a teljesítmény csökken

Vékonyrétegű napelem

● Előnyei

- + Magasabb hőmérsékleten a teljesítmény nem romlik
- + Teljesítménye kevésbé függ a tájolástól és a dőlésszögtől
- + Gyártása gyors és költséghatékony
- + Rugalmassága és vékonysága miatt szélesebb felhasználási kör, akár domború felületeken is

● Hátrányai

- Alacsonyabb hőmérsékleten a teljesítmény romlik
- Rövidebb az élettartama és a garanciája, mint a kristályos napelemeké
- Alacsony hatásfok, jelentősen elmarad a többi technológiától
- Alacsony hatásfoka miatt ugyan ahhoz a teljesítményhez nagyon nagy a helyigénye

Ezzel az összehasonlítással és előnyök hátrányok kiemelésével láthatjuk, hogy mennyire eltérnek egymástól a különböző technológiával gyártott napelemek egymástól. Nem lehet a

napelemek között konkrét győztest és vesztest hirdetni, nincs jobb és rosszabb napelem csupán mindegyiknek megvan a maga előnye és hátránya. Amit tehetünk, hogy napelem telepítés esetén rendkívül körülményesen szakértővel megtervezve állítjuk össze a rendszert. Minden napelemnek az előnyeit és hátrányait vizsgálva láthatjuk, hogy már ezek alapján is kirajzolódik. Földrajzilag és éghajlatilag melyik típus hol nyújtja a legjobb teljesítményt, van, ami a direkt napsütést hasznosítja a legjobban van, ami a szórt fényt jobban tudja hasznosítani van, ami alacsonyabb hatásfokú, de olcsóbb és a nagy melegben sem romlik a hatásfoka. Mindig az adott körülményekhez kell megválasztani a legmegfelelőbb típust, amivel a legnagyobb teljesítmény a leggazdaságosabban el tudjuk érni. (EU-Solar, 2021, Kiss E., 2020)

2.5. Napelemek működése

A szilícium alapú kristályos napelemek működésének alapja a félvezetők fizikája. Ezen belül is fontos szerepe van a p-n átmenetnek. A cellák fő alapanyaga és kiinduló pontja a nagy tisztaságú szilícium. Ezt a cella fajtájától függően állítják elő, ahogy azt az egyes típusoknál részleteztem. Bár az előállítás technológiájában nagy különbség van, működésükben nem térnek el egymástól. Kezdetben fontos a szilícium nagy tisztasága, és a szennyezők eltávolítása, később azonban szándékosan és célirányosan adalékoljuk őket. Az adalékolásnak lényege az, hogy p-típusú és n-típusú félvezetők jöjjenek létre.

N-típusú félvezető létrehozásához elektron többlettel rendelkező anyaggal kell szennyezni, ami a napelem cellák esetében a foszfort jelenti. Az n-típusú félvezetőnél arra törekszünk, hogy negatív töltésűvé váljon. Ezt egy olyan elemmel lehet elérni, ami elektron többlettel rendelkezik. Mivel a szilíciumnak négy vegyértékelektronja van a foszfornak pedig 5 így a kötésük után a foszfornek egy elektronja szabad marad. Ez vezet ahhoz, hogy kialakuljon egy n-típusú azaz negatív töltésű félvezető.

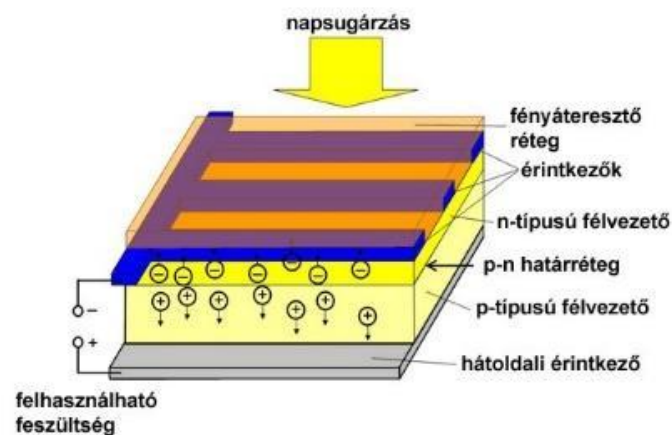
A p-típusú félvezető létrehozása ugyanolyan elven működik, mint az előző folyamat csak itt egy elektron hiánnyal rendelkező anyag az, amivel szennyezik a cellát. Kiinduló anyagunk ugyan úgy a nagy tisztaságú szilícium, amihez ebben az esetben bórt adunk. A bór három vegyértékelektronnal rendelkezik, így a kötésük után egy elektronhiány, úgynevezett lyuk alakul ki.

A p- és n-típusú rétegek érintkezésével kialakul a p-n átmenet, amelynek határfelületén töltéshordozók vándorlása figyelhető meg. Az n-rétegben feleslegben lévő elektronok egy

része a p-réteg felé áramlik, míg a p-rétegben található lyukak közül néhány az n-réteg irányába húzódik. Ez a vándorlás addig tart amíg az egyensúly ki nem alakul. Az egyensúly kialakulása akkor történik meg ha a p- és n-típusú rétegek határához közeli mozgó töltéshordozók elfogynak. Ezek a mozgó töltéshordozók semlegesítik egymást, és a határfelületen egy úgynevezett kiürített tartományt hoznak létre. A határfelület környékén kiürülnek a mozgó töltések, és csak a rögzített ionok maradnak, amelyek elektromos teret hoznak létre. Ez a tér felelős a küszöb feszültség kialakulásáért, ami pedig meggátolja a további töltéshordozók vándorlását. Ez azonban még csak a nyugalmi helyzetnek a leírása, ami egy egyensúlyi állapothoz vezet mindenféle fényforrás nélkül.

5. ábra: A napelem működése modellezve

(Forrás: HOME INFO, 2019)



Amikor a napfényben található energiával rendelkező fotonok a napelemre esnek, a szilícium elnyeli a fény azon részét, amely a megfelelő hullámhosszával rendelkezik. Ha a foton elég nagy energiát tud átadni, akkor képes lesz az elektront kiszakítani a helyéről azzal, hogy magasabb energiaszintre hozza azt és szabaddá teszi ezzel lehetővé téve annak elmozdulását. Amikor egy ilyen elektron kiszabadul és elmozdul, újra elektron hiány jön létre a helyén. Az elektronok mozognak az n-réteg irányába a kialakult elektronlyukak pozitív töltésként viselkedve megindulnak a p-réteg felé. Ha a két réteg elektródái külső fogyasztóhoz és áramkörhöz csatlakoznak, az elektronok az n-rétegből a fogyasztón keresztül jutnak vissza a p-rétegbe, így villamos energia keletkezik.

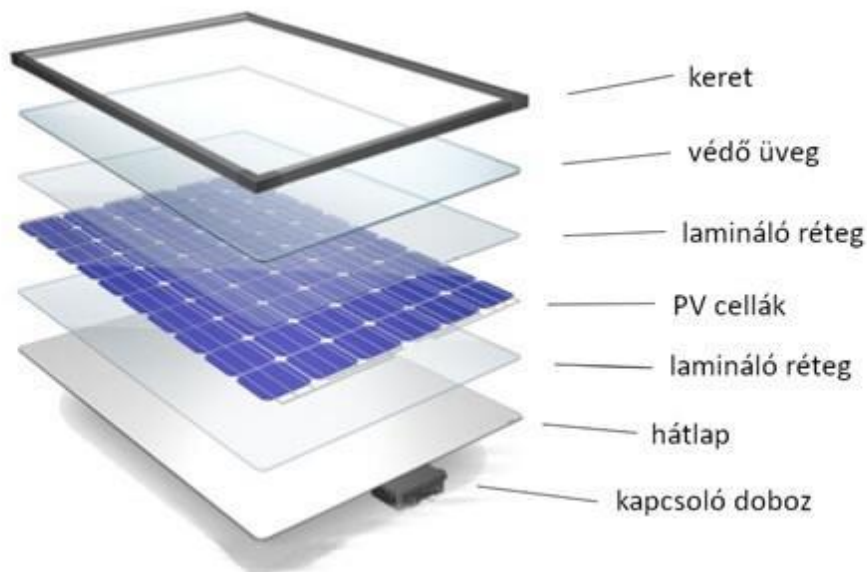
Fontos még kihangsúlyozni, hogy a napelem panelon található cellák n-típusú félvezetőin vékonyabb, míg a cellák között vastagabb érintkezőket láthatunk. Ezek az érintkezők vékony vezetősávok, melyek azért felelnek, hogy a napfény következtében meginduló elektronokat összegyűjtsék. A cellákon lévő vékonyabb vezetősávok az összegyűjtött elektronokat a vastagabb vezetősínekhez továbbítják, melyek a cellák között helyezkednek el és viszik az elektronokat a napelem panel kivezetéséig. Erős kompromisszumot kell találni a vezetők méretét illetően, elég vastagnak kell lennie, hogy minimális veszteséggel gyűjtsék az áramot és jó vezetőképességük legyen, ugyanakkor nem lehetnek túl vastagok, mert a cellák felületének kitakarásával nagyon csökken azok hatásfoka.

2.6. Napelemek felépítése

Maga a napelem panel felépítése réteges szerkezetű. Ahogy az 6. ábrán is láthatjuk a hátlaptól az előlapig haladva találkozhatunk egy kapcsolódobozzal, van egy hátlapunk erre jön egy lamináló réteg, erre a rétegre jönnek maguk a napelem cellák, amiket egy újabb lamináló réteg követ majd egy edzett üvegből készült védőréteg és végül egy jól szigetelő keret. Magukban a szilícium cellákban végbemenő folyamat nem jár a cellák elhasználódásával, így, ha tökéletesen meg tudnánk védeni a cellákat elméleti úton a cellák élettartama végtelen lenne. A gyakorlatban azonban máshogy van, de mindent megtesznek a gyártók annak érdekében, hogy a cellákat a legjobban védjék, ezért is áll ennyi rétegből.

6. ábra: A napelemek felépítése

(Forrás: SISOLAR, 2020)



Általánosságban elmondható, hogy a legtöbb napelem panel 60 és 72 darab cellából épül fel. Ezeket a cellákat behálózzák a fent már említett vékonyabb vezetősávok, amik vastagabbakhoz csatlakoznak és a vastagabb vezetősávokat kötik össze egymással. A napelem hatásfoka nagyban függ attól, hogy mennyi fényt tud elnyelni. Éppen ezért nem lenne szerencsés, ha a cellákat védő rétegek gátolnák a fény elnyelését. Magára a cellákra egy lamináló réteg kerül, amihez általában EVA-kiöntőgyantát használnak a gyártók. Az EVA rövidítés az etilén, vinil, acetát anyagokból jön, ami a gyanta összetételét adja. Ez a kiöntőgyanta hermetikusan lezárja a cellákat, védve őket a nedvességtől. Magas hőmérsékleten és nagy nyomás alatt történik meg ez a laminálási folyamat, amire ezután egy védő üvegréteg kerül, amit általában egy edzett üveglappal oldanak meg. Fontos a napelem panel felső rétegeinél az anyagválasztás, a cél, hogy minél kevesebb fényt verjenek vissza, minél nagyobb spektrumú fénycsugárzásokat átengedjenek, ezáltal a cellákhoz a legtöbb fény eljusson és elnyelődjön. A minél nagyobb fényelnyelő képesség miatt olykor a cellák felületét is kezelik, oxidációs felületkezeléssel vagy a felület érdessítésével tovább csökkenthető a fényvisszaverés mértéke. A panel hátoldalán található hátlapnál már nem számít a fényáteresztő képesség így ennél a rétegnél már csak azt veszik figyelembe, hogy a víztől és szennyeződésektől védett legyen a panel. Erre a hátoldalra kerülnek fel a különböző kötőelemek és a kapcsolódoboz. Ezeknél az csatlakozóknál és kötődobozoknál is van azonban időjárási tényező, amit figyelembe kell venni. Mivel nagy

napsütésnek és magas UV sugárzásnak vannak kitéve, így ezeknek a hatásoknak hosszú ideig ellen kell állniuk ugyanakkor ami még egy fontos tulajdonságuknak kell, hogy legyen, az a kis és nagyfeszültségeken is alacsony ellenállás biztosítása. A keretnek több feladatot is el kell látnia. Nem elég, hogy védje a napelem panelt a környezeti hatásoktól, fizikai védelem mellett merevítő hatást is kell gyakorolnia ugyanis a panelek kiterjedése a cellákhoz képest nagyon mondható és a cellák érzékenyek a különböző erőbehatásokra. Leggyakrabban alumínium kereteket használnak, aminél fogva a napelem panelek rögzítését is megoldhatóvá teszik. (Svarc J, 2022, SISOLAR, 2020)

2.7. Inverter

A napelemes rendszerek egyik legfontosabb eleme az inverter, amely a napelemek által termelt egyenáramot váltakozó árammá alakítja, hiszen a háztartások és a villamosenergia-hálózat is váltakozó áramot használ. Az inverter működése több lépésből áll: egyrészt átalakítja a feszültséget és az áramot, másrészt folyamatosan összehangolja a kimeneti jelalakot a hálózat feszültségével, frekvenciájával és fázisával. Az inverter tehát nem csupán egy átalakító, hanem aktív vezérlőegység is, amely a teljes rendszer hatékonyságát befolyásolja.

Az inverterek többféle kialakításban léteznek. A hagyományos, úgynevezett string inverterek egyszerre több napelem modul által termelt áramot dolgoznak fel, míg a mikroinverterek panelenként végzik el az átalakítást, így jobban kezelik az árnyékolás vagy a részleges meghibásodás miatti veszteségeket. Az újabb hibrid inverterek képesek az energiatároló akkumulátorokkal való együttműködésre is, ami különösen előnyös az önfogyasztás maximalizálásában és az energiafüggetlenség növelésében.

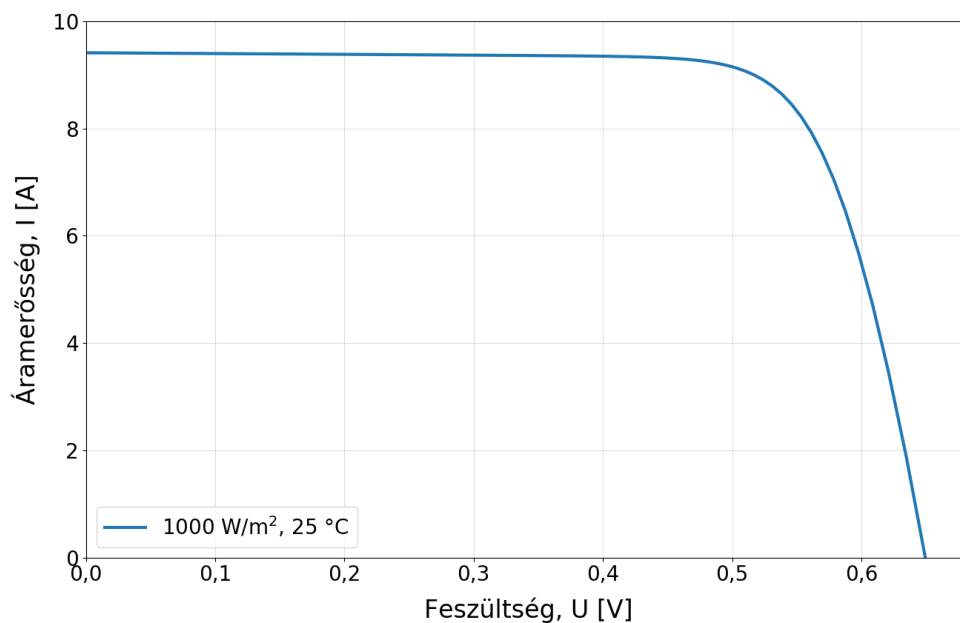
Az inverterek haszna sokrétű: nélkülük a napelemek által megtermelt energia nem lenne közvetlenül felhasználható, ugyanakkor hozzájárulnak a biztonságos üzemhez is, hiszen beépített védelmi funkciókkal rendelkeznek a túlfeszültség, túlterhelés vagy rövidzárlat ellen. A modern készülékek további előnye, hogy digitális felügyeleti rendszereken keresztül mérhetővé és online nyomon követhetővé teszik a termelést, így a felhasználók pontos képet kapnak arról, mennyi energiát állít elő és takarít meg a rendszerük. (Unbound, 2019)

2.8. Napelemek jelleggörbéje

A napelemek jelleggörbéjének azokat a diagramokat nevezzük, amikről leolvashatjuk a napelem elektromos viselkedésének paramétereit. Ezek a paraméterek a besugárzás mértéke és a hőmérséklet függvényében ábrázolt áram és feszültség kapcsolatok. Ezek a jelleggörbék elengedhetetlenek a napelemes rendszerek tervezése során. Fontos ugyanis ismernünk az adott napelem panelra vonatkozó viselkedési jellemzőket, hogy a telepíteni kívánt napelemet a telepítés helyére jellemző és fennálló paramétereknek megfelelően a legjobban válasszuk ki. Ezekkel a jelleggörbékkel bármit ábrázolhatunk, attól függően milyen gépről milyen adatokról van szó, mit szeretnénk vele megmutatni. Villamos rendszerek esetén a két legfontosabb adat, amit ábrázolni szoktak az az áramerősség és a feszültség változás. A napelemek áram feszültség jelleggörbéjét nevezik a napelemek karakterisztikájának is. (Mayer M, 2020)

7. ábra: Áram-feszültség jelleggörbe

(Forrás: Sunformation,2020)

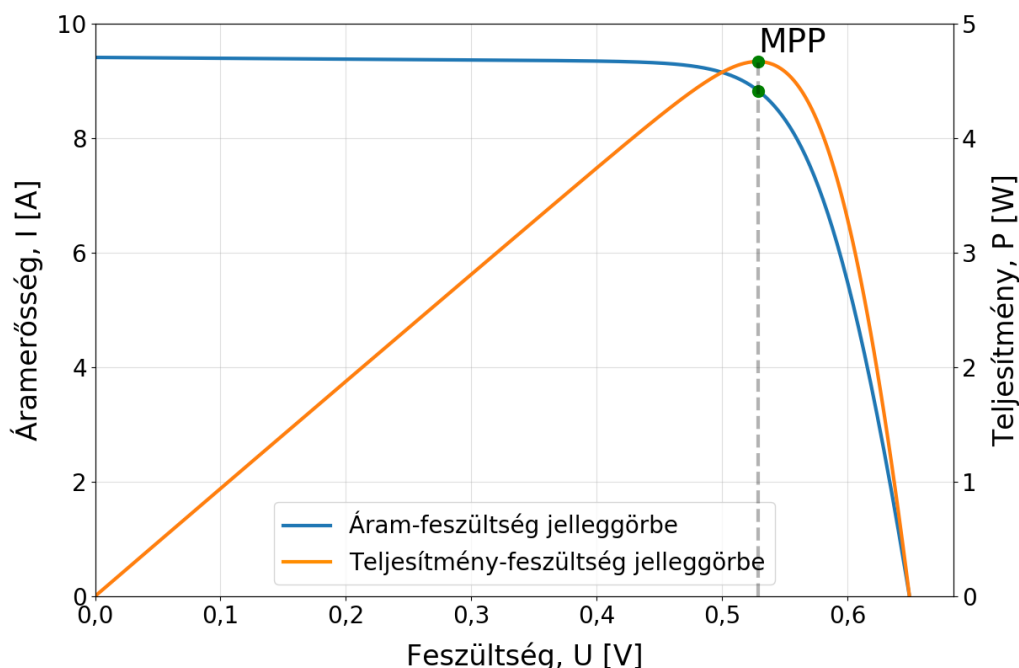


A 7. ábrán egy szilícium kristályos napelem áram feszültség karakterisztikája látható. Akkor a legnagyobb az áram, ha a feszültség nulla. Ezt rövidzárási áramnak nevezzük. A napelemek karakterisztikája olyan, hogy a feszültség növelésével nem indul meg egyből az áramerősség csökkenése jelentősen. Láthatjuk az ábrán is, hogy az áram nagysága a 0V feszültségi ponttól egészen 0,5V-os feszültségig alig csökken. 0,5V feszültséget elérve azonban látható egy meredeken meginduló csökkenés. 0,65V-nál metszi a görbe a

vízszintes tengelyt, ekkor az áram erőssége nulla, és ezt az állapotot üresjárásnak nevezzük. Na de a kérdés, hogy mit tudunk kezdeni ezzel a jelleggörbével egy napelem kapcsán. Nézzük a következő jelleggörbét, amin egyszerűen és egyértelműbben látszik a lényeg.

8. ábra: Áram-feszültség és teljesítmény- feszültség jelleggörbék

(Forrás: Sunformation,2020)



A 8. ábrán a vízszintes tengelyen ugyan úgy a feszültség, a függőleges tengelyen az áramerősséget jelöltük, mint az előbb. Kiegészítettük azonban egy teljesítményt mutató jelleggörbével az ábrát. Mi is ez a teljesítmény? A teljesítmény megmutatja nekünk, hogy egységnyi idő alatt mennyi energiát alakít át a napelem. Képlete rendkívül egyszerű $P = U \cdot I$. Azaz a teljesítményt a feszültség és az áramerősség szorzatából kapjuk. Nincs is más dolgunk csak megnézni, hol a legnagyobb a teljesítménye a napelemnek és fenntartani azt. Ez a teljesítmény görbe van jelölve narancssárga színnel az ábrán, ahol láthatjuk, hogy jelölték is a MPP pontot, ami a Maximum Power Point azaz a legnagyobb teljesítményű munkapont. A napelemeknél arra az egy célra kell törekednünk a legnagyobb teljesítmény érdekében, hogy ezen a ponton tartsuk őket folyamatosan. Ideális esetben annyi lenne a dolgunk, hogy megválasszuk a napelem jelleggörbéje alapján egy olyan ellenállást, amivel tartani tudnánk ezt a folyamatos feszültség és áram nagyságot. A hétköznapokban azonban egyáltalán nem tudjuk fenntartani ezt az ideális állapotot. Ez csak akkor működne, ha folyamatosan ugyan akkora lenne a besugárzás mértéke, és nem változna a cella

hőmérséklete. Az első jelleggörbén láthatjuk is, hogy azok az adatok a folyamatos $1000\text{W}/\text{m}^2$ sugárzás és a konstans 25°C mellett lennének érvényesek. Mivel a hétköznapiakban nem tudjuk fenntartani, hogy minden pillanatban ugyanakkora legyen a sugárzásunk és állandó hőmérsékleten tudjuk tartani a napelem panelokat így megoldást kellett találni az ellenállás mértékének megválasztására. Az inverterek azok a berendezések, amik képesek megoldani ezt a problémát és ezek segítségével vagyunk képesek mindig a legjobb teljesítményt kihozni a napelem panelokból. Ahhoz, hogy ezt megoldjuk arra van szükségünk, hogy folyamatos feszültségszabályozás alatt az MPP pontban tartsuk a napelemet. Ehhez a napelemeknek úgynevezett kapcsolófeszültségét kell úgy beállítanunk folyamatosan, hogy a legnagyobb teljesítményű munkapontot kövessük. Ezt a feszültségszabályozási feladatot látják el általában az inverterek. Maguknak az invertereknek nem ez az elsődleges feladatuk és szerepük a rendszerben, de ezekbe szokták általában beletenni ezt a feszültségszabályozó rendszert. Vannak olyan modulok is, amik valamilyen optimalizáló berendezésekkel vannak felszerelve, illetve laboratóriumi rendszereknél ezt külön berendezéssel oldják meg, de a hétköznapiakban használt és felépített rendszerekben nagyrészt az inverter látja el ezt a feladatot. (Mayer M, 2020)

Most, hogy már tisztáztuk mit is jelent ez a jelleggörbe miért is fontos a napelemek vizsgálata során nézzük mi az, amit még le tudunk olvasni róluk és hasznos. Mint arról szó is volt, ezek a jelleggörbék az ideális esetet írják le. Mint oly sok rendszerben, amit vizsgálunk és adatokat, amiket egymáshoz hasonlítunk általában létre kell hozni egy egységes referenciát, hogy az adatokat ténylegesen össze tudjuk hasonlítani. Az STC vagyis a Standard Test Conditions azaz az egységes a szabványos tesztelési körülményeket pont ezért hozták létre, hogy minden gyártó azonos körülmények között tesztelje a napelemet és a napelemre vonatkozó adatokat ennek az egységes keretrendszer követelményei mellett adja meg. Ezzel a rendszerrel könnyen összehasonlíthatók egymással a különböző méretű és fajtájú napelemek. Három fő szempontot szabtak meg a gyártóknak ebben az egységes rendszerben. Fontos a hőmérséklet, 25°C -ban állapították meg a napelemek hőmérsékletét a mérés közben. Ezek a mérések laboratóriumi körülmények között zajlanak, és a hőmérsékletnél fontos kiemelni, hogy a 25°C nem a mérési térnek a hőmérséklete kell, hogy legyen, hanem maga a paneloknak a hőmérsékletének kell elérnie ezt a 25°C -ot. Fontos még az egységes besugárzás. Ezt $1000\text{W}/\text{m}^2$ -ben állapították meg. Ezt az intenzitást megfelel annak az energiának az értékével, ami a Föld felszínére érkezik maximális napsugárzás mellett ideális esetben. A

harmadik fontos adat, amit meghatároztak, az az 1,5-es AM (Air Mass) légtömeg érték. Ez egy egység szám, 1 AM pontosan az a távolság, amit a napsugárzás a Föld légkörén függőlegesen, a tengerszintre merőlegesen áthaladva megtesz, amikor a Nap pontosan a fejük felett van. Persze a pontos mérésnek vannak még más feltételei is, pl.: szélesebbég 0 m/s de ez a 3 volt, ami a legfontosabb.

A való életben azonban ezek a számok és feltételek csak a laborokban teljesülnek. Fontos viszont, hogy ezeket a jelleggörbéket nem csak ideális esetekben tudjuk ábrázolni. A hétköznapiakban nem teljesül minden előírt körülmény ezáltal a napelem teljesítménye sem lesz annyi amennyi az adatokban meg lett adva. De nézzük hogyan változik a napelemek teljesítménye hőmérséklet vagy sugárzás hatására. Kezdjük a sugárzás mértékével, ezt egyszerűbb vizsgálni. Nyilvánvaló, hogy ha kevesebb a napfény akkor a teljesítménye is kisebb lesz a napelemnek. Ez a teljesítmény visszaesés egyenesen arányosan történik a napelemknél, ha a sugárzás mértéke a felére csökken, akkor a napelem teljesítménye is közel a felére fog csökkenni. Ez fontos már a telepítés során is, mert nem mindegy, hogy ahova kerül a letelepített rendszer ott milyen irányba fog nézni, milyen dőlésszöveget állítunk be a naphoz képest, mert ezek a tényezők komolyan befolyásolják a besugárzás mértékét. A hőmérséklet hatása ennél sokkal trükkösebben hat a napelemekre. A fenti jelleggörbén 1 napelem cellát vizsgáltunk. Egy napelem azonban legtöbbször 60 ilyen cellából áll, amik sorba vannak kötve így a feszültségük összeadódik. Egy ilyen napelemnél az üresjárási feszültség már 39V kb. ideális esetben. Erre az üresjárási feszültségre lineáris hatással van a hőmérséklet, ez pedig hatással van a kapocsfeszültségre és ezáltal a napelem teljesítményére is. Nagyvonalakban elmondható, hogy 1 °C hőmérséklet emelkedésre 0,4-0,5 %-os teljesítmény csökkenéssel reagál a napelem. Ez 50 °C hőmérséklet különbségnél már 10-15%-os teljesítmény csökkenést jelent.

Az árnyékolásra is nagyon oda kell figyelni a telepítés helyének kiválasztása során. Általánosságban elmondható, hogy a napelemeket függőleges irányban három részre szokták osztani ezt 3 sztring-nek nevezik. Ezek a sztringek egymástól függetlenül és egymással párhuzamosan termelnek áramot. Az árnyékolás minimális mértéke is egy ilyen sztring majdnem teljes termelését elveszi. Tehát ha függőleges irányba történik a napelemünk leárnyékolása valamelyik sztringje mentén, csak azt veszítjük el, azonban, ha vízszintes irányba egy keskeny sávot is de leárnyékolunk az egész panel termelése leállhat.

2.9. Napelemek degradációja

A napelemek degradációjának azt a folyamatot nevezzük amikor az idő előrehaladtával a napelem fokozatosan veszít teljesítményéből. Nincs erre egy minden napelemre és minden technológiára igaz mérték, ezt a degradációs folyamatot nagyon sok tényező befolyásolhatja. Függ a napelem technológiájának típusától is, valami kevésbé van, ami jobban hajlamos a degradációra, de az biztos, hogy ahogy az idő megy a degradációja lesz a napelemeknek. Vannak különböző környezeti tényezők, amik hatással vannak a napelemek teljesítményére. Mivel a napelemek pont a napsugárzást hasznosítják így nem tudjuk kikerülni, hogy a nap UV-sugárzása érje a napelemet. Az UV-sugárzás káros hatással van bizonyos anyagokra, viszont a napelem paneloknak ezek az anyagok fontos összetevői, a különböző műanyag, illetve gumi szigetelő alkatrészek nélkülözhetetlenek a napelemekhez. A hőmérséklet ingadozás már nem csak ezekre a műanyag és gumi alkatrészekre van hatással, hanem az egész napelemre. Ez a hőmérséklet ingadozás magában foglalja a napi és az éves változásokat is. Bár a napelemek gyártója megadja azt a hőmérséklet tartományt, ahol a panelok üzemelnek, és ez egy elég széles skála a téli és a nyári hőmérsékletekhez képest, az anyagokra akkor is káros hatással van az ingadozás. Ez a hőmérséklet ingadozás feszültséget hozhat létre a napelem panelban és az vezethet szerkezeti meghibásodáshoz vagy mikrosérülésekhez. Ezek a hatások azonban hosszútávon hatnak a napelemekre, de károsodhat időjárás behatására komolyabban és intenzívebben is. A jégeső, a szél, a hó veszélyt jelentenek a napelemekre. Magyarországon szerencsére nincsenek nagyon szélsőséges időjárási körülmények e tekintetben, de a napelemes rendszer tervezésénél oda kell figyelni, milyen paraméterekig vállal a gyártó felelősséget terhelhetőség szempontjából. Hó és szél terhelési paraméter a legtöbb gyártónál meg van adva, a jégesőre nem tudnak garanciát vállalni, de a cellákat beborító üveg mindig egy vastagabb strapabíró és erős, de mégis nagy áteresztőképességű üveglap.

Vannak azonban konkrét hibák, amik a leggyakrabban előfordulnak a napelemeknél és degradációt okoznak. Az egyik ilyen gyakran előforduló probléma a rétegenkénti leválás. Ez lassan kialakuló probléma és általában a napelem élettartamának vége felé fordul elő. Ahogy a napelem panel felépítésénél már részleteztem a napelem cellákat egy lamináló réteg és egy üveglap borítja. Ezt magas hőmérsékleten légmentesen laminálják, azonban idővel előfordulhat, hogy ezek a rétegek elválnak egymástól. Attól függően, hogy a panelon belül hol történik az a folyamat függ a súlyosságától. Ha a napelem közepét érinti

ez a probléma, akkor azzal kell számolnunk, hogy megnövekszik a fényvisszanyerő képesség ezzel rontva a napelem teljesítményét. Sokkal súlyosabb a helyzet, ha a napelem panel szélén történik ugyan ez, mert ott magas kockázata van a víz behatolására is ezzel, így nem csak a teljesítményromlás kockázata áll fent, hanem elektromos kockázatot is jelent. Elősegíti ezt a folyamatot, ha meleg és nedves környezetben található a napelem. Ha a napelem széleinél megtörténik a leválás és bejut a víz az gyorsan korróziót okoz. Ez korrózió hatással van az elektromos vezetőképességre. Szivárgási áram jön létre a korrózióval, ami teljesítményvesztést okoz. Ahhoz, hogy ezeket a problémákat elkerüljük megfelelő laminálásra van szükség és egy tökéletes tömítésre, ami még jobb, ha anyagában szárítószert tartalmaz. Nagy problémát jelent még a napelem paneleknél, ha mikrorepedés keletkezik bennük. Az oka visszavezethető a szállításra is akár, de a telepítésnél is keletkezhet vagy ha a szállítás és a telepítés a legnagyobb rendben történt még mindig kialakulhat a környezeti hatások miatt. Ezek a repedések a cellákon belül keletkeznek, méretüktől, irányuktól és elhelyezkedésüktől függően vagy rontják a cella teljesítményét, rosszabb esetben akár teljesen inaktívvá tehet egy cellát.

A degradáció minden napelemnél jelen van, csupán a mértéke a kérdés. Átlagosan az évenkénti degradációja a napelemeknek 0,5-1% közé tehető. Ezzel a degradációval 20-25 éves használat után általában olyan 75-85%-os teljesítményt nyújtanak az eredeti teljesítményükhöz képest. Ez a teljesítményvisszaesés jelentős visszaesés gazdasági szempontból, de ettől még nem válnak használhatatlanná a napelemek, továbbra is termelik az áramot és működnek tovább. Tudunk azonban tenni a degradáció csökkentése érdekében, amivel lassíthatjuk ezt a folyamatot. Minőségi napelemek vásárlásával prémium gyártóktól minőségi alapanyagokból lassítja ezt a folyamatot. Ha a telepítés során szakértőre bízunk a rendszer megtervezését és a kivitelezést csökkenti az kockázatát a telepítés közbeni sérüléseknek és a helytelen telepítésnek. A rendszeres karbantartás sem elhanyagolható, nem elég a napelemet feltenni például a tetőre azt tisztítani is kell, rendszeres ellenőrzés során is még időben kiszűrhetünk egy később súlyosabbá váló hibát, és ügyelnünk kell az árnyékmentesség fenntartására. A degradációt nem tudjuk azonban megakadályozni semmivel, de a mértékének csökkentése érdekében tudunk tenni. (Oliveira, 2018, Okorieimoh, 2020)

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1. Vizsgált téma bemutatása

Dolgozatom témája, a napelemek, a megújuló energiaforrások, és a minél hatékonyabb működés, minél nagyobb szén-dioxid kibocsátás csökkentése a mai világban aktuális és egy kiemelkedő téma. Láthatjuk mennyire elterjedtek Magyarországon is a lakossági napelemes rendszerek, mennyi pályázat elérhető ebben a témában és mekkora összegű támogatásokat fordít erre az Európai Unió is. Egy ilyen uniós támogatás keretein belül épült meg 20 évvel ezelőtt az akkori Szent István Egyetem gödöllői campusának kollégium épületének tetején a dolgozatomban konkrétan vizsgált napelemes rendszer.

9. ábra: A Szent István Egyetem gödöllői campusán 2005-ben telepített napelemes rendszer

(Forrás: PV Enlargement, 2005)



A képen látható napelemes rendszer az Európai Unió PV Enlargement projektje keretében valósulhatott meg, innen és a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztériumtól jött a támogatás. A projektet a Fizikai és Folyamatirányítási tanszék karolta fel az egyetem részéről, akik a projekt előtt sok időt fordítottak már a különböző fotovillamos rendszerek kutatására és fejlesztésére. A projekt célja és feltétele nem csak a rendszer telepítése és a megtermelt villamos energia hasznosítása volt, hanem ezen kutatások, fejlesztések és kísérletek végzése a működő napelemes kiserőművel. A rendszer egy 10 kWp teljesítményű napelemes rendszer,

ami három rendszerből, két fajta napelemtípusból és kétfajta inverterből épül fel. A napelemekre a gyártók általában 20 éves teljesítmény garanciát vállalnak, ez letelt, emellett a fejlődés óriási volt ez idő alatt ezekben az eszközökben. 2005 októberében adták át a rendszert, ami akkor a maga idejében abszolút korszerűnek számított. Ez volt Magyarországon 2005-ben az első olyan mini napelem erőmű, amit a hálózatra kapcsoltak és betáplálta a hálózatba a megtermelt energiát.

4. EGYETEMI NAPELEM RENDSZER VIZSGÁLATA

A telepített rendszert érdemes azonban mélyrehatóbban megvizsgálni, fontos a napelemek típusa, a telepítés körülményei. A következő pontokban a telepítéssel kapcsolatban fontos kérdésekről lesz szó, illetve magáról a rendszer működéséről, rendszereinek részletesebb elemzéséről.

4.1. Rendszer bemutatása

4.1.1. Telepítési információk

A telepítés körülményeinek vizsgálata kiemelkedően fontos, ugyanis, ha valaki egy új napelemes rendszert tervez telepíteni akkor is a rendszer tervezése az egyik, ha nem a legfontosabb lépés. Telepítésnél nagyon sok szempontot kell figyelembe venni és ezeket nem csak külön-külön vizsgálni, hanem ezekből a szempontokból és információkból egy rendszert készíteni és e rendszer mentén haladni a tervezéssel. Ezek a szempontok nem függetlenek egymástól, ha az egyik követelményt a legjobban ki akarjuk elégíteni lehet, hogy egy másik pontján a rendszernek sokkal többet veszünk vele, vagy az is lehet, hogy minden más pontján veszítünk vele és összeségében már rosszabbul járunk, mint egy minden szempontot figyelembe vett kompromisszumos megoldással.

A meglévő egyetemi rendszert olyan szempontok alapján fogom megvizsgálni, mintha egy új rendszer telepítéséről lenne szó, ami mentén véleményem szerint a legtöbb információra és kérdésre a rendszer telepítésével kapcsolatban választ is kapunk. Az egyik kiindulópontja a tervezésnek, a helyszíni adottságok felmérése. A helyszín megválasztásánál is több dologra kell ügyelni és ezeknek a feltételeknek az együttes megléte szükséges a rendszer minél jobb és hatékonyabb működése érdekében. Napelemeknél a legfontosabb és elsődleges szempont a tájolás. A legideálisabb a déli tájolás Magyarországon és a 30° - 35° dőlésszög. Az egyetemi rendszer az egyetem C épületének, azaz a kollégiumának tetején kapott helyet. A tető hosszanti tengelyére merőlegesen helyezkednek el a napelemek. A tető hosszanti tengelye 175° felé mutat ezáltal a tökéletes déli tájolástól csak 5° eltérése van a napelemeknek. Ez volt a legideálisabb ahogy a napelemeket telepíteni lehetett. Az árnyékolás még fontos kritérium amire oda kell figyelni, ugyanis a napelem panelek részleges árnyékolása is komoly teljesítményvesztést okoz. Erre a kollégium épülete megfelelő helyet biztosított, ugyanis egy 5 szintes épületről beszélünk, nincsenek a tető síkja felé érő fák, más magasabb épületek sincsenek a környéken. Síktetőről van szó, így a tartószerkezet és a napelemek elhelyezése

során már csak arra kellett figyelni, hogy az egymás mellé egy sorba telepített napelemeknek sortávolsága olyan távol helyezkedjen el egymástól, hogy egyik napelem ne árnyékolja le a másikat. A tetőszerkezetre kitérve, lapostetőről beszélünk, fontos a teherbírás is, ugyanis nem csak a napelemek súlyát kell elbírnia a tetőnek. Van egy szerkezet is amire a panelekat rögzíteni kell, ennek is bőven van súlya, illetve ezt az egész szerkezetet valahogy le is kell fogatni a tetőhöz vagy lesúlyozni azt.

10. ábra: A Szent István Egyetem gödöllői campusának napelemes rendszere telepítés közben
(Forrás: PV Enlargement, 2005)



Ennél a konkrét rendszernél ezt a 10. ábrán látható módon úgy oldották meg, hogy betonkockákat öntöttek ki és ezekhez rögzítették a tartószerkezetet. Ezzel biztosítva azt, hogy a napelemes szerkezetet érő erők, amik például a szél miatt fellépnek is kiszolgálja, illetve a tetőnek a szigetelésében se tegyen kárt. Maga a szerkezet amire a napelemeket rögzítették horganyzott C elemekből áll, amire az elemeket fixen rögzítették, nem forgatható.

A helyszín megválasztása szempontjából elmondható, hogy egy megfelelő tájolású árnyékmentes síktetőről van szó. Teherbírása kielégíti a szerkezet és a napelem által megkívánt mértéket. Plusz pozitívum, ami már nem a működésre és a teljesítményre van hatással, de sík

tető révén egy jól megközelíthető, biztonságosan és könnyen karbantartható és telepíthető rendszert sikerült megvalósítani.

Fontos még a villamos energia felhasználását figyelembe venni ez határozhatja ugyanis meg a rendszer méretét és teljesítményét. Egy családi ház esetében ugyanis nem biztos, hogy szükséges felrakni annyi napelemet a tetőre amennyi csak elfér. Ma már, hogy az újonnan telepített rendszereknél nem a szaldós elszámolás van és jóval alacsonyabb díjon veszi át az áramszolgáltató a hálózatra betermelt villamos energiát, sokkal inkább azt javasolják, és a pályázatok is ezt mutatják, hogy a háztartásra méretezett napelemes rendszert telepítsen a lakosság megtámogatva a rendszert egy energiatároló elemmel. A „legjobb” zöld energia az, amit zölden termelünk és egyből ott helyben fel is használunk. Ma már sokkal inkább egy konkrét háztartásra méretezett napelemes rendszer egy erre megfelelő inverterrel és egy olyan energiatároló akkumulátor egységgel támogatott rendszer az támogatott és az elterjedt, ami nappal megtermeli az energiát, aminek egy részét elhasználj a háztartás, az ezen felüli részből pedig az akkumulátorokban ideiglenesen eltárolva éjszaka, vagy ha nem süt a nap működnek a villamos berendezések.

A korábbi rendszereknél a szaldós elszámolásban egy adott időszakot nézett a szolgáltató és az elfogyasztott villamos energiából levonta a fel nem használt, hálózatra betermelt energia mennyiségét majd a különbözetet számlázta csak ki. A vizsgált napelemes rendszerénél is egy hálózatra betermelő rendszerről beszélünk azonban egyetemről révén és kollégium épületről beszélve a megtermelt villamos energiát már itt helyben fel is lehet használni. A rendszer is úgy áll össze, hogy a megtermelt egyenáramot az inverterek segítségével átalakítják 230V-os hálózati feszültségre, és betáplálják a kollégium villamos hálózatába.

4.1.2. Működési információk

A telepített napelemes rendszer három részegységből áll. A részegységek 2 felé oszthatóak, van egy rendszer, ami polikristályos napelemekből áll és van 2 másik, ami amorf szilícium technológiát használó napelemekből áll. A 3 rendszerben nem csak a napelemek fajtája az, ami különböző, a napelemek darabszámában, teljesítményében az inverterek típusában is van különbség. Ahogy az alábbi képen is látszódik a kétfajta napelem könnyen megkülönböztethető egymástól.

11. ábra: A telepített napelemek, ASE100 modulok balra, DS40 modulok jobbra

(Forrás: PV Enlargement, 2005)



ASE100 modulok



DS40 modulok

Kezdjük a polikristályos részegységgel, nevezzük ezt az első csoportnak. Ebben az első rendszerben 32 darab ASE100 típusú napelem kapott helyet. Ezek a napelem egyenként 105 Wp teljesítményre képesek STC (Standard Test Conditions) körülmények között. A napelemek gyártója a német Schott Solar GmbH volt, akik egészen a 2000 évek elejétől 2012-ig gyártottak napelemeket. Ez a részrendszer így a 32 darab napelemmel összesen 3,5 kWp névleges teljesítménnyel rendelkezik. A 32 napelem is kettő felé van osztva, 16-16 napelem van egy sorba kötve így ez a rendszer kettő stringből áll. Erre azért van szükség mert a stringeken belül a napelemek sorosan vannak kötve egymáshoz, azaz a 16 napelem feszültsége összeadódik áramerőssége megegyezik. Ez bevett szokás a napelemes rendszerek telepítésénél, ezzel lehet szabályozni azt, hogy a megfelelő feszültség sávon belül legyen a rendszer, amit az inverter megkövetel.

12. ábra: ASE100 modul adattáblája ballra, Sunpower SP3100/600 inverter adatai jobbra

(Forrás: Secondsol, PV Enlargement, 2005 adatok alapján)



Névleges teljesítmény	3,3 kW
Inverter típusa	Sunpower SP3100/600
DC bemeneti feszültség	Minimum: 200 V, Maximum: 600 V
AC kimeneti feszültség	230V
MPPT bemenetek	2 különálló MPPT bemenet

Az ASE-100 GT-FT típusú napelem adattáblájából láthatjuk, hogy a feszültség MPP (Maximum Power Point) esetén 34,5V. A táblázatból pedig láthatjuk, hogy az inverter bemeneti feszültségének 200V és 600V közé kell esnie. Ezt lehet szabályozni azzal, és ezért van szükség arra, hogy sorosan kössük a napelemeket és stringeket alkossunk belőlük. A 16 napelem sorosan kötve azt jelenti, hogy a feszültségük összeadódik: $16 \times 34,5V = 552V$. Azt, hogy egy stringbe mennyi napelem kerüljön úgy kell meghatározni, hogy az inverter maximális bemeneti feszültségét ne lépjük túl, de a minimum működési feszültséget cserébe elérjük. Az inverter tulajdonságai között láthatjuk, hogy 2 különálló MPPT (Maximum Power Point Tracking) bemenettel rendelkezik, azaz 2 külön stringet lehet bekötni, pontosan ez valósul meg itt is a valóságban. Amit még fontos kiemelni, hogy a stringeken belül sorban vannak kötve a napelemek, de a stringek már párhuzamosan kerülnek bekötésre az inverterbe. Párhuzamos kapcsolásnál pont ellenkezőleg működik, a feszültség állandó marad az áramerősség pedig összeadódik. A rendszer névleges teljesítményét a következő módon tudjuk kiszámolni:

- Napelemek száma: 32 db
- Stringek száma: 2
- Napelemek stringenként: 16 db
- Egy napelem U_{mpp} (munkaponti feszültség): 34,5 V

- Egy napelem I_{mpp} (munkaponti áramerősség): 2,9 A

1. Egy string feszültsége: $U_{string} = 16 \times 34,5 V = 552 V$

2. Egy string áramerőssége: $I_{string} = 2,9 A$

3. Egy string teljesítménye: $P_{string} = U_{string} \times I_{string} = 552 V \times 2,9 A = 1600,8 W = 1,6 kW$

4. Két string teljesítménye: $P_{össz} = 2 \times P_{string} = 2 \times 1600,8 W = 3201,6 W = 3,2 kW$

A másik kettő részrendszer megegyezik egymással. Ezt a két rendszert ugyan úgy a Dunasolar DS40 típusú napelemei alkotják. A Dunasolar Kft. a 2000-es évek előtt nyitotta meg kapuit Budapesten, vékonyréteg-technológiával gyártott napelemeket egészen 2003-ig. A DS40-es típus is egy ilyen amorf szilícium napelem volt. Részrendszerenként 77 darab napelemből és kettő inverterből állnak. Ezeknek a DS40-es napelemeknek a névleges teljesítménye 40 Wp. A munkaponti teljesítményük ezeknek a napelemeknek 44,8V míg a munkaponti áramerősség 0,8A. Ezeknél a rendszereknél úgy oldották meg, hogy 7 napelem került egy stringre, így a 77 napelemhez összesen 11 string jön létre. Ezáltal 7 napelem sorosan van kapcsolva és ez a 11 rendszer string pedig párhuzamosan. Ezzel a megoldással egy-egy ilyen részrendszer 3,1 kWp névleges teljesítményt tud leadni.

Az első típusból egy, azaz 3,3 kWp teljesítményű, míg a második típusúból 2 részrendszer is helyet kapott az épület tetején egyenként 3,1 kWp teljesítménnyel így összesen az egész rendszer névleges teljesítménye 9,5 kWp.

A rendszerek főbb tulajdonságairól és adatairól egy összefoglaló táblázat látható:

1. táblázat: Különböző telepített rendszerek adatai

(Forrás: Saját szerkesztés PV Enlargement, 2005 adatok alapján)

	Sub-system	Sub-system
	1	2 and 3
Névleges teljesítmény [kWp]	3,3	3,1
Napelem gyártó	RWE	Dunasolar
Modul típusa	ASE-100 GT-FT	DS40
Napelem cella technológia	Polikristályos	Amorf szilícium
Napelem modul teljesítménye (STC) [W]	105	40
Modulok összes száma	32	77
Modulok száma sorosan (stringenként)	16	7
Stringek száma párhuzamosan (inverterenként)	2	11
Inverter bemeneti teljesítménye (STC) [kWp]	3,5	3,1
Inverter típusa (SunPower)	SP3100/600	SP2800/550
Inverterek száma az alrendszerben	1	2
Modulok teljes felülete [m ²]	27	122
Azimut tájolás (D = 0°, Ny = -90°)	5°	5°
Dőlésszög (vízszinteshez képest) [°]	30°	30°
Teljes rendszer teljesítménye [kWp]	9,5	

4.2. Telepítési költségek

A projekt az Európai Unió PV Enlargement projektjének keretén belül jöhetett létre, de nem finanszírozta a teljes beruházást. A Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium segítségével valósult meg a projekt fennmaradó részének finanszírozása. A beruházás költsége hozzávetőlegesen 62.400 euró volt, ami a 2005-ös árfolyamon átszámolva olyan 15.600.000 Ft-nak felelt meg. Ez az összeg nem az egész kivitelezésnek a költsége csupán a napelemes rendszer tervezésére és felépítésére szánt költség. Ezen felül költségként jelentkezett még a megvalósítás során annak a rendszernek a kiépítése, ami csupán az oktatási és kutatási célokat szolgálta. Kialakításra került egy számítógépes szoba egy külön rendszerrel, ami csak a mérési adatokat rögzíti és monitorozásáért felel. Mivel ez a rendszer nem szükséglete a napelemes rendszernek a működéséhez és ez csak az oktatási és kutatási feladatok ellátására szolgál így bár költségként jelen volt a projekt megvalósításánál a napelemes rendszer megtérülésének számolása során nem veszem figyelembe. Mivel az egyetem önerejét elsősorban a szakmai munkavégzéssel biztosította a projekt során és a költségeket támogatásokból fedezték így az egyetem részéről nem beszélhetünk a klasszikus megtérülési időről, de ha a projekt összköltségével számolunk akkor ezt a kezdetekben 15 évben határozták meg. A kezdeti energiaárak jelentős változása miatt ez az időszak lerövidült.

4.3. Elméleti megtérülés

Mint minden projektnél, ahol befektetünk pénzt, számolunk a tervezés során egy megtérülési időt. Itt sem volt ez másképp, bár ez a projekt jelentősen eltér egy hagyományos projekttől. Klasszikus megtérülési időt az egyetem részéről azért nem tudunk számolni mert a projekt uniós és magyar támogatásokból jött létre. Innentől kezdve az egyetemnek már az első évtől kezdve besegít a rendszer a villamos energia költség csökkentésébe. A másik ok amiért eltér ez a rendszer egy normál piaci céges vagy vállalkozói vagy akár lakossági napelemes rendszertől, az, hogy nem csupán a kollégium hálózati energia szükségletének csökkentésére alakították ki, hanem oktatási célokra is. Ha ezt a rendszert akkor, vagy akár most is egy cég csupán anyagi érdekből hozná létre, valószínűleg egyfajta, a leghatékonyabb napelemből építené meg a rendszert, és nem fordítana plusz anyagi forrásokat arra, hogy olyan szinten monitorozni tudja és rögzíteni az adatokat, mint ahogyan az itt is történt.

Az a tény, hogy a rendszer jelentős energiamegtakarítást és CO₂ megtakarítást ér el vitathatatlan. Azt az energiát, amit az egyetemnek nem a hálózatról kellett vennie, hanem a rendszer termelte meg, és azt tudták felhasználni teljes mértékben csökkentette a hónap végén a szolgáltató felé elszámolt mennyiséget. Ezt a megtermelt mennyiséget hónapokra lebontva becsülték meg a tervezés során, amit a következő táblázatban láthatunk.

2. táblázat: A rendszer becsült villamosenergia termelése havi lebontásban

(Forrás: Saját szerkesztés PV Enlargement, 2005 adatok alapján)

Hónap	Becsült villamosenergia termelés (kWh)
Január	372
Február	541
Március	868
Április	1039
Május	1266
Június	1310
Július	1315
Augusztus	1217
Szeptember	953
Október	722
November	358
December	299

Ez azt jelent, hogy összesen egy évben a tervezett villamosenergia termelés 10260 kWh volt. Ez a szám az egész rendszerre összeségében vonatkozik és a számítások során nem is vesszük külön a három alrendszer egyedi mérési adatait. A villamos energia ára a rendszer telepítésének időszakában olyan 29-36 Ft/kWh közé tehető. Mivel a rendszernek a beruházási költséghez képest a karbantartási költsége elhanyagolható így ezzel a 15.600.000 Ft-os beruházási költséggel tudunk számolni.

Ha a rendszer megtermeli a becsült villamosenergia mennyiséget évente akkor ez azt jelenti, hogy pontosan annyi bevételt hoz a rendszer amennyi a megtermelt energia ára lenne a szolgáltatótól vásárolva. Elméleti síkon számolva így egy 25 éves időszakra számolva a következő táblázatban láthatjuk az évenkénti költségét a rendszernek.

3. táblázat: Elméleti megtérülés kalkulációja

(Forrás: Saját szerkesztés)

Év	Megtermelt villamosenergia (kWh)	Villamosenergia ára	Megtermelt villamosenergia az évben	Megtermelt villamosenergia a telepítéstől összesen	Nyereség
2006	10260	33,1 Ft	339 811 Ft	339 811 Ft	-15 260 189 Ft
2007	10209	34,3 Ft	349 946 Ft	689 757 Ft	-14 910 243 Ft
2008	10158	35,5 Ft	360 383 Ft	1 050 140 Ft	-14 549 860 Ft
2009	10107	36,7 Ft	371 132 Ft	1 421 272 Ft	-14 178 728 Ft
2010	10056	38,0 Ft	382 201 Ft	1 803 473 Ft	-13 796 527 Ft
2011	10006	39,3 Ft	393 600 Ft	2 197 073 Ft	-13 402 927 Ft
2012	9956	40,7 Ft	405 339 Ft	2 602 411 Ft	-12 997 589 Ft
2013	9906	42,1 Ft	417 428 Ft	3 019 840 Ft	-12 580 160 Ft
2014	9857	43,6 Ft	429 878 Ft	3 449 717 Ft	-12 150 283 Ft
2015	9807	45,1 Ft	442 699 Ft	3 892 416 Ft	-11 707 584 Ft
2016	9758	46,7 Ft	455 903 Ft	4 348 319 Ft	-11 251 681 Ft
2017	9710	48,4 Ft	469 500 Ft	4 817 819 Ft	-10 782 181 Ft
2018	9661	50,0 Ft	483 503 Ft	5 301 321 Ft	-10 298 679 Ft
2019	9613	51,8 Ft	497 923 Ft	5 799 245 Ft	-9 800 755 Ft
2020	9565	53,6 Ft	512 774 Ft	6 312 018 Ft	-9 287 982 Ft
2021	9517	55,5 Ft	528 067 Ft	6 840 085 Ft	-8 759 915 Ft
2022	9469	57,4 Ft	543 817 Ft	7 383 902 Ft	-8 216 098 Ft
2023	9422	59,4 Ft	560 036 Ft	7 943 938 Ft	-7 656 062 Ft
2024	9375	61,5 Ft	576 739 Ft	8 520 677 Ft	-7 079 323 Ft
2025	9328	63,7 Ft	593 940 Ft	9 114 618 Ft	-6 485 382 Ft
2026	9281	65,9 Ft	611 655 Ft	9 726 272 Ft	-5 873 728 Ft
2027	9235	68,2 Ft	629 897 Ft	10 356 170 Ft	-5 243 830 Ft
2028	9189	70,6 Ft	648 684 Ft	11 004 854 Ft	-4 595 146 Ft
2029	9143	73,1 Ft	668 031 Ft	11 672 885 Ft	-3 927 115 Ft
2030	9097	75,6 Ft	687 955 Ft	12 360 840 Ft	-3 239 160 Ft

Pár fontos adat a számolással kapcsolatban, amit tisztázni kell. 2005 év végén, októberben adták át a rendszert. Erre az évre még a 2. táblázat szerint 1379 kWh termelést becsültek, ami 44.128 Forintnak felel meg. A megtérülés számításánál látni fogjuk, hogy jelentősen nem változik a végeredmény, de ezt még hozzá kell adnunk a végeredményhez. A megtermelt villamosenergia becslése 10260 kWh éves szinten, aminél figyelembe kell vennünk hosszútávon a napelemek degradációját. Számításom során 0,5%-os éves degradációval számoltam, aminek függvényében láthatjuk, a különböző évekre jutó villamosenergia termelés mértékét. A villamosenergia díja 2005-ben 29-36 Ft/kWh közé tehető, kiinduló adatom 32

Ft/kWh volt, amit egy évenkénti 3,5%-os inflációval növeltem minden évben. Megtermelt villamos energiának díját minden évben az adott évre is láthatjuk, illetve a telepítéstől kezdve összesen is. A telepítés költsége 15.600.000 Forint volt, így a táblázat utolsó oszlopában az adott év végi nyereséget láthatjuk a telepítés költsége és a bevétel különbségeként.

A 2005-ös telepítést követően 25 éves megtérülési időszakot vizsgálva láthatjuk, hogy 2030-ra a rendszer által megtermelt villamosenergia díja, annak folyamatos emelkedése mellett összesen 12.360.840 forint lenne. Erre az összegre tekinthetünk bevételként, ugyanis bár nem konkrét bevételként jelentkezik, ennyivel kevesebb lesz az a kiadásunk, amit az időszakban villamosenergiára kell fordítanunk. Ez az összeg azonban 3.239.160 Forinttal elmarad a beruházási költségtől. Ezen eredmény azt mutatja, hogy a rendszer 25 éves működési időszaka alatt nem térül meg. Ez a 25 év azért fontos, mert a gyártók általában 20-25-éves garanciát adnak a napelemekre. 2030-ra a számításom alapján a 0,5%-os degradációval 88%-os teljesítménye lesz még a napelemeknek a kezdetiekhez képest, ami véleményem szerint egy igen optimista becslés az akkori napelem technológiákhoz képest, de még ilyen csekély degradáció sem vezet arra az eredményre, hogy megtérüljön a rendszer.

Ha az időszakot kiterjesztjük, 2035-ben van az első év amikor a megtermelt villamosenergia ára meghaladja a telepítési költség árát. 2035 év végére egészen pontosan 16.120.905 forint lenne a megtermelt villamosenergia díja a kezdetektől fogva. A gond ezzel csak az, hogy itt már 30 évnél járunk, ami már nem a gyártók által adott teljesítménygarancia, hanem a termékekre adott működési garancia vége. 30 év után beszélhetünk tehát először arról, hogy élettartama alatt először nem a beruházás árát és a befektetett összegből termel vissza valamit a rendszer, hanem tényleges hasznot. Egy ilyen rendszernél a 35 év már soknak mondható, de még ebben az időszakban is arról beszélhetünk, hogy 4.880.000 Forint körül lesz a nyereségünk, amit realizálhatunk a beruházási költségeken felül, ami még mindig csak az egyharmadát teszi ki a kezdeti költségünknek 35 év után.

4.4. Valós megtérülés és hatékonyság számítás

Nézzük az elméleti megtérülés és tervezett megtérülés számolása után mennyiben tér el ettől a valós megtérülés idáig, 2005-ös működésbe helyezése után. Erről kezdeti évekből több adat elérhető a rendszer működéséről, de vannak adatok a 2013, 2014 és 2017-es évekből is. A rendszer működésén kívül vannak adatok a villamosenergia árának változásáról is ebből az időszakból, nézzük meg tehát a villamos energia árának alakulását az évek során. Különbség van lakossági és nem lakossági célú felhasználásra, illetve nem tudunk egy konkrét adattal számolni, mert a szolgáltató díja nem csak a felhasznált villamosenergia mennyiségétől függ, hanem a rendszerhasználatért is fizetnek a felhasználók, illetve az elosztói alapidíjat is meg kell fizetni. Mivel évről évre folyamatosan változott a villamosenergia ára és nem mindig ugyanannyival és nem csak emelkedett így az alább látható táblázatban foglaltam össze adatokat, amikkel számoltam. Ezek az adatok az adott időszak átlagos díjai, mivel pontos adatokat a fentebb már említett díjszabás bonyolultsága és összetettsége miatt nem tudok meghatározni, ezek az adatok nem hozzáférhetők. A folyamatos változások miatt 5 éves periódusokra szedtem a villamos energia díját és ezekkel fogok a következőkben számolni.

4. táblázat: Átlagos villamosenergia díjai különböző időintervallumokban

(Forrás: Saját szerkesztés KSH 2005-2025 adatok alapján)

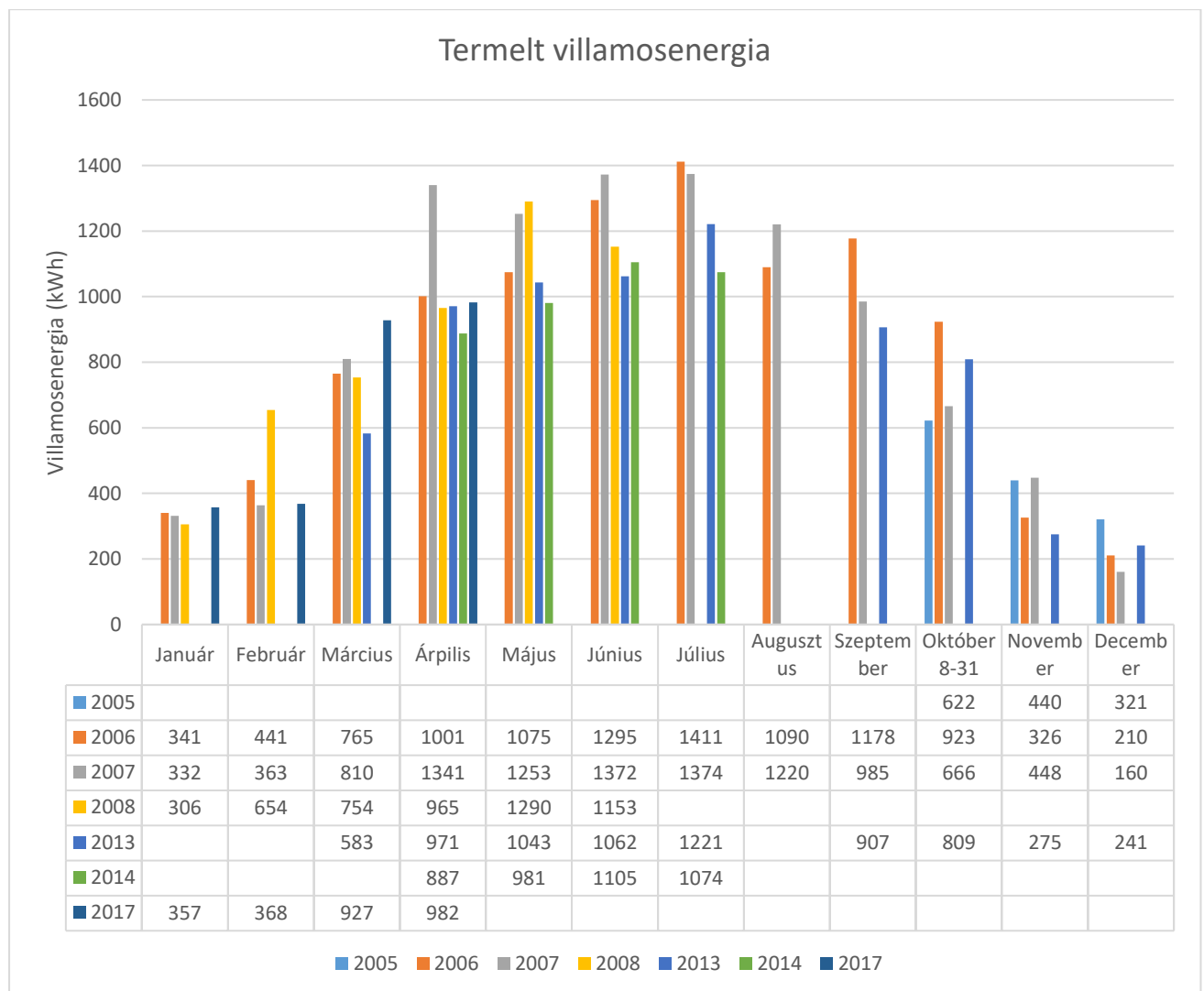
Időszak	Ft/kWh
2005–2010	32
2010–2015	42
2015–2020	50
2020–2025	65

Az elméleti megtérülés számolása során a napelem által megtermelt mennyiség volt még számított adat. A kezdeti modell meghatározása alapján 10260 kWh energia megtermelését becsülték a rendszer éves teljesítményének. Az adatok alapján tudjuk vizsgálni, hogy ez a kezdeti modell bejött-e és a telepítés helyszínéül megválasztott helyen megvalósultak-e azok a körülmények és feltételek, amik alapján ez megvalósulhatott. Másrésről az elméleti megtérülés számításakor egy szerintem igen optimális becslés szerint 0,5%-os éves degradáció mellett számoltuk az egymás követő évek energiatermelését a rendszernek. Az adatokból nem áll rendelkezésre annyi, ami szerint pontos degradációt tudunk számolni, mert ehhez nem csak

a megtermelt villamosenergia mennyiségére lenne szükség, hanem a napenergia mennyiségére és eloszlására is adott lokációban. A meglévő adatokból azonban tudunk levonni következtetéseket és össze tudjuk hasonlítani azokat a becslült adatokkal. Az alábbi táblázat és diagram segítségével láthatjuk a különböző évek hónaponkénti leosztását és az adott időszakban megtermelt villamosenergia mennyiségét.

13. ábra: Napelemes rendszer mért termelési adatai

(Forrás: Saját szerkesztés)

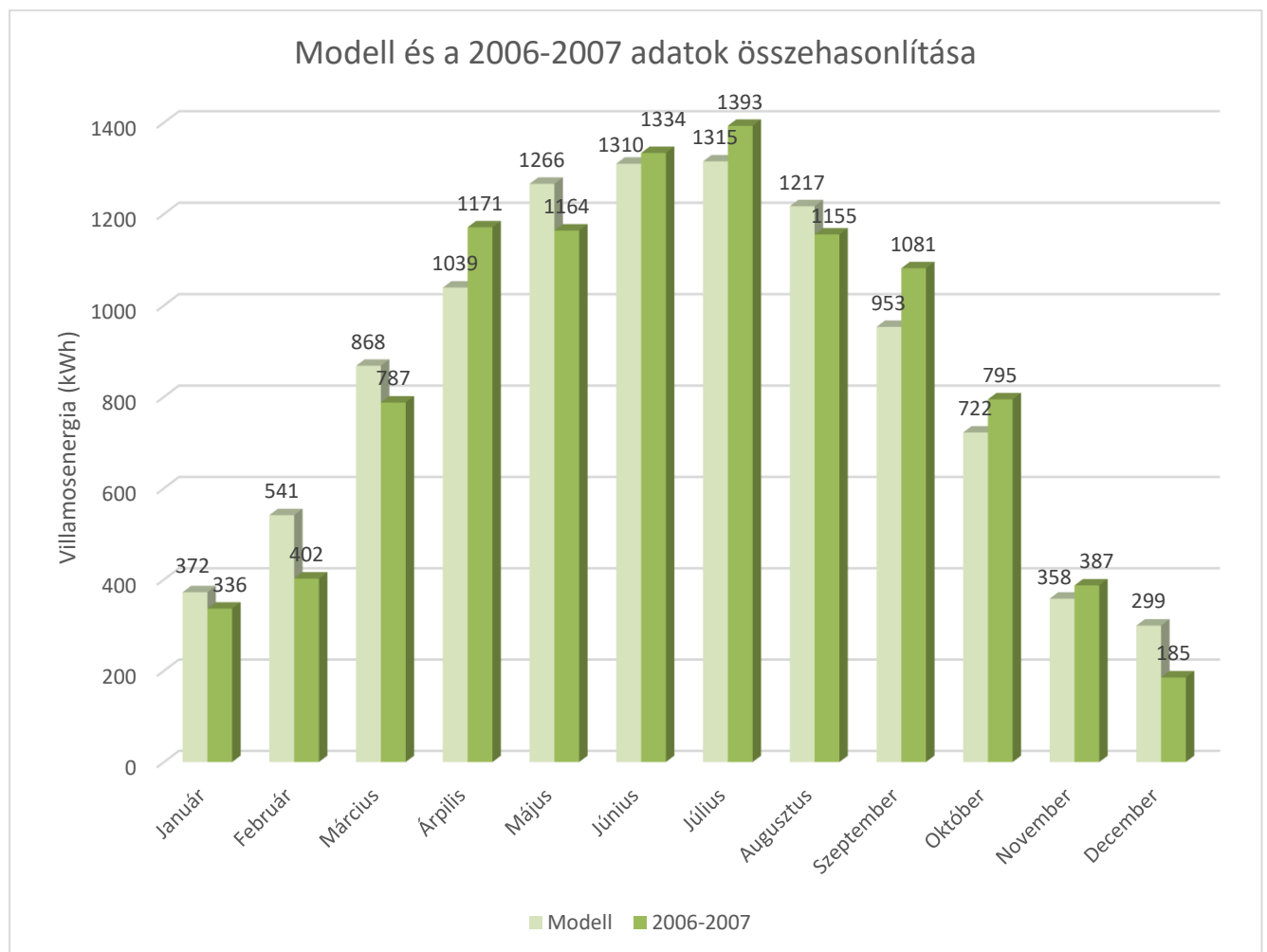


A 13. ábrán jól látható a hónapok közötti termelt villamosenergia változása. Az elmondható, hogy vannak kiugró adatok, ilyen például a 2007 áprilisi adat, vagy a 2008 februári. Ezek a kiugrások is vagy például a 2013-as márciusi negatív irányú kiugrás is a változó időjárási körülményekhez köthetőek. Azonban ezeken a kiugró adatokon kívül elmondható, hogy nincsenek akkora eltérések az adott hónapokat és különböző évek adatait vizsgálva, legalábbis olyan nincs, amit a működési tényezőkkel ne lehetne megmagyarázni, ilyen például a

degradáció. Nézzük meg még mielőtt rátérnénk a degradáció vizsgálatára, hogy mennyire tér el az előre meghatározott modell és a valóság. Az 2.táblázatban láthatjuk, mekkora volt a tervezett villamosenergia termelése hónapokra lebontva. Az első két teljes évről pontos adatok állnak rendelkezésre, így ezeket jól össze tudjuk hasonlítani az elméleti adatokkal. Azért csak az első két évet hasonlítom össze mert itt még a napelemekre vonatkozó degradáció csak nagyon kis mértékben van jelen, így az elhanyagolható mértékű a vizsgált időszakban. A következő diagram világos oszlopai a modellben meghatározott értékeket mutatja a sötétebb oszlopok pedig a 2006 és 2007-es évek pontosan mért adatainak átlagát.

14. ábra: Becsült és mért termelési adatok összehasonlítása

(Forrás: Saját szerkesztés)



A becsült villamosenergia termelés éves szinten 10260 kWh volt ezzel szemben a 2006 és 2007-es évek átlagos értékeinek összege 10190 kWh valós termelés. Ez csupán 70 kWh eltérés, ami igen csekélynek mondható ahhoz képest, hogy egy átlagos háztartás villamosenergia fogyasztása havonta 210 kWh, aminek az eltérés éves szinten csak a harmada. Ezek alapján a

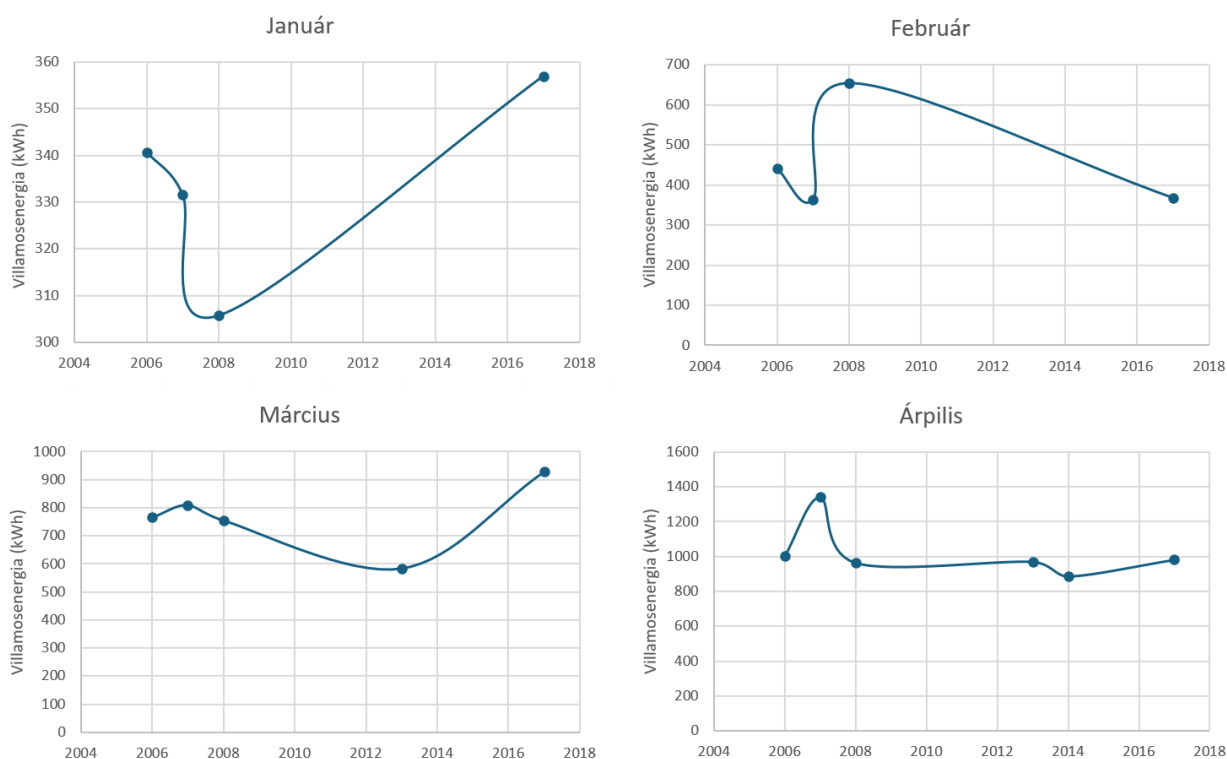
rendszer méretezése, a környezeti adottságok és a lokalizáció figyelembevételével egy nagyon pontos becslés született a rendszerről.

A becslés éves szinten jónak mondható kevés eltéréssel vizsgáljuk meg azonban jobban az eloszlást a hónapok között. Itt már megfigyelhető, hogy van olyan hónap, ahol az eltérés a becslés és a valós mért adat kétszerese az egész éves különbségnek. Míg éves szinten 70kWh van a két érték között addig csak februárban 139 kWh különbség van a modell és a valós mérés között. Februárban 139 kWh-val kevesebbet termelt a rendszer míg áprilisban pont ellenkezőleg, 132 kWh-val többet, mint azt megbecsülték. A nyári hónapokban van a legkisebb eltérés a két érték között, itt sikerült a legjobban megbecsülni hónapról hónapra a rendszer által megtermelt villamosenergia mértékét, a legnagyobb eltérések pedig télen és tavasszal látszódnak, ezeknek a hónapoknak az időjárásában nagyobb a fluktuáció. Még egy érdekes megfigyelés, a téli és a tavaszi hónapokban április kivételével mindenhol magasabb volt a becsült érték a valóstól. A nyári és őszi hónapokban pedig pont fordítva, augusztus kivételével jelentősen többet termelt a rendszer, mint azt előzetesen becsülték. Így ezen adatok alapján látható a diagrammon is némi eltolódás, elcsúszás, a téli kevésbé előnyös időszak kitart még bőven tavasszal is, cserébe a nyári előnyösebb időszak tolódik és egészen ősz végéig kitart.

Ez a becslés tehát a rendszer kezdeti időszakára pontosan bejött, jónak mondható. Van azonban a napelemeknek egy degradációs folyamata, amit nem szabad figyelmen kívül hagyni hosszú távú tervezés során. Nézzük hát meg a mért adatok alapján mit mutat a rendszer egészére.

15. ábra: Január-április hónapok évenkénti mért adatainak ábrázolása

(Forrás: Saját szerkesztés)



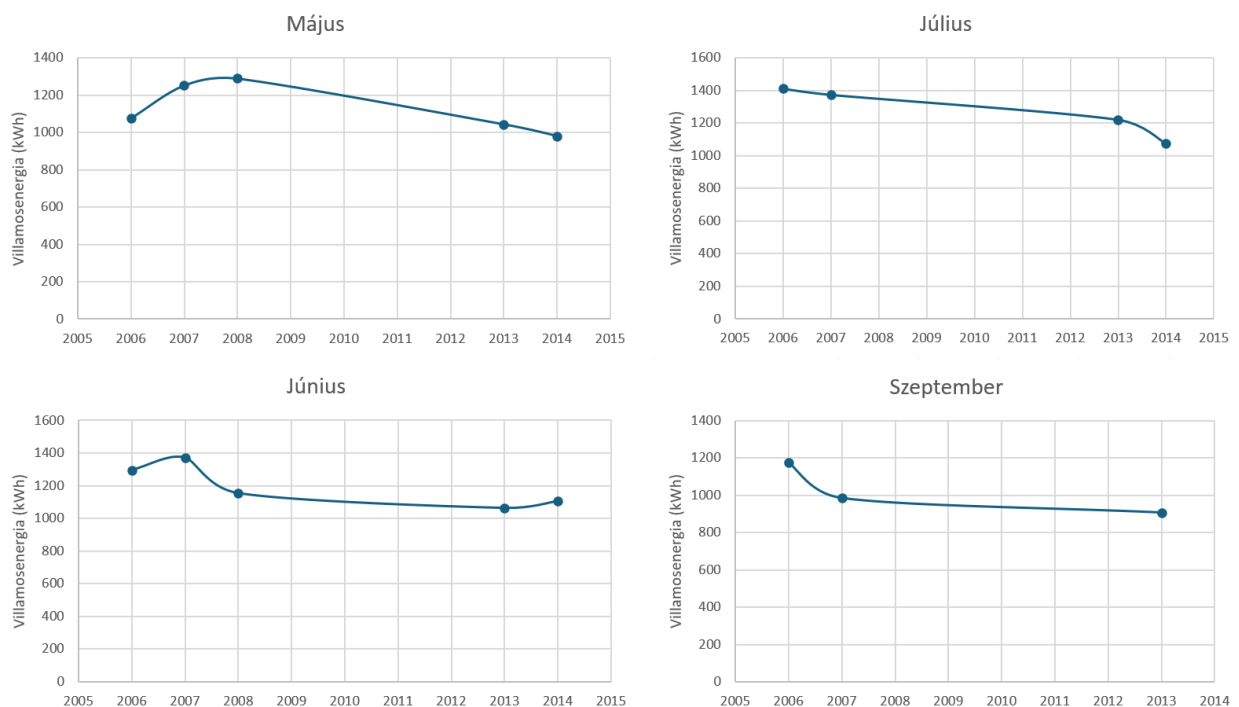
Ezen a négy diagrammon a január, február, március és április hónapok mért adatai láthatóak. 2006, 2007 és 2008-as évekből minden hónapban vannak mért adataink, később már csak 2017-ből van mindenhol pontos adatunk, emellett még 2013-ból és 2014-ből. Januárban 372 kWh volt a becsléstől, itt az első 3 adat elmarad ettől az értéktől, 2008-ban jelentősen alulmarad a termelés a becsléstől, de ezzel szemben 2017-ben a rendszer telepítése után 12. évben majdnem elérte azt. A februári mérési adatokban pont, a januárban jócskán elmaradó 2008-as mérés volt az, ami egyedülként meghaladta a becslést. Itt a 2017-es adat alig tér el a 2006 és 2007-ben mért adatoktól. Márciusban Az első évek mérései ugyan csak elmaradnak a becsléstől, de a 2017-es évben itt is egy kiugró adatot láthatunk. Áprilisban megint csak egy kiugró adatot láthatunk 2007-ből éppenséggel, ami még a becslést is jócskán meghaladja. A többi mérés ebben a hónapban alig tér el egymástól. Mire is tudunk ezekből az adatokból következtetni a rendszerrel kapcsolatban? Nagyon jó kérdés, a válasz gyakorlatilag az, hogy egyértelműen semmire. Az egyetlen következtetés, amit biztosan levonhatunk, hogy a tavaszi időjárás szeszélyes, változékony és kiszámíthatatlan.

Lehet az időjárás a -4°C , -2°C -tól a 25°C - 28°C -os, lehet az egész nap derűs, napos időjárástól a jelentős mennyiségű csapadékon át a havazásig lényegében bármi. Ezekben a hónapokban volt a becsült villamosenergia termelés és a valós adatok között a legnagyobb különbség, ez a legkiszámíthatatlanabb időszak. Láthatjuk, hogy míg 2008 januárjában a mért adat negatív irányban a legnagyobb kitérésű addig a következő hónapban, azaz februárban ugyan úgy a legkirúgóbb csak éppenséggel itt pozitív irányba. Ezekből az adatokból tehát nem tudunk a napelemes rendszer teljesítmény változására következtetni, ugyanis ebben az időszakában az évnél az időjárásban sokkal nagyobb kilengések és eltérések vannak, amik befolyásolják a termelt villamosenergia mérését.

Nézzük hát meg a következő hónapokat amikor a modell alapján becsült és mért adatok a legközelebb voltak egymáshoz és a legkevesebb kiugró adat volt.

16. ábra: Május-szeptember hónapok évenkénti mért adatainak ábrázolása

(Forrás: Saját szerkesztés)



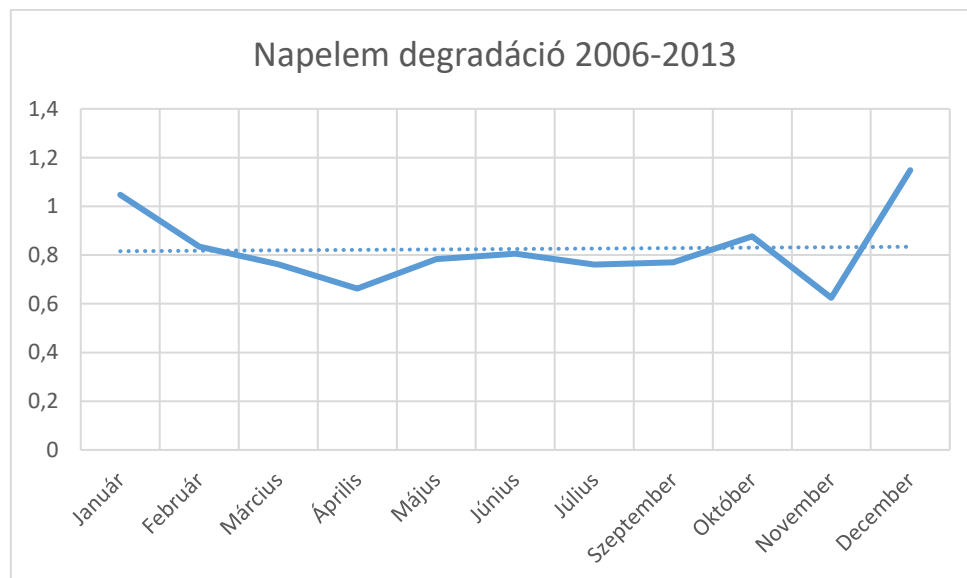
Ezeknél a diagrammoknál már sokkal egyértelműbbnek látszik a helyzet. Ellentétben az előbbi négy diagrammal szemben itt nincsenek nagy kiugrások, itt sokkal jobban hasonlítanak egymásra is a diagrammok, és kisebb az adatok szórása is. Az augusztusi hónap azért maradt ki ebből az elemzésből, mert ebből a hónapból csupán csak kettő mért adatunk van és az is a rendszer telepítését követő kettő évben. Nézzük hát mit láthatunk és mire következtethetünk ezekből az adatokból. Májusban és júniusban is ugyan az látható kezdetben, 2006 után 2007-

ben növekedett a valós termelt villamosenergia mennyisége, azonban 2008-ra májusban stagnált míg júniusban már visszaesés látható. Júliust és szeptembert vizsgálva, illetve az előbbieken már említett két hónapot hosszabb távon látható mindegyik diagrammon a folyamatos csökkenés. A visszaesés nem tűnik drasztikusnak nincsenek kiugró értékek sem pozitív sem negatív irányba csupán egy egyenletes és folyamatos csökkenés. Ezeknek a hónapoknak az időjárási körülményei már kevésbé kiszámíthatatlanok, nincsenek olyan nagy kilengések egy egyenletes időjárás jellemző, ha van is kilengés, mint a nyári záporok, gyorsan jönnek gyorsan mennek. Ezekből az adatokból már érdemes következtetéseket levonni és akár hosszabb távú tendenciákat is megfigyelni.

A következtetések pontosabb levonása érdekében készítettem egy diagrammot, ahol nem csak ezt a 8 hónapot emelem ki, hanem augusztus kivételével az összeset, mivel már említettem augusztusból csak az első két évben van mért adatunk így az ennél az elemzésnél nem tekinthető releváns adatnak. A következő ábrán a mért adatok egymáshoz való viszonyítását láthatjuk 2006-os és 2013-as évben mért adatok alapján. A diagram függőleges tengelyén mértékegység nélküli viszonyszám mutatja az adott hónapban a korábbi, illetve későbbi adatok kapcsolatát.

17. ábra: Napelem degradáció 2006-2013 között

(Forrás: Saját szerkesztés)



Ahogy a modell és a mért adatok összehasonlításánál már elemeztük, a téli és tavaszi hónapok voltak a legkiszámíthatatlanabbak. Ezen a diagrammon is látható, hogy az behúzott trendvonaltól jelentősen a téli hónapok értékei térnek csak el. Ha az értékek teljes átlagát

nézzük akkor 0,825 a viszonyszám, amit kapunk, ha a két legjobban eltérő értéket pozitív és negatív irányba elvesszük ebből a listából akkor is 0,811 ez a viszonyszám. Ha a trendvonalról legkevésbé eltérő adatok átlagát nézzük akkor viszont 0,799-et kapunk. Ezek a viszonyszámok nem mások, mint a napelemes rendszerünk hatásfoka a kezdeti 2006-os és a 2013-as mért adatok alapján. Fontos kihangsúlyozni, hogy ezek nem a napelemes cellák hatásfokaival egyenlőek, azok ettől jelentősen eltérnek, ez csupán a rendszer kezdeti teljesítményének vizsgálata a 7 évvel későbbi állapotával összehasonlítva. Így ebben a relatív hatásfok számításnál a 2006-os kiinduló adatokra tekintünk, mint kiinduló teljesítmény. Ezzel a relatív teljesítménytartás vizsgálattal meg tudjuk állapítani a napelemes rendszerünk teljesítménycsökkenését azaz degradációját. Ha a két szélső értéket kivesszük az adatokból akkor a 0,811-es arányszámot kapjuk, ami azt jelenti a rendszerünk relatív hatásfoka 81,1% 2013-ban a kezdeti rendszerhez képest.

Degradáció számítás:

$$\text{Kezdeti érték: } P_0 = 100\%$$

$$7 \text{ év múlva: } P_7 = 81,1\%$$

$$\text{Éves degradáció} = d$$

$$\frac{P_7}{P_0} = (1 - d)^7$$

$$0,811 = (1 - d)^7$$

$$0,811^{\frac{1}{7}} = 1 - d$$

$$d = 1 - 0,811^{\frac{1}{7}}$$

$$d = 0,02948$$

Éves degradáció tehát körülbelül:

$$d \approx 2,95\%$$

Ez a degradáció jelentősen eltér tehát ahhoz képest, amivel az elméleti megtérülésnél számoltam, sokkal rosszabb a helyzet a valóságban, mint arra következtetni lehetett.

A számolt degradációt ellenőrizni tudjuk az első pár év adatainak összehasonlításával.

5. táblázat: Napelemes rendszer termelésének becsült és mért adatai

(Forrás: Saját szerkesztés, Gép, 2011 adatok alapján)

Év	Modell (kWh)	Mért (kWh)
2006	10260	10053
2007	9957	10325
2008	9664	9522
2009	9379	9601
2006-2009	39260	39501

A táblázat középső oszlopában a modell alapján meghatározott kezdeti energiatermelés mennyiséget láthatjuk évenként csökkentve azt a számolt degradáció mértékével. A jobb oldali oszlopban a pontos, mért adatokat láthatjuk a különböző években. A teljes vizsgált időszak összegzéséből elmondható, hogy az adott évek becsült és mért adatai között van különbség, de ez inkább az időjárási és egyéb viszonyoknak köszönhető. A teljes időszakra vetítve az eltérés az összegekben 241 kWh. Ennyivel termelt többet a rendszer a valós mérések alapján a becsült modell alapján. Ez az eltérés csupán 0,6% a teljes időtartamra vetítve így a számolt degradációs értéket használom a további időszak becsülésére is.

A degradáció mértékének meghatározása után, mivel a villamos energia árakat már a feljebb összefoglalt táblázatban ismertettem így megnézhetjük a rendszer valós megtérülésének mértékét. Mivel a telepítés beruházási költsége nem változott ugyan azzal a módszerrel tudjuk meghatározni most is a megtérülést csak a valóságnak jobban megfelelő adatokkal számolva. A táblázatot kiegészítem az elméleti megtérülésnél számolt nyereség oszlopával, a két számítás minél egyszerűbb összehasonlítása érdekében.

6. táblázat: Valós megtérülés kalkulációja

(Forrás: Saját szerkesztés)

Év	Megtermelt villamosenergia (kWh)	Villamos energia ára	Megtermelt villamos energia az évben	Megtermelt villamos energia a telepítéstől összesen	Valós nyereség	Elméleti nyereség
2006	10260	32,0 Ft	328 320 Ft	328 320 Ft	-15 271 680 Ft	-15 260 189 Ft
2007	9957	32,0 Ft	318 635 Ft	646 955 Ft	-14 953 045 Ft	-14 910 243 Ft
2008	9664	32,0 Ft	309 235 Ft	956 189 Ft	-14 643 811 Ft	-14 549 860 Ft
2009	9379	32,0 Ft	300 112 Ft	1 256 302 Ft	-14 343 698 Ft	-14 178 728 Ft
2010	9102	42,0 Ft	382 278 Ft	1 638 579 Ft	-13 961 421 Ft	-13 796 527 Ft
2011	8833	42,0 Ft	371 000 Ft	2 009 580 Ft	-13 590 420 Ft	-13 402 927 Ft
2012	8573	42,0 Ft	360 056 Ft	2 369 636 Ft	-13 230 364 Ft	-12 997 589 Ft
2013	8320	42,0 Ft	349 434 Ft	2 719 070 Ft	-12 880 930 Ft	-12 580 160 Ft
2014	8074	42,0 Ft	339 126 Ft	3 058 196 Ft	-12 541 804 Ft	-12 150 283 Ft
2015	7836	50,0 Ft	391 812 Ft	3 450 007 Ft	-12 149 993 Ft	-11 707 584 Ft
2016	7605	50,0 Ft	380 253 Ft	3 830 260 Ft	-11 769 740 Ft	-11 251 681 Ft
2017	7381	50,0 Ft	369 036 Ft	4 199 296 Ft	-11 400 704 Ft	-10 782 181 Ft
2018	7163	50,0 Ft	358 149 Ft	4 557 445 Ft	-11 042 555 Ft	-10 298 679 Ft
2019	6952	50,0 Ft	347 584 Ft	4 905 029 Ft	-10 694 971 Ft	-9 800 755 Ft
2020	6747	65,0 Ft	438 529 Ft	5 343 558 Ft	-10 256 442 Ft	-9 287 982 Ft
2021	6548	65,0 Ft	425 592 Ft	5 769 150 Ft	-9 830 850 Ft	-8 759 915 Ft
2022	6354	65,0 Ft	413 037 Ft	6 182 187 Ft	-9 417 813 Ft	-8 216 098 Ft
2023	6167	65,0 Ft	400 853 Ft	6 583 040 Ft	-9 016 960 Ft	-7 656 062 Ft
2024	5985	65,0 Ft	389 028 Ft	6 972 068 Ft	-8 627 932 Ft	-7 079 323 Ft
2025	5808	65,0 Ft	377 551 Ft	7 349 619 Ft	-8 250 381 Ft	-6 485 382 Ft
2026	5637	82,0 Ft	462 245 Ft	7 811 864 Ft	-7 788 136 Ft	-5 873 728 Ft
2027	5471	82,0 Ft	448 609 Ft	8 260 472 Ft	-7 339 528 Ft	-5 243 830 Ft
2028	5309	82,0 Ft	435 375 Ft	8 695 847 Ft	-6 904 153 Ft	-4 595 146 Ft
2029	5153	82,0 Ft	422 531 Ft	9 118 378 Ft	-6 481 622 Ft	-3 927 115 Ft
2030	5001	104,0 Ft	520 084 Ft	9 638 462 Ft	-5 961 538 Ft	-3 239 160 Ft
2035	4305	132,0 Ft	568 319 Ft	12 138 153 Ft	-3 461 847 Ft	520 905 Ft
2040	3707	168,0 Ft	622 737 Ft	14 871 384 Ft	-728 616 Ft	4 876 149 Ft

A számításból látszódik és ki is emeltem, nincs nyereség a rendszer használata során 2040-ig. ennél a számításnál már a valós kiszámított degradációval számoltam a megtermelt villamos energia mennyiségét, a villamos energia árát 2025-ig bezárólag a valós adatok alapján számoltam, a következő időszakra pedig az eddigi tendencia alapján egy becsült értékkel 5 éves periódusokban. A villamosenergia árának folyamatos növekedése miatt a megtermelt villamosenergia ára évről évre nő annak ellenére, hogy a degradáció következtében becslések

szerint 2029-2030 környékére kezdeti teljesítményének felét elveszíti és a megtermelt villamosenergia mennyisége a felére csökken. Ez az adat azért is megdöbbentő, mert a 2005-ös üzembe helyezéshez képest a 2030-as évben a rendszer 25-éves évfordulóját íránk amire a mai rendszerek még gyártói teljesítménygaranciát kapnak. Hosszabb távon vizsgálva elmondható azonban, hogy az elméleti számításokkal ellentétben itt sem 2035-ben de még 2040-ben sem termelne valós nyereséget a rendszer. 2040-re mire a rendszer már 35 éves lenne még mindig 728.616 Forinttal elmaradna a megtermelt bevétel a kezdeti kiadásoktól. ezen számítás szerint 2042 lenne az első év amikor a rendszer a bekerülési árán felül tényleges hasznot termelne.

Megtérülésről tehát a rendszer esetében nem nagyon beszélhetünk, de ez a korai rendszereknél rendszerint így tapasztalható. Nagyon drágának számított még 2005-ben ez a napelemes technológia a mai árakhoz képest. Nem volt még ekkora piaca, mint ma, nem volt ennyi gyártó. Komoly áresés jelentkezett a piacon mikor bejöttek az olcsóbb de jó minőségű távol-keleti, Kínai Japán, Dél-Koreai napelemeket gyártó cégek az európai piacra. 2005-ben még csak a drágább német, illetve magyar napelemek voltak elérhetőek a piacon számunkra. A napelemek ára másrészt a kereslet növekedésével kezdett csökkenni, nagyobb kereslet nagyobb kínálat, nagyobb gyártási kapacitás olcsóbb termék jellemezte a piacot. A nagy kereslet mellett a gyártási technológiákban is nagy változások történtek sokkal olcsóbb lett a napelemek gyártása a kezdetekhez képest, és sokkal jobb hatásfokú napelemeket gyártnak ma már. Tehát ha csak a beruházás költségét vizsgáljuk akkor elmondható, hogy nem térül meg élethossza alatt a rendszer nagy valószínűséggel. Mivel ennek ellenére a beruházást európai uniós, és hazai támogatásból finanszírozták így az egyetem számára már az első hónapokban nyereséget termelt a rendszer, ugyanis az akkor megtermelt villamosenergiát már nem a hálózathoz kellett vételezni, ezzel csökkentve a díjakat a szolgáltatóval szemben. 2025 év végéig a kalkuláció szerint 7.349.619 Forinttal csökkentette a rendszer a villamos energia díjakat az egyetem számára. De, ami ennél is talán fontosabb, hogy 156.707 kWh áramot termelt meg a rendszer és ennyivel kevesebb áramot használt fel a hálózati forrásból kiváltva azt teljesen zöld, megújuló energiával. Ez a megújuló energia használata pedig 51498 kg CO₂ kibocsátással csökkentette és védte meg a környezetünket itt helyben.

5 KORSZERŰSÍTÉS VIZSGÁLATA

Megéri-e korszerűsíteni a rendszert? Térjünk is rá, a kérdésre, hogy a jelenlegi rendszert hagyjuk továbbra is működni, vagy le lehetne cserélni már egy újabb modernebb rendszerre. A jelenlegi rendszerél is végeztünk feljebb elméleti megtérülésről számítást, illetve itt van 20 évnyi működés már a rendszer életében vannak adataink ezek alapján tudtuk vizsgálni, mennyiben tér el az elméleti és a gyakorlati példa egymástól. A gyakorlati számítások végeredménye véleményem szerint rosszabb lett a vártnál, nem számítottam rá, hogy már nyereséges a rendszer, de arra sem, hogy 37 év után lesz az első év amikor a nyereségünk pozitívvá vált.

Korszerűsíteni tehát szerintem megérné a rendszert, így előzetes véleményem alapján, Ha meghibásodás nélkül el is jut a rendszer minden eleme a 37 év működésig már igen nagy a kockázat és az esély arra, hogy bármelyik pillanatban élettartama végéhez érjen. Másrészt a rendszer teljesítménye a kiinduló teljesítményének már csak az egyharmadát érne el, amellett, hogy a kezdeti hatásfoka is a korai technológia miatt amúgy is korlátozott a mai modern technológiákhoz képest.

5.1. Mai modern rendszerek összehasonlítása az eredetivel

Dolgozatom elkészítése során, az volt a célom, hogy megvizsgáljam és összehasonlítsam mit tudnak a mai modern rendszerek így 20 évvel később a már meglévő technológiával szemben. Tervezés során arra törekedtem, hogy egy ugyan ilyen rendszert hasonlítsak a meglévőhöz képest. Mivel a most is működő rendszer tervezési adatai megvoltak, a jelenlegi rendszert is ezek alapján készítettem elő. Több ajánlat bekérése és összehasonlítása után, A Tiszta Energia KFT. által adott ajánlat volt, ami a mellékletben megtalálható, ami a legjobb ár-érték arányban győzött. Ebben a rendszerben ugyan úgy, mint az eredetnél 3 alrendszer kerülne kiépítésre, Névleges teljesítménye egy alrendszernek 3,54 kWp. Az eltérés annyi, hogy itt a három alrendszer nem különbözik egymástól, ugyan olyan típusú napelem panelok ugyan olyan darabszámban és ugyan olyan inverter alkotja a három alrendszert.

A napelemek közül a DAS Solar 505Wp-os napelemére jutott a választás. Ez a napelem egy monokristályos napelem, melynek névleges teljesítménye 505 W. Méreteit tekintve jóval nagyobbak ezek a napelemek mint bármelyik típus, ami jelenlegi rendszerben beépítésre került. 1994x1134x30 mm-es mérettel rendelkezik egy panel, melyen hatalmas méretének

köszönhetően 108 cella található. A napelem adatlapja megtalálható a mellékletek között minden egyéb fontos adattal együtt. 505 Wp-os névleges teljesítményének köszönhetően elmondható, hogy egyetlen napelem modul is jelentős energiahozamot tud biztosítani. Hatékonysága szépen tükrözi azt, hova is jutott el a mai technológia a fejlődések során. Egészen kiemelkedő 22,5%-os hatékonyság is elérhető. És ez a magas hatékonyság még nem minden, ami a napelem mellett szól, prémium minőségű napelemről beszélünk amire a gyártó 15 év termékgaranciát vállal, de ami ennél is fontosabb az a teljesítménygarancia. Erre a napelemre a gyártó 30 éves teljesítménygaranciát vállal, garantálva ezzel, a napelem csekély degradációját. De nézzük mit is vállal a gyártó a teljesítmény megtartására a napelemnek. Az első évben 1% degradációt vállal inntől kezdve viszont évente 0,4%-os degradációt garantál és ezt ráadásul 30 éven keresztül lineáris teljesítménycsökkenéssel. Ez számokban azt jelenti, hogy 25 év után 89,4% míg 30 év után 87,4%-os teljesítmény garanciát vállal rá a gyártó. Elmondható, hogy ezekkel a mai modern napelemekkel már lehet igazán hosszútávra tervezni, minimális degradációval és mellette nagy teljesítménnyel.

Összehasonlítva ezt a napelemet a meglévő rendszer ASE100 típusú napelemével is igen szembetűnő különbséget láthatunk, persze nem csoda, a két technológia között 20 év van.

Teljesítményükben megjelenő különbség egészen elképesztő, a 105Wp-es teljesítmény az egyik oldalon az ASE100 típusnál, míg a másik oldalon 505 Wp-es teljesítmény a DAS Solar napeleménél. Ez a majd ötszörös teljesítmény nem teljesen igaz azonban, méretbeli különbségek vannak a napelemek között. Az előbbi típusnál a napelem felülete nem éri el az egy négyzetmétert, míg az utóbbi esetében a felülete meghaladja a kettő négyzetmétert. Fajlagosan összehasonlítva, egy négyzetméterre jutó teljesítményüket a következő eredményt kapjuk. 127 Wp/m^2 az ASE100 típusnál, míg 223 Wp/m^2 a DAS Solar napelemnél. Mivel ez mindkét esetben ugyan akkora felületre jutó teljesítmény elmondhatjuk, ez mind a technológia fejlődésének köszönhető, és ekkora volt a fejlődés a 20 év alatt.

5.2.1. Modern rendszer teljesítmény számolás

A modern rendszer ugyan úgy három alrendszerből állna, mint a jelenlegi, ezek azonban egymással teljes mértékben megegyeznének. A napelemeket a DAS Solar 505Wp-es napelemei adnák a rendszernek. Egy alrendszerbe 7 db napelem kerülne minden alrendszerbe a 7 napelemhez egy Solinteg MHT-5K-25 típusú inverter. Ezeknek az eszközöknek a segítségével a mostanihoz egészen hasonló 3,54 kWp-es névleges teljesítményt tudna elérni a

rendszer. Éves szinten a várható hozama egy alrendszernek a jelenlegi adottságokkal kalkulálva 3712 kWh/év lenne. A Solinteg MHT-5K-25 típusú inverter egy modern hibrid inverter, 98,2%-os maximális hatékonyságával, széles feszültségtartománnyal, 10 év garanciával és modern kommunikációs készségekkel a jobb átláthatóság és monitorozás érdekében.

Az egész rendszer így tehát a következő elemekből állna és a következő teljesítménnyel rendelkezne:

- Napelemek száma: 21 db
- Inverterek száma: 3
- Alrendszerek száma: 3
- Napelemek alrendszerenként: 7 db
- Inverterek alrendszerenként: 1 db
- Egy napelem U_{mpp} (munkaponti feszültség): 36,13 V
- Egy napelem I_{mpp} (munkaponti áramerősség): 13,98 A

1. Egy alrendszer feszültsége: $U_{AR} = 7 \times 36,13 \text{ V} = 252,91 \text{ V}$

2. Egy alrendszer áramerőssége: $I_{AR} = 13,98 \text{ A}$

3. Egy alrendszer teljesítménye: $P_{AR} = U_{AR} \times I_{AR} = 252,91 \text{ V} \times 13,98 \text{ A} = 3535,68 \text{ Wp} = 3,54 \text{ kWp}$

4. Egész rendszer teljesítménye: $P_{össz} = 3 \times P_{AR} = 3 \times 3535,68 \text{ Wp} = 10607,05 \text{ Wp} = 10,61 \text{ kWp}$

Láthatjuk, hogy a jelenlegi rendszer névleges összteljesítménye 9,5 kWp, míg a modern rendszer ezzel szemben 10,6kWp-es névleges teljesítménnyel rendelkezne. Mindezt úgy lehetne elérni, hogy az eredeti 186 darab napelem helyett csak 21 darab napelemről és az eredeti 149 m² teljes felület helyett mindössze 47,46 m² felületről beszélünk.

5.2.2. Modern rendszer megtérülése

Ugyan azzal a módszerrel, mint ahogy már korábban tettük ezt az egyetemi rendszer elméleti megtérülésének számításánál dolgozunk most is. Kiinduló adatunk a villamos energiatermelés szempontjából, 11136 kWh/év, ami a jelenlegi rendszer adottságaival és adataival lett kalkulálva. Ezt az értéket csökkentettem évről évre a gyártó által vállalt lineáris degradáció mértékével. A villamos energia árát csak úgy, mint a korábbi számításnál is egy éves 3%-os növekedéssel becsültem meg. A becsült nyereségünk kiszámításához szükségünk van a rendszer telepítésének költségére. Ez az összeg az árajánlat szerint, amit a Tiszta Energia KFT. adott 1.727.200 Ft alrendszerenként, azaz a teljes rendszer telepítése napelemekkel, inverterekkel, kivitelezéssel, engedélyeztetéssel, villanyszereléshez szükséges anyagokkal, tartószerkezettel és üzembe helyezéssel együtt bruttó 5.181.600 Ft. A becsült nyereségünket csak úgy, mint az előzőekben a bevételünkből, ami jelen esetben az adott évben megtermelt villamosenergia díja és a kezdeti kiadásunk különbségéből jön ki.

7. táblázat: Korszerű rendszer elméleti megtérülés kalkulációja

(Forrás: Saját szerkesztés)

Év	Megtermelt villamosenergia (kWh)	Villamos energia ára	Megtermelt villamos energia az évben	Megtermelt villamos energia a telepítéstől összesen	Becsült nyereség
2026	11025	67,0 Ft	738 100 Ft	738 100 Ft	-4 443 500 Ft
2027	10978	69,0 Ft	757 004 Ft	1 495 104 Ft	-3 686 496 Ft
2028	10931	71,0 Ft	776 393 Ft	2 271 496 Ft	-2 910 104 Ft
2029	10884	73,2 Ft	796 278 Ft	3 067 774 Ft	-2 113 826 Ft
2030	10838	75,4 Ft	816 672 Ft	3 884 446 Ft	-1 297 154 Ft
2031	10792	77,6 Ft	837 589 Ft	4 722 035 Ft	-459 565 Ft
2032	10746	79,9 Ft	859 041 Ft	5 581 076 Ft	399 476 Ft
2033	10700	82,3 Ft	881 043 Ft	6 462 119 Ft	1 280 519 Ft
2034	10654	84,8 Ft	903 609 Ft	7 365 728 Ft	2 184 128 Ft
2035	10609	87,4 Ft	926 752 Ft	8 292 480 Ft	3 110 880 Ft
2036	10564	90,0 Ft	950 488 Ft	9 242 969 Ft	4 061 369 Ft
2037	10519	92,7 Ft	974 832 Ft	10 217 801 Ft	5 036 201 Ft
2038	10474	95,5 Ft	999 800 Ft	11 217 601 Ft	6 036 001 Ft
2039	10429	98,3 Ft	1 025 407 Ft	12 243 008 Ft	7 061 408 Ft
2040	10385	101,3 Ft	1 051 670 Ft	13 294 678 Ft	8 113 078 Ft
2041	10341	104,3 Ft	1 078 606 Ft	14 373 284 Ft	9 191 684 Ft
2042	10297	107,4 Ft	1 106 231 Ft	15 479 515 Ft	10 297 915 Ft
2043	10253	110,7 Ft	1 134 564 Ft	16 614 079 Ft	11 432 479 Ft
2044	10209	114,0 Ft	1 163 623 Ft	17 777 702 Ft	12 596 102 Ft
2045	10166	117,4 Ft	1 193 426 Ft	18 971 127 Ft	13 789 527 Ft
2046	10122	120,9 Ft	1 223 992 Ft	20 195 119 Ft	15 013 519 Ft
2047	10079	124,5 Ft	1 255 341 Ft	21 450 460 Ft	16 268 860 Ft
2048	10036	128,3 Ft	1 287 493 Ft	22 737 954 Ft	17 556 354 Ft
2049	9994	132,1 Ft	1 320 469 Ft	24 058 422 Ft	18 876 822 Ft
2050	9951	136,1 Ft	1 354 289 Ft	25 412 711 Ft	20 231 111 Ft
2051	9909	140,2 Ft	1 388 975 Ft	26 801 686 Ft	21 620 086 Ft
2052	9866	144,4 Ft	1 424 550 Ft	28 226 236 Ft	23 044 636 Ft
2053	9824	148,7 Ft	1 461 036 Ft	29 687 272 Ft	24 505 672 Ft
2054	9783	153,2 Ft	1 498 456 Ft	31 185 727 Ft	26 004 127 Ft
2055	9741	157,8 Ft	1 536 835 Ft	32 722 562 Ft	27 540 962 Ft

A táblázatból látható, a hetedik év lenne az első év amikor már tényleges nyereséget termel a rendszer. Mivel a gyártó 30 éves garanciát adott a napelemek teljesítményére, így 30 éves vizsgált időszak végén az adott garanciális degradációs szint elérésével is elmondható, hogy a rendszer a beruházási költségének több mint hatszorosának megfelelő értékű áramot állít elő. Ezeknél a mai modern rendszereknél már nem kérdés, hogy megtérülnek-e vagy nem csupán

az, hogy mikor és mennyi idő alatt. Természetesen az, hogy a gyártó 30 éves teljesítménygaranciát vállal a napelemekre, még nem azt jelenti, hogy az egész rendszer hibamentesen fog üzemelni ennyi időt. Időközi meghibásodással az előzőekben sem számoltunk, de ennél a rendszernél azért bátran elmondható, hogy termel annyi nyereséget, amiből bőven kijön akár 20 év után a komplett rendszer cseréje.

Megtérülés szempontjából nem mindegy, hogy arról beszélünk, hogy a rendszer a befektetett összeget 7 év alatt hozza-e vissza vagy a jelenlegi rendszer megtérülése esetén valamikor 37 év után. Ez a nagy különbség a kettő rendszer megtérülése között a technológia fejlődése az napelemes rendszerek árának csökkenése és a villamos energia növekedésének köszönhető.

6. EREDMÉNYEK

A kapott eredmények részben megfeleltek az előzetes várakozásoknak, ugyanakkor akadtak közöttük meglepőek is. Az, hogy egy modern rendszer megtérülése az élettartamához képest ennyire rövid nem annyira meglepő mit az, hogy a 2005-ös rendszer valószínűleg élethossza alatt nem térül meg. Nézzük tehát az eredményeket összehasonlítva egymással. A jelenleg használt rendszer elméleti megtérülése sem hozott már kimagasló eredményt, 25 éves vizsgált időszakban a megtermelt villamosenergiából nem hozza vissza a saját árát. A rendszer által megtermelt villamosenergia árával számolva 30 év elteltével egyezik meg a beruházási költség és a termelt villamosenergia díja, ami igencsak hosszú idő. A 30 éves működése után már a beruházási árán felül termeli a nyereséget itt azonban ezeknél a technológiáknál felmerül a kérdés mekkora lesz az élettartamuk. 30-35 éves működése után magának a rendszernek és a napelemeknek már nem lesz jelentős fennmaradó értéke.

A gyakorlati megtérülése a jelenlegi rendszernek a becslésektől elmaradnak jócskán. A kezdetben megbecsült villamosenergia termelésének mértéke azt gondolom a mérések alapján kielégítő volt, az időjárás figyelembevételével elmondható, hogy a rendszer nagyjából hozta azt a szintet, amit előre a helyi adottságok alapján megbecsültek. A degradációt vizsgálva viszont, elmaradt a várt eredményektől. Vizsgálva a különböző évek mérési adatait, amik rendelkezésre állnak a számítások alapján egy 2,95%-os éves degradációról beszélhetünk, ami jelentősnek mondható. Ilyen degradációval komoly teljesítményvesztéssel jár a rendszer évről évre való működése. Ezekkel a valóságokon alapuló adatokkal újrakalkulálva a megtérülését a rendszernek elmondható, hogy rosszabb a helyzet még az elméleti megtérülésnél is. Ezen adatok alapján elmondható, hogy a rendszer nem fogja visszahozni árát még 35 év után sem. Valamikor a 37 működési évében lesz az első, hogy legalább a saját árát kitermeli. Nem lehet ennél pontosabb adatot mondani, mert már most, hogy 20 év eltelt is komoly teljesítménycsökkenés látható, és még 17 évnek el kéne telnie a jelenlegi állapotától.

A technológia fejlődése az, amivel nem tudja felvenni a versenyt. Ma már a modern rendszerek nem csak, hogy sokkal nagyobb hatékonysággal és nagyobb teljesítményre képesek, de olcsóbbak is. Azzal együtt, hogy a teljesítményük egyre javult az árak ellentétesen, csökkenni kezdett a széles körben elterjedt felhasználásuk miatt. A mai modern rendszernél csak elméleti kalkuláció van arról, mekkora teljesítménnyel milyen hatékonysággal fog működni, erről majd ugyan úgy 20 év működés után lehetne egy hasonló vizsgálatot csinálni, bejött-e az, amit becsültünk és amivel kalkuláltunk. Mindenesetre az biztos, ha el is tér majd a valóság az

elmélettől, akkor is teljesen más képet kapunk már a modern rendszernél. Az eredmények alapján elmondható, itt nem az a kérdés, hogy élethossza alatt megtermeli-e a rendszer a bekerülési árát, hanem hogy hányszor. A mai modern napelemekre a gyártók már 20-25 év termékgarancia mellett, 20 évnyi teljesítménygaranciát is adnak. Ezzel garantálva azt, hogy a degradáció mértéke a termékénél nem lesz olyan jelentős, mint ahogy azt a jelenlegi rendszernél fentebb kifejtettem. A választott típusú napelemre a gyártó az első évben 1%-os degradációs értéket adott meg, az azt követő évekre azonban 0,4%-os éves degradációt, mindezt lineárisan. Ennek köszönhetően a gyártótól garanciát kapunk arra, hogy 25 éves működése után a napelemünk még mindig 89,4%-os hatékonysággal fog működni. Ezekkel az eredményekkel számolva, láthatjuk a kalkulációkból, hogy a modern és korszerű rendszer már 7 év után megtermelné a saját árával egyenértékű villamosenergiát. 25 éves működési időszakában megtermelné a bekerülési árának majd 5-szörösét, és még mindig egy hatékony rendszer működne tovább, nem veszítené el a teljesítményének kétharmadát, mint a jelenlegi rendszer.

A jelenlegi rendszer megtérülésével véleményem szerint nem érdemes kalkulálni, maximum oktatási és kutatási célokra érdemes fenntartani, a korszerűsítésnek viszont reális és jelentős előnyei lennének. Még úgy is megérné a korszerűsítést véghez vinni, hogy ahogy azt a mellékelt árajánlat is mutatja a jelenlegi rendszer elbontása 2.425.700 forintba kerülne elszállítással együtt a napelemek darabszáma miatt. Ezzel együtt is 10 éven belül megtérülne a korszerűsítés és jelentős előrelépés lenne hatékonysági szempontból is. Hangsúlyozandó azonban, hogy a régi napelemes rendszer korszerűsítése nem csupán technológia szempontból esedékes, hanem gazdasági szempontból is indokolt.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A dolgozat célja a 20 éves egyetemi napelemes rendszer teljesítményének és gazdaságosságának vizsgálata volt, valamint az összehasonlítása egy mai modern rendszerrel, ami a piacon fellelhető. A vizsgálat során különös figyelmet fordítottam az olyan irányú megközelítésre, miszerint a két rendszer mennyire energiahatékony, mennyi idő a megtérülésük, és mennyire hosszútávú a fenntarthatóságuk. Dolgozatom első részében egy átfogó képet kaphatunk a napelemes rendszerekről. Foglalkoztam a napenergia megismerésével, fogalmával, fontosságával. Részletesebben kifejtettem a napelemes technológiák fejlődését és a napelemek felépítését és működését. Foglalkoztam a különböző típusok közötti különbséggel, ugyanis ez elsődleges a tervezés folyamán. Különböző lokációknál, különböző környezeti hatásokra mindig a legmegfelelőbb technológiai adottságokkal rendelkező napelemek megválasztása a legfontosabb. Nincs egy univerzális napelem, ami mindenhol minden körülmények között a legjobb teljesítményt hozza, ezért fontos tisztában lenni a különböző típusok előnyeivel és hátrányaival. Vizsgálatom során arra törekedtem, hogy a jelenlegi rendszert gazdasági és műszaki szempontok alapján tanulmányozzam és vessem össze egy mai modern rendszerrel. A 20 év óriási fejlődést hozott a napelem-technológiában, a panelek hatásfoka is jelentősen nőtt, de ami még ennél is nagyobb ugráson ment keresztül az a napelemek energiahatékonyasága és teljesítménye. A kezdeti rendszereknek teljesítménye is alacsonyabb volt, a mai modern rendszerek egységnyi felületen a többszörösét képesek megtermelni az energiának, emellett alacsonyabb az üzemeltetési költségük is, de ami ennél sokkal fontosabb az a hosszabb élettartam, megbízhatóbb működés. Amellett, hogy a technológia ilyen fejlődésen ment át, az ára a napelemeknek nem emelkedett, hanem csökkent a kezdetekhez képest. Széles körű elterjedése és a nagyobb kereslet lenyomta az árakat, megjelentek az olcsóbb de jó minőségű kínai napelemek a piacon. Az árak csökkenése és az energiahatékonyaság növekedése külön-külön is a gyorsabb megtérüléséhez vezetnek a rendszereknek, de így együtt elmondható, nagyon lecsökkent a megtérülési időszaka a modern rendszereknek.

A dolgozat második felében már a két konkrét rendszerrel foglalkoztam. Bemutatásra került a jelenlegi rendszer, a telepítési körülmények, információk és a rendszerben működő napelemek paraméterei. A 20 évvel ezelőtt telepített rendszerről elmondható, hogy egyáltalán nem számított elavultnak a korában, jó minőségű német és magyar napelemekkel lettek felszerelve. Teljesítményük azonban a mai modern napelemekkel majdhogynem összehasonlíthatatlan.

Egy tiszta és egyértelmű adat csak a 20 év fejlődéséről, majdnem ugyan akkora, de inkább nagyobb teljesítmény mellett, az akkori 186 darab napelem és 150 m² ma 21 napelem és 47 m². Ebből tisztán látszik mekkora is a különbség és akkor még nem beszéltünk degradáció mértékének különbségéről és a hosszútávú működésről. A modern rendszer vizsgálata során igazából pont a degradáció volt az egyik legkiütözőbb különbség a két rendszer között a teljesítményükön kívül. A mai modern napelemekre a gyártók nem csak termékgaranciát adnak, de rendszerint teljesítménygaranciát is. Ezzel garantálják, hogy termékük olyan minőségű alapanyagokból készül és technológiai adottságokkal rendelkezik, amik mellett a degradáció mértéke a korábbiakhoz képest igen csekélynek mondható. A vizsgálat során kiderült, hogy a 20 éves rendszer hatékonysága nagyot esett, jelentősen elmarad a mai modern rendszerekétől. A modern napelemes rendszer az alacsonyabb ára miatt és a nagyobb hatékonyságának köszönhetően rámutatott, hogy a korszerűsítés indokolt lenne, jelentősen rövidebb a megtérülésének az időszaka és hosszútávon jobb hatékonysággal tudna működni, nagyobb élettartam mellett. A vizsgálat során készített számítások szemléltetik, a két rendszer közötti különbséget, megtérülési idejükben és teljesítménycsökkenésükben. Hangsúlyozandó, hogy a régi napelemes rendszer korszerűsítése nem csupán technológia szempontból esedékes, hanem gazdasági szempontból is indokolt.

8. SUMMARY

The aim of the thesis was to examine whether it would be reasonable to modernize the 20-year-old solar panel system installed at the university. The current system, the installation conditions, the available information, and the parameters of the solar panels in operation were presented. It can be stated that the system installed two decades ago was not considered obsolete at the time; it was equipped with high-quality German and Hungarian solar panels. However, their performance is now almost incomparable to that of today's modern solar panels. A clear and straightforward indicator of 20 years of technological progress is that while the former system consisted of 186 panels covering 150 m², today a similar—or even greater—capacity can be achieved with just 21 panels over 47 m². This clearly demonstrates the magnitude of the difference, not to mention the improvement in degradation rates and long-term operation.

During the examination of the modern system, degradation proved to be one of the most striking differences between the two systems, aside from performance. Today's solar panels not only come with product warranties but also performance warranties. This ensures that they are made from high-quality materials and produced with advanced technology, resulting in significantly lower degradation rates compared to older systems. The analysis revealed that the efficiency of the 20-year-old system has considerably decreased and now lags far behind from modern systems. Due to the lower price and higher efficiency of modern solar panels, the study showed that modernization would be justified. It would offer a much shorter payback period and higher long-term efficiency, along with an extended lifespan. The calculations carried out during the study illustrate the differences between the two systems in terms of their payback times and performance degradation. It is important to emphasize that the modernization of the old solar panel system is not only timely from a technological perspective but also economically justified.

9. FELHASZNÁLT IRODALOMJEGYZÉK

- Bartholy Judit, Breuer Hajnalka, Pieczka Ildikó, Pongrácz Rita, Radics Kornélia, Megújuló energiaforrások, 2013, Eötvös Loránd Tudományegyetem
- EnergiaBarát, A napenergia előnyei és hátrányai, 2023.03.06., <https://energiabarát.hu/a-napenergia-elonyei-es-hatranyai/>
- EU-Solar, Napelem fajták bemutatása és összehasonlítása, 2021.05.14., <https://www.eu-solar.hu/blog/napelem-fajtak/>
- HOME INFO, Vöröss Kata, Így hasznosíthatjuk a napenergiát otthonunkban - Napelemes és napkollektoros rendszerek, 2019.04.17., https://www.homeinfo.hu/epitkezes-felujitas/gepeszet/2745-igy-hasznosithatjuk-a-napenergiat-otthonunkban-napelemes-es-napkollektoros-rendszerek?srsltid=AfmBOortGCGOjdRtybZ1d7mRD-qkq4meGdCaqTIdowvtWwJp_cvGYLHZ
- HungaroMet, Magyarország napsugárzás, napfénytartam és felhőzet viszonyai, https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/sugarzas/index.php#
- Központi Statisztikai Hivatal, 6.1.1.9. Bruttó villamosenergia-termelés [gigawattóra], 2024, https://www.ksh.hu/stadat_files/ene/hu/ene0009.html
- lakasgeneral.com, Buzgó László, A napenergia környezeti előnyei, 2025.02.06., <https://lakasgeneral.com/2025/02/06/a-napenergia-kornyezeti-elonyei/>
- ManituSolar, Bodócs Tamás, A napelem környezeti hatásai pro és kontra, 2022.08.01., <https://www.napelem.net/napelem-kornyezeti-hatasai/>
- MetGroup, Megújuló energiaforrások fajtái, előnyei és hátrányai, <https://hu.met.com/hu/mind-the-fyouture/mindthefyouture/megujulo-energiaforrasok/>
- Michael Debreczeni, A fotovillamos energia ismertetése és alkalmazása kompetens partnerrel alapsmeretek. 2012 Kiadja: Greentechnic Hungary Kft.
- MNNSZ, Kiss Ernő, Melyik a legjobb napelem?, 2020.04.26., <https://www.mnnsz.hu/melyik-a-legjobb-napelem/>
- MNNSZ, Kiss Ernő, Napelem típusok bemutatása, 2019.11.23., <https://www.mnnsz.hu/napelem-tipusok-bemutatas/>
- MNNSZ, Kiss Ernő, Monokristályos és polikristályos napelem összehasonlítása, 2019.11.15., <https://www.mnnsz.hu/monokristalyos-es-polikristalyos-napelem-osszehasonlitas/>
- Napelem kivitelezés, A napelem története, <https://napelem-kivitelezes.hu/a-napelem-tortenete.html>
- Oliveira, M. C. C., Cardoso, A. S. A. D., Viana, M. M., Lins, V. F. C.: The causes and effects of degradation of encapsulant ethylene vinyl acetate copolymer (EVA) in crystalline silicon photovoltaic modules, 2018
- Okorieimoh, C. C., Norton, B., Conlon, M.: Long-Term Durability of Solar Photovoltaic Modules, 2020 ISBN:978-3-030-44381-8

Secondsol, The Photovoltaic Marketplace,
<https://www.secondsol.com/en/anzeige/28491//schott/ase-100-gt-ft-b-100wp>

SUNFORMATION, Mayer Martin János, Napelem jelleggörbék, 2020.02.14.,
https://sunformation.blog.hu/2020/02/14/napelem_jellegorbec_938

Svarc J., Clean Energy Reviews., Solar Panel Construction, 2022.02.02.,
<https://www.cleanenergyreviews.info/blog/solar-panel-components-construction>

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



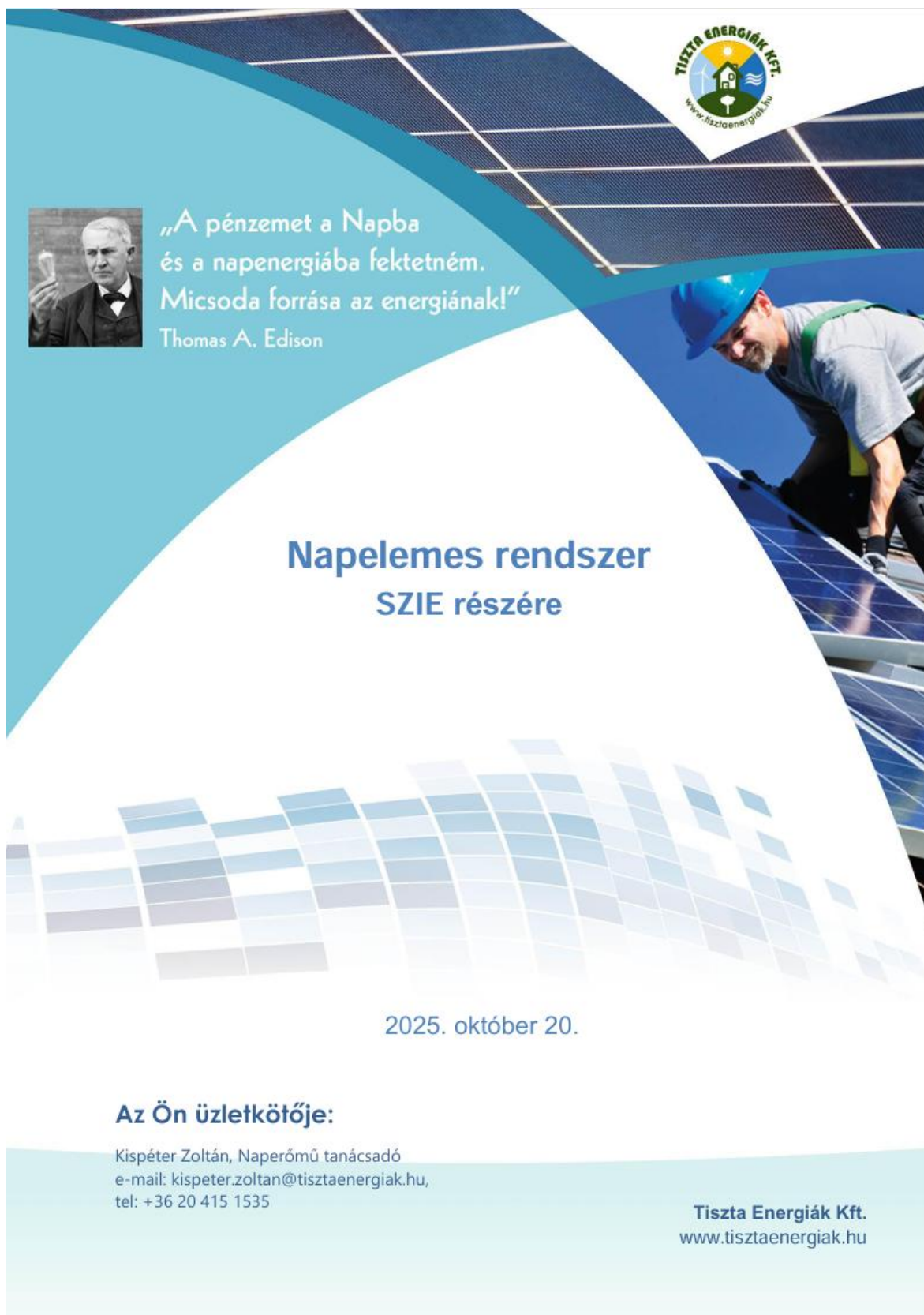
Unbound, What is a micro-inverter, 2019.11.05., <https://unboundsolar.com/blog/what-is-a-micro-inverter#>

10. TÁBLÁZAT ÉS ÁBRÁK JEGYZÉKE

1. ábra: Napsütéses órák száma Magyarországon.....	13
2. ábra: Az évi átlagos napfénytartam Magyarországon 1991-2020 között.....	14
3. ábra: Villamosenergia termelés megoszlása 2024-ben	15
4. ábra: Megtermelt villamosenergia forrásai	16
5. ábra: A napelem működése modellezve.....	25
6. ábra: A napelemek felépítése	27
7. ábra: Áram-feszültség jelleggörbe	29
8. ábra: Áram-feszültség és teljesítmény- feszültség jelleggörbék	30
9. ábra: A Szent István Egyetem gödöllői campusán 2005-ben telepített napelemes rendszer	35
10. ábra: A Szent István Egyetem gödöllői campusának napelemes rendszere telepítés közben	38
11. ábra: A telepített napelemek, ASE100 modulok balra, DS40 modulok jobbra	40
12. ábra: ASE100 modul adattáblája ballra, Sunpower SP3100/600 inverter adatai jobbra	41
13. ábra: Napelemes rendszer mért termelési adatai	49
14. ábra: Becsült és mért termelési adatok összehasonlítása	50
15. ábra: Január-április hónapok évenkénti mért adatainak ábrázolása	52
16. ábra: Május-szeptember hónapok évenkénti mért adatainak ábrázolása.....	53
17. ábra: Napelem degradáció 2006-2013 között	54
1. táblázat: Különböző telepített rendszerek adatai.....	43
2. táblázat: A rendszer becsült villamosenergia termelése havi lebontásban.....	45
3. táblázat: Elméleti megtérülés kalkulációja.....	46
4. táblázat: Átlagos villamosenergia díjai különböző időintervallumokban	48
5. táblázat: Napelemes rendszer termelésének becsült és mért adatai	56
6. táblázat: Valós megtérülés kalkulációja.....	57
7. táblázat: Korszerű rendszer elméleti megtérülés kalkulációja	63

11. MELLÉKLET

1. melléklet: Tiszta Energiák KFT. által kapott árajánlat



„A pénzemet a Napba
és a napenergiába fektetném.
Micsoda forrása az energiának!”
Thomas A. Edison

Napelemes rendszer SZIE részére

2025. október 20.

Az Ön üzletkötője:
Kispéter Zoltán, Naperőmű tanácsadó
e-mail: kispeter.zoltan@tisztaenergiak.hu,
tel: +36 20 415 1535

Tiszta Energiák Kft.
www.tisztaenergiak.hu

Tisztelt SZIE!

Köszönjük, hogy megtisztel bennünket bizalmával és ajánlatot adhatunk Önnek napelemes áramtermelő rendszer megvalósítására.

Szolgáltatásunk teljes körűen tartalmazza a rendszerével kapcsolatos beszerzést, szállítást, telepítést, csatlakozási- és egyéb ügyintézést. Önnek semmi intéznievalója vagy utólagosan felmerülő költsége nem lesz a rendszerrel kapcsolatban.

Hiszünk abban, hogy mindannyian felelősséggel tartozunk környezetünk megóvásáért, utódaink tiszta jövőjéért. Egy ilyen önellátó napelemes rendszerrel ehhez Ön is jelentős mértékben hozzájárul. Ön már csupán egy lépésnyire, azaz egy jó döntésnyire van attól, hogy soha többé ne kelljen villanyszámlát fizetnie! Bízunk benne, hogy tudunk segíteni meghozni ezt a döntést! Hisz' Ön is tudja: a napelem

tiszta energia, tiszta haszon!

Felmérés adatai

Ügyfél

♥	Neve:	SZIE
✉	Címe:	Gödöllő
@	e-mail:	keleti.daniel@gmail.com
☎	Telefonszáma:	

Telepítés

⚡	Áramszolgáltató	ELMŰ
⌚	Fogyasztás	-
∠	Tető dőlésszöge	0-30°
↑	Ereszmagasság	egy- vagy kétszintes
◆	Tető héjalása	lapostető
📍	Tető tájolása	D



www.tisztaenergiak.hu

2/5 oldal

Árajánlat és részletezése

Csomag	1., 2., 3. rendszer ára / db	Meglévő panelek leszerelése
Névl. teljesítmény	3,54 kWp	-
Várható éves hozam	3712 kWh/év	-
Napelem típusa	DAS Solar 505W	-
Panelszám	7 db	-
Termékgarancia	15 év	-
Teljesítménygarancia	30 év	-
Optimalizálás típusa	Nem optimalizált	-
Optimalizálók száma	0 db	-
Inverter típusa	Solinteg MHT-5K-25	-
Monitoring	Tartalmazza	-
Fázis igény	3 fázis	-
Termékgarancia	10 év	-
Autótöltő	Nem tartalmazza	-
Földi tartóoszlop	Nem tartalmazza	-
Akkumulátor	Nem tartalmazza	-
Akkumulátor száma	Nem tartalmazza	-
DC töltésvezérlő	Nem tartalmazza	-
Szünetmentes opció	Nem tartalmazza	-
Smart meter	Solinteg RMK 300	-
Tűzvédelmi kapcsoló	Nem tartalmazza	-
Munkadíj	Tartalmazza	Tartalmazza
Nettó ára	1 360 000,0 Ft	1 910 000,0 Ft
Bruttó ára	1 727 200 Ft	2 425 700 Ft

*Megjegyzés: A földrajzi elhelyezkedés alapján számított, árnyékkal nem korrigált érték.

3/5 oldal



www.tisztaenergiak.hu

Megjegyzések

Megrendeléskor fizetendő a bruttó bekerülési ár 50%-a, a fennmaradó részt a rendszer átadását követően kell kiegyenlíteni.

Ajánlatunk 2025-10-27-ig érvényes.

Tűzeseti leválasztó kapcsoló

A tűzeseti leválasztó kapcsoló beépítését jogszabály írja elő kötelezően, amennyiben bizonyos körülmények előállnak. Ennek költségét az ajánlat nem tartalmazza.

(A vonatkozó előírásokról [itt](#) tájékozódhat részletesen.)

A Tiszta Energiákról

A Tiszta Energiák Kft. Magyarország egyik legnagyobb tapasztalattal rendelkező napelemes vállalkozása. A céget 2009 nyarán alapítottuk olyan kollégák részvételével, akik már 2000 óta a napelemes iparágban dolgoznak. Cégünk mind a mai napig őrzi piacvezető helyzetét, legtöbb telepített rendszerével.

Közvetlen ügyfeleink és nagykereskedelmi viszonteladó partnereink számára forgalmazunk hagyományos és okos napelemeket és invertereket, tartószerkezeteket valamint villany-szerelési anyagokat is. Kedvező árainkat annak köszönhetjük, hogy közvetlenül a gyártótól szerezzük be a termékeket, legyen az kanadai, osztrák, taiwani vagy akár kínai.

Szerviz üzletágunk a napelemes rendszerek ellenőrzésével, diagnosztizálásával, karbantartásával és szükség esetén javításával foglalkozik. Ehhez a tevékenységhez rendelkezünk minden tárgyi és személyi feltétellel, kiváló műszerparkkal, óriási tapasztalattal és a gyártók specifikus tanfolyamainak elvégzése révén az ezekkel járó jogosultságokkal is.



Az általunk telepített teljes rendszerekre **5 év garanciát** (jótállást) vállalunk. Mindezek együtt garantálják, hogy az általunk kivitelezett és karbantartott rendszerek a legnagyobb hozamot biztosítsák a rendszer teljes élettartama alatt.



www.tiztaenergiak.hu

4/5 oldal



Az Ön kapcsolattartója:

♥ Neve: Kispéter Zoltán, Naperómű tanácsadó

✉ Címe: 1037 Budapest, Kunigunda útja 60.


@ e-mail: kispeter.zoltan@tiszaenergiak.hu

☎ Telefonszáma: +36 20 415 1535

Szeretettel várjuk megrendelését!



www.tiszaenergiak.hu



5/5 oldal

1. melléklet: DAS-DH120ND-EN-505W-os napelem adatlapja

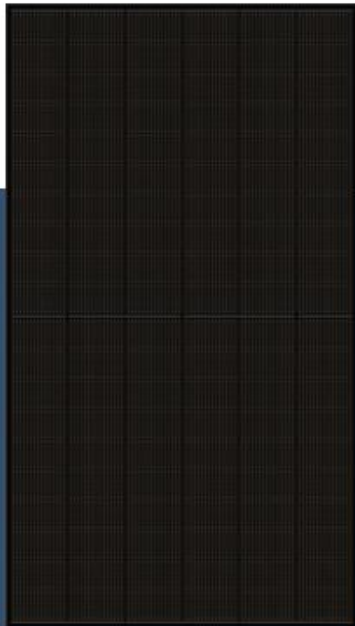


N Type

Bifacial Double Glass Module
(Black Pro)

DAS-DH120ND

500W~515W



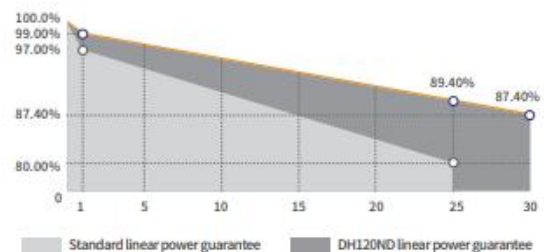
Key Features

- High Efficiency**
Leading module efficiency in industry, up to 22.8%
- Excellent Appearance and Performance**
Bifacial solar cell, symmetrical design, low risk of micro-crack
- High Reliability**
Passed 3*IEC standard test, 25 years materials warranty, 30 years power warranty
- Excellent Rear Side Power Generation**
Bifaciality is up to 80%, up to 30% more energy yield than conventional modules
- Better low irradiance performance**
Higher power output even under low irradiance environments like on cloudy or foggy days
- Extensive Application Scenes**
More extensive application scenes, such as BIPV, snow field, vertical installation, high humidity, strong wind and desert region

Maximum Power Output	Maximum Module Efficiency	Power Output Tolerance
515W	22.8%	0~+5W

Product and Quality Certifications

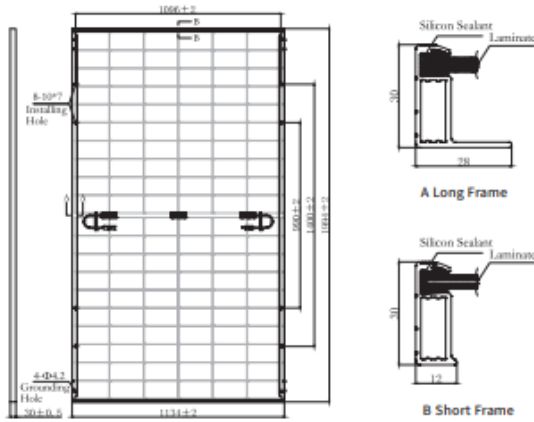
- IEC 61215, IEC 61730
- ISO 9001: Quality Management System
- ISO 14001: Environment Management System
- ISO 45001: Occupational Health and Safety Management System



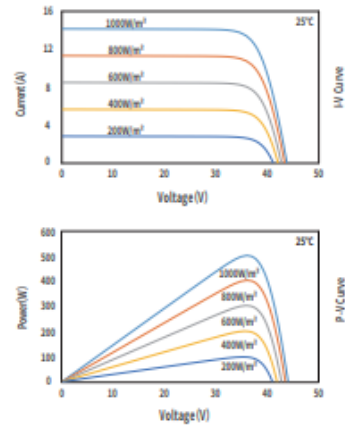
Leading product and power warranty

-1.00% 1st-year Degradation -0.40% Annual Degradation 25 Materials and workmanship warranty 30 Linear power warranty

Engineering Drawing (mm)



Characteristic Curves(505W)



Electrical Parameters (STC *)

Nominal Max. Power(Pmax/W)	500	505	510	515
Open Circuit Voltage(Voc/V)	43.10	43.30	43.50	43.71
Short Circuit Current(Isc/A)	14.66	14.72	14.78	14.84
Operating Voltage(Vmp/V)	35.92	36.13	36.33	36.53
Operating Current(Imp/A)	13.92	13.98	14.04	14.10
Efficiency(%)	22.1	22.3	22.6	22.8

STC *: Irradiance = 1000 W/m², Cell Temperature = 25°C, AM = 1.5
Test condition is based on the front side

Mechanical Parameters

Cell Type	N Type
Module Size	1994 × 1134 × 30mm
Glass Thickness	2.0mm
Module Weight	28.0Kg
Output Cable	4mm ² , cable length 1200mm (can be customized)
Connector	See note
Junction Box	IP68, 3 bypass diodes
Frame	Anodized aluminium alloy (Black)

Connector*: 1.PV-D403M2-XY 2.PV-ZH202B 3.PV-KST4-EV02/xy_UR/PV-KBT4-EV02/xy_LR
4.PV-KST4-EV02A/xy/PV-KBT4-EV02A/xy
5.PV-JK03M2/xy (Plug+Socket)/PV-JK03M2/xy (Plug+Socket)

Electrical Parameters (NMOT *)

Nominal Max. Power(Pmax/W)	381	385	389	392
Open Circuit Voltage(Voc/V)	41.27	41.46	41.65	41.85
Short Circuit Current(Isc/A)	11.82	11.87	11.91	11.96
Operating Voltage(Vmp/V)	33.95	34.14	34.33	34.52
Operating Current(Imp/A)	11.22	11.27	11.32	11.37

NMOT *: Irradiance = 800 W/m², Ambient Temperature = 20°C, AM = 1.5,
Wind Speed = 1 m/s
Test condition is based on the front side

Temperature Coefficients

Short Circuit Current(Isc)	+0.045%/°C
Open Circuit Voltage(Voc)	-0.250%/°C
Nominal Max. Power(Pmax)	-0.280%/°C
NMOT	42 ± 2°C

Electrical Parameters (BNPI *)

Nominal Max. Power(Pmax/W)	550	555	560	565
Open Circuit Voltage(Voc/V)	43.10	43.30	43.50	43.71
Short Circuit Current(Isc/A)	16.21	16.28	16.35	16.41
Operating Voltage(Vmp/V)	35.92	36.13	36.33	36.53
Operating Current(Imp/A)	15.40	15.47	15.54	15.60

BNPI *: front irradiance=1000W/m², rear irradiance=135W/m²,
Cell Temperature = 25°C, AM = 1.5
Pmax bifaciality coefficient 80 ± 5%, Voc bifaciality coefficient 95 ± 5%
Isc bifaciality coefficient 80 ± 5%

Operating Parameters

Max. System Voltage	DC1500V
Power Measurement Tolerance	±3%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C
Max. Fuse Rated Current	30A
Fire Safety Class	Class C
Static Load	Front 5400Pa, Back 2400Pa
Packing Data	36 pcs/Pallet; 180(20GP); 792(40HQ)

DASOLAR
www.das-solar.com

Made In China
Version number:DAS-2024.05.22
All data contained in this datasheet is subject to change without notice.
The right of final interpretation belongs to DAS Solar.



12. EREDETISÉG NYILATKOZAT, NYILATKOZATOK

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

4.2. sz. melléklete: Nyilatkozat a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió nyilvános hozzáféréseiről és eredetiségéről (módosítva: 2025. október 16.)

NYILATKOZAT

a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió¹ nyilvános hozzáféréseiről és eredetiségéről

A hallgató neve:	Keleti Dániel Márk
A Hallgató Neptun kódja:	BDVFSO
A dolgozat címe:	Egyetemi naperőmű park korszerűsítése
A megjelenés éve:	2025
A konzulens intézetének neve:	Matematika és Természettudományi Alapok Intézet
A konzulens tanszékének a neve:	Fizika Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió² egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem. Továbbá kijelentem, hogy a dolgozat elkészítése során alkalmazott mesterséges intelligencia-eszközök (pl. szöveggenerálás, nyelvi javítás, fordítás, adatelemzés) használata nem helyettesítette a saját kutatási és alkotói munkámat, azok alkalmazását a források között vagy a módszertani részben feltüntettem, és a szakmai-etikai elvárásoknak megfelelően jártam el.

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

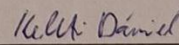
A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

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

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe. 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 könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: Székesfehérvár, 2025. év október hó 31. nap


Hallgató aláírása

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

NYILATKOZAT

Alulírott Keleti Dániel Márk, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Műszaki Campus, műszaki menedzser szak nappali/levelező* tagozat végzős hallgatója nyilatkozom, hogy a dolgozat saját munkám, melynek elkészítése során a felhasznált irodalmat korrekt módon, a jogi és etikai szabályok betartásával kezeltem. Hozzájárulok ahhoz, hogy Záródolgozatom/Szakdolgozatom/Diplomadolgozatom egyoldalas összefoglalója felkerüljön az Egyetem honlapjára és hogy a digitális verzióban (pdf formátumban) leadott dolgozatom elérhető legyen a témát vezető Tanszéken/Intézetben, illetve az Egyetem központi nyilvántartásában, a jogi és etikai szabályok teljes körű betartása mellett.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: Székesfehérvár, 2025. év 10. hó 30.nap

Keleti Dániel

Hallgató

NYILATKOZAT

A dolgozat készítőjének konzulense nyilatkozom arról, hogy a Záródolgozatot/Szakdolgozatot/Diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A Záródolgozatot/Szakdolgozatot/Diplomadolgozatot záróvizsgán történő védésre javaslok / nem javaslok*.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem*

Kelt: Gödöllő, 2025 év október hó 31 nap

du s...

Belső konzulens

*Kérjük a megfelelőt aláhúzni!

Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásáról

1. Általános adatok

Hallgató neve:	Keleti Dániel Márk
Neptun-kódja:	BDVF50
Képzési szint (a megfelelőt jelölje X-szel):	<input type="checkbox"/> BSc/BA <input checked="" type="checkbox"/> MSc/MA <input type="checkbox"/> Doktori (PhD) <input type="checkbox"/> Egyéb:
Tantárgy neve/kódja*:	
A munka címe:	

* doktori értekezés esetén nem kitöltendő

2. Nyilatkozat az MI használatáról

Alulírott, etikai felelősségem teljes tudatában az alábbi nyilatkozatot teszem:

(Kérjük, válasszon egyet az alábbi lehetőségek közül!)

A) Nem alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Amennyiben ezt jelölte, a további táblázatok kitöltése nem szükséges.)

B) Alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Kérjük, töltsse ki a vonatkozó táblázatokat!)

3. A mesterséges intelligencia használatának részletezése

I. TÁBLÁZAT: Asszisztensi vagy kisebb mértékű felhasználás (pl. fordítás, nyelvi korrekció, ötletelés stb.)

(Ezen felhasználások esetében a konkrét promptok és válaszok csatolása nem szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve és verziója	Érintett rész (ha nem a szöveg egészére vonatkozik)

II. TÁBLÁZAT: Jelentős tartalmi hozzájárulás (pl. egy teljes ábra vagy egy hosszabb szövegrész generálása)

(Ezekben az esetekben a felhasznált kulcsfontosságú promptok és az MI által adott nyers válaszok dokumentálása és a munka mellékletében való csatolása szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott eszköz	MI-neve,	Az érintett fejezet / ábra / táblázat pontos sorszáma	A prompt-naplót tartalmazó melléklet

	verziója, elérhetősége		bejegyzésének sorszáma

3/A. Oktató által előírt kiegészítő szabályok (ha vannak)

Amennyiben az adott tantárgy oktatója vagy témavezetője az MI-eszközök használatára vonatkozóan külön szabályokat vagy elvárásokat határozott meg, kérjük, az alábbi mezőben foglalja össze ezeket:

Pl. az MI használatának tilalma bizonyos feladattípusokra; csak konkrét eszköz használata engedélyezett; eltérő hivatkozási elvárások; dokumentációs forma stb.

Oktató vagy témavezető által előírt szabályok:

.....

.....

.....

.....

4. Minden hallgatóra vonatkozó nyilatkozat:

Kijelentem, hogy az MI által esetlegesen generált tartalmakat minden esetben kritikailag felülvizsgáltam, szerkesztettem és a munkába illesztettem. A leadott munka minden eleméért, annak eredetiségéért és tudományos helytállóságáért teljes körű felelősséget vállalok. Tudomásul veszem, hogy a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem a benyújtott munkát mesterséges intelligencia detektorral ellenőrizheti, és eljárást kezdeményezhet, amennyiben a nyilatkozatom valótlan vagy hiányos.

Kelt: Székesfehérvár, 2025. október hó 31. nap

Kellé Dániel
.....
Hallgató aláírása

de S...
.....
Konzulens/Témavezető aláírása

NYILATKOZAT

Keleti Dániel Márk (név) (hallgató Neptun azonosítója: BDVF50) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A diplomadolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem

Kelt: Székesfehérvár, 2025. év október hó 31. nap



belső konzulens