



ÓBUDAI EGYETEM

Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Villamosenergetikai Intézet

SZAKDOLGOZAT

ÓE-KVK

Hallgató neve:

Talamon Dávid

2021.

Hallgató törzskönyvi száma:

T008898/F112904/K

Kötelezően választható tantárgycsoport: Villamosenergia-rendszerek modul



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Villamosenergetikai Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Talamon Dávid
Szakdolgozat száma: SZD21090213458754
Törzskönyvi száma: T008898/F112904/K

Neptun kódja: XXXXXXXXXX

Szak: villamosmérnöki
Specializáció: Villamosenergetikai specializáció

A dolgozat címe: 50 kVA napelemes erőmű tervezése

A dolgozat címe angolul: Solar power plant design

A feladat részletezése: 1. 50 kVA naperőmű elhelyezése

2. Napelemek, tartószerkezet kiválasztása,

3. Villamos kapcsolási vázlat készítése. Készülékek-, kábelek kiválasztása, méretezése.

4. Túlfeszültség-, túláram-, áramútés elleni- és vagyonvédelem kialakítása.

Intézményi konzulens neve: Dr. Novothny Ferenc Miklós

A kiadott téma elévülési határideje: -

Beadási határidő: 2021. 12. 15.

A szakdolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Budapest, 2021. 11. 29.

P.H

Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom:


belső konzulens

külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM

Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar

HALLGATÓI NYILATKOZAT

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

Budapest, 2021.11.29.


.....
hallgató aláírása

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉS.....	5
1. ELŐZMÉNYEK.....	6
2. NAPELEMES ERŐMŰVEKTÖRVÉNYI MEGFELELÉSE	7
2.1. 50 kW alatti névleges teljesítményű háztartási méretű kiserőmű (HMKE)	7
2.2. 50 kW – 49,99 MW névleges teljesítményű kiserőmű.....	8
2.3. 50 MW feletti névleges teljesítményű erőmű	8
3. A TERÜLET KIVÁLASZTÁSA.....	9
3.1. A naperőmű elhelyezése.....	9
3.2. A terület földhivatali ellenőrzése	9
3.3. A terület helyszíni ellenőrzése	10
4. HÁLÓZATRA CSATLAKOZÁSI LEHETŐSÉGEK ELLENŐRZÉSE	12
5. TARTÓSZERKEZET	14
5.1. A tartószerkezet kiválasztása	14
6. NAPELEM.....	15
6.1. Napelemek története.....	15
6.2. Napelemek fizikai felépítése	15
6.3. Napelemek osztályozása gyártási technológiák szempontjából.....	17
6.3.1. Monokristályos szilícium napelemek	17
6.3.2. Polikristályos szilícium napelemek.....	17
6.3.3. Vékonyréteg technológia (Amorf).....	18
7. INVERTER.....	19
7.1. Inverterek szerepe	19
7.2. Inverterek működése	19
7.3. Inverterek topológiák.....	21
7.3.1. Inverter transzformátor tartalma szerinti csoportosítása.....	22
7.3.2. Inverter konfiguráció szerinti csoportosítása.....	23
7.3.2.1. Központi (central) inverter	24
7.3.2.2. Sztring inverter	24
7.3.2.3. Multi - sztring inverter	25
7.3.2.4. Modul, vagy mikró inverter.....	25
7.3.3. Inverter csoportosítás hálózati kapcsolat szerint.....	27
7.3.3.1. Sziget üzemű inverter.....	27

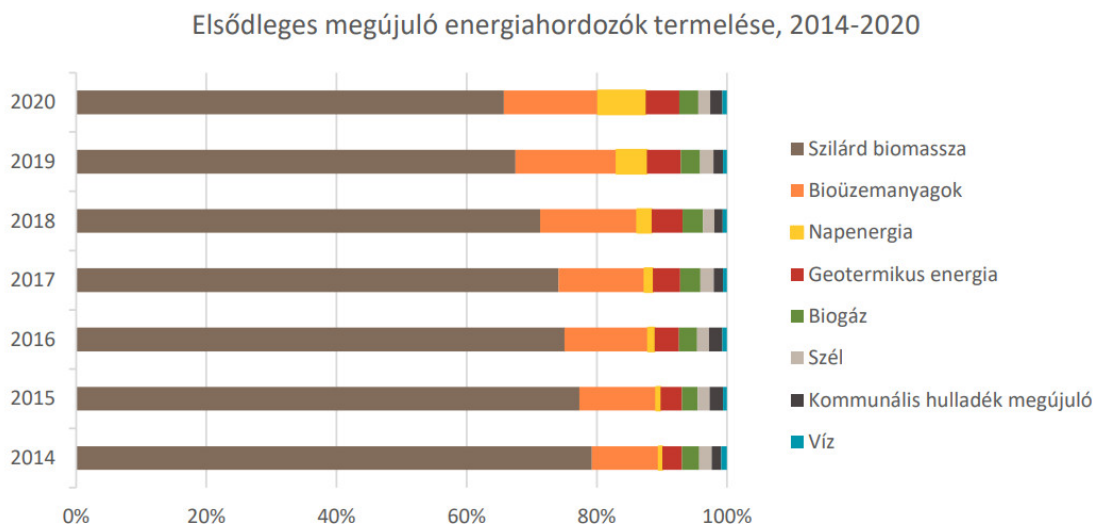
7.3.3.2.	Hálózatra kapcsolt inverter	28
7.3.3.3.	Hibrid inverter	29
8.	RENDSZER FELÉPÍTÉSE.....	30
8.1.	Napelemes rendszer teljesítményének meghatározása	30
8.2.	Napelem kiválasztás.....	30
8.3.	Inverter kiválasztása.....	31
8.4.	Napelemek elhelyezése	33
8.5.	Napelemkiosztás	35
8.6.	Inverter elhelyezése	35
9.	KÁBELEZÉS.....	37
9.1.	Egyenáramú kábelezés.....	37
9.2.	Váltakozó áramú kábelezés.....	38
10.	VÉDELMEK	42
10.1.	Túlfeszültség-védelem	42
10.2.	Túláramvédelem	42
10.3.	Áramútés elleni védelem	43
	ÖSSZEFOGLALÓ	44
	SUMMARY	45
	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	46
	IRODALOMJEGYZÉK.....	47

BEVEZETÉS

Gyorsuló világunkban az emberek életvitele megköveteli az egyszerűséget, és a komplexitást. Azért, hogy ez adott legyen életünkben technológiai találmányokat alkalmazunk, mely eszközök többsége villamos energiával működik. Ebből kifolyólag egyre nagyobb szükség van ennek az előállítására, viszont mivel a fosszilis energiahordozók csak egy adott mennyiségben vannak jelen a természetben, tekintetünket a megújuló energiák irányába fordítottuk.

Magyarország villamosenergia-fogyasztása 2019-ben 45,4 TWh volt. Figyelme véve azt, hogy a hazai villamosenergia-előállítás az adott időszakban mindössze 33,1 TWh volt, egyre fontosabbá válik az erőművek számának növekedése. Ezen tényeket, illetve a napelem modulok technikai fejlődését követve, a 2020-as évben 63,7 százalékkal nőtt itthon a napaelemek által termelt villamosenergia-termelés a 2019-es mennyiséghez képest [1].

Az 1. ábrán látható Magyarország energiatermelése százalékos arányban 2020-ban.



1. ábra: Magyarország energiatermelése 2020-ban

A fentiekben említettek miatt a szakdolgozatom témája a megújuló energiával üzemelő erőművek, ezen belül is a napaelemes HMKE - Háztartási Méretű Kiserőművek.

1. ELŐZMÉNYEK

Egy tejtermelő vállalat szeretne egy fotovillamos rendszert kiépíteni telephelyén VP2-4.1.1.-20 kódszámú pályázat keretein belül. A terület az Alföldön helyezkedik el, és a domborzata síknak tekinthető. Az épületek délnyugati, és délkeleti nyeregtővel is rendelkeznek, valamint vannak beépítetlen földterületek is. A műholdképen jól látszik, hogy az árnyékhatas csekély mértékben befolyásolja a terület kiválasztását.

Az erőmű létesítésének helye az alábbi átnézeti térképeken tekinthető meg.



2. ábra: Telephely elhelyezkedése [2]

2. NAPELEMES ERŐMŰVEK TÖRVÉNYI MEGFELELÉSE

Magyarországon a naperőmű létesítés főbb pontjait befoglalták a 2007. évi LXXXVI. villamos energia törvénybe (VET) [3]. A hatályos jogszabályok értelmében az fotovoltaikus erőműveket névleges teljesítmény szempontjából az alábbi csoportokba sorolhatjuk:

- 50 kW alatti névleges teljesítményű háztartási méretű kiserőmű (HMKE)
- 50 kW - 49,99 MW névleges teljesítményű kiserőmű
- 50 MW feletti névleges teljesítményű erőmű

2.1. 50 kW alatti névleges teljesítményű háztartási méretű kiserőmű (HMKE)

Az Háztartási Méretű Kiserőmű (HMKE) kifejezést a Villamos Energia Törvény 2008. január 1-jétől érvénybe léptetett módosításában találkozhattunk először. Itt fogalmazták meg, hogy a HMKE egy olyan napelemes erőmű, melynek teljesítménye nem haladja meg a 50 kVA-t egy csatlakozási ponton. Tervezése és kivitelezése nem építési engedély köteles, és ebben az esetben a megtermelt villamos energiát a szolgáltató köteles átvenni a hálózatra csatlakozási ponton egy ad-vesz villanyóra telepítésével.

Az ad-vesz mérőóra valójában egy kétirányú mérést biztosító berendezés, amely a mérési ponton külön méri a hálózatról vételezett, és a hálózatba táplált villamos energiát. Ezen adatokat összesítve jön ki az év végén egy különbség, amelyet figyelembe véve küldi ki a szolgáltató az éves elszámolást. Ezt a folyamatot szaldó elszámolásnak nevezzük.

Mivel a szaldó elszámolós rendszer hosszú távon nem fenntartható, ezért 2021. július 1.-től bevezették az ún. bruttó elszámolási rendszert. Ennek a lényege, hogy nem ugyanazon az áron fogják elszámolni a hálózatról vételezett, és a hálózatba visszatáplált villamosenergia egységárát. Ebben az esetben előfordulhat az is, hogy a napelemes rendszerünk megtermeli a háztartásunk teljes éves fogyasztását, de mégis fizetnünk kell villanyszámlát. A különbség alapja az Áramszolgáltató által kért Rendszerhasználati díj összessége.

Ez a támogatási rendszer jelen pillanatban még csak választható, viszont 2024. január 1.-étől már kötelezővé válik minden háztartás számára.

2.2. 50 kW – 49,99 MW névleges teljesítményű kiserőmű

Ekkora teljesítmény esetén az erőművek helyigénye olyan mértékben megnő, hogy erőművek többségét vagy földre telepítik (régik KÁT-os erőművek pl.), vagy tetőre főként ipari létesítmények esetében. Egy 500 kVA-es naperőmű létesítéshez kb. 1 ha árnyékmentes terület szükséges. A létesítés építési engedélyhez kötött, amelyet a területen illetékes kormányhivatal Mérésügyi és Műszaki Biztonsági Hatósága állít ki. Ebben az esetben régen a szaldó elszámolás helyett a Kötelező Átvételi Tarifa (KÁT) volt az elszámolás alapja, később Megújuló Támogatási Rendszer (METÁR) [4] rendszerű lett. Jelen pillanatban egy ilyen erőmű mindenképpen fel kell mutasson PPA (Power Purchase Agreement) szerződést, amely hosszú távon biztosítja, hogy a megadott mennyiségű villamosenergiát megvásárolja egy fogyasztó vagy egy villamosenergia-kereskedő. A KÁT illetve a METÁR-KÁT rendszernek a lényege, hogy a MAVIR-nak az általunk megtermelt, és hálózatra visszatáplált megújuló villamosenergia után jogszabályban meghatározott fix díjat kell fizetnie.

Vannak olyan nagyfogyasztó vállalatok, amelyek a 15 perces adatok alapján úgy méretezik a rendszert, hogy a megtermelt villamos energiát minden pillanatban fel is tudják használni. Ilyen rendszerek esetében természetesen hálózatra visszatáplálásról nem beszélhetünk, úgyhogy az erőművet visszawatt védelemi rendszerrel kell ellátni.

Ekkora léptékben nem elég az építési engedélyt beszerezni, hanem szükség van az összevont kiserőművi engedélyre is, mely tartalmazza az kiserőművek kivitelezési határidejét, a támogatás időtartamát, és az átvételben támogatott villamos energia mennyiségét is.

A KÁT rendszerrel ellentétben a METÁR rendszer támogatási ideje nem a beruházás volumenétől függ, hanem fix 15 év.

2.3. 50 MW feletti névleges teljesítményű erőmű

Ekkora teljesítmény esetén már nem a kiserőművi szabályok vonatkoznak a létesítményre, hanem az erőművi szabályok, éppen ezért megújuló erőművet jelenleg nem is találunk még hazánk területén.

3. A TERÜLET KIVÁLASZTÁSA

3.1. A naperőmű elhelyezése

Mivel a területen lévő épületek tájolása, állapota és tetőszerkezete nem megfelelő az elhelyezésre, ezért arra a következtetésre jutottam, hogy egy földre telepített rendszer lenne a legalkalmasabb a megrendelő számára. Ezzel a módszerrel tervezhető az erőmű déli tájolással, és mi választhatjuk meg a dőlésszög nagyságát.

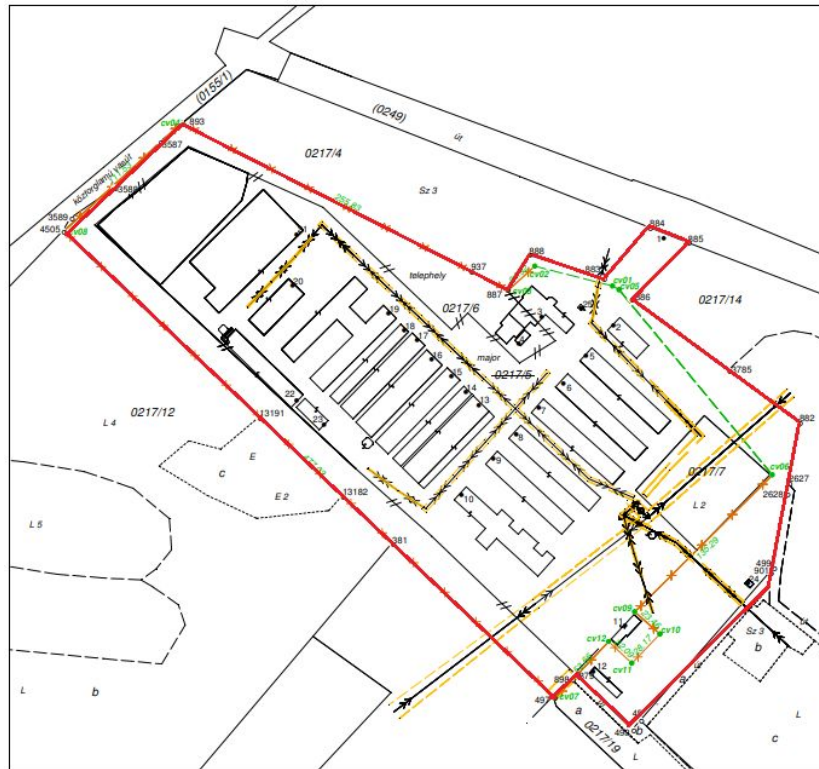
3.2. A terület földhivatali ellenőrzése

Miután meghatároztuk, hogy az erőmű a talajfelszínre telepített lesz, az első bekérendő dokumentum a terület tulajdoni lapja, illetve a telephely mérési vázlata volt. Előbbit azért, hogy tudjam hány helyrajzi szám található a területen, és ezek milyen művelési ágba tartoznak. Utóbbira azért van szükség, mert ezen a dokumentumon nem csak a méretarányos terv szerepel, hanem hogy a terület melyik város földhivatalához tartozik.

Az ország különböző részein más és más rendelkezések vannak arról, hogy milyen mezőgazdasági területeket hogyan lehet kivonni az adott művelési ágból, amelyen be van jegyezve, és milyen esetben nem beszélhetünk ilyen tevékenységről.

A példa kedvéért: Szántó 1, vagy Legelő 1-et nem is lehet kivonni. Amennyiben a besorolása átlag feletti, akkor lehet kérelmezni egy vizsgálatot területileg illetékes földhivataltól viszont csak akkor engedélyezik, ha a vizsgálat után a mezőgazdasági területet legalább 2 szinttel rosszabb kategóriába sorolják.

Jelen helyzetben is 2 db helyrajzi szám tartozik a telephelyhez, melyek alkalmasak földre telepített napelemes rendszer telepítésére. Ezen területek a 3. ábrán láthatóak.



3. ábra: Telephely mérési vázlata

Elsőnek a 0217/7-es területet vizsgáltam meg, mivel ez van legközelebb a telephely villamosenergia-ellátását biztosító KÖF/KIF transzformátorához, és a főbb fogyasztókhoz. Ezen terület a művelési ág besorolása jelenleg „Legelő 2”, ezért új területet kellett kijelölni. Mivel a 0217/6-os helyrajzi szám besorolása már mezőgazdasági művelési ágból kivett majornak minősül, ezért úgy döntöttem, hogy oda fogom méretezni a napelemez rendszert.

Mivel tervező asztal mögül kissé nehéz a jelenlegi helyzetet felmérni, ezért a következő feladat a helyszíni szemle volt.

3.3. A terület helyszíni ellenőrzése

Mielőtt személyesen vettem szemügyre a telephely adottságait, azelőtt ellenőriztem az interneten a közműterképen [2]. Bejárás alkalmával a helyszínen egyeztettem erről a tulajdonossal és kiderült, hogy általam választott területen nincs semmilyen földbe telepített közmű (pl. vízcső, gázcső). A terület elrendezése sík, és a felülete nagyrészt termőföld volt, viszont a régmúltban volt ott egy épület, melynek csak az alapja van már meg.

Mivel máshol nem találtam olyan területen a telephelyen, ahol egy ekkora erőművet telepíteni lehet, ezért a délkeleti sarokban, egy kisméretű szabadvezetékkel keresztezett részt választottam.



4. ábra: Kiválasztott terület [2]

4. HÁLÓZATRA CSATLAKOZÁSI LEHETŐSÉGEK ELLENŐRZÉSE

Az ingatlan villamosenergia-ellátása a helyszínen található 22/0,4 kV KÖF/KIF transzformátorról történik. Ennek a helyét, illetve a kiválasztott területtől való legközelebbi távolságát az 5. ábra jelöli.



5. ábra: Transzformátor távolsága [2]

Abban az esetben, amennyiben megvalósítható az adott számú napelem elhelyezése a területen, akkor a szolgáltatónak be kell adni egy igénybejelentő nyomtatványt, amelyen szerepelnek az alábbi villamos adatok:

- kiserőmű típusa / Fotovoltaikus
- kiserőmű teljesítménye / 50 kVA
- hálózatra csatlakozás módja / 3 fázis (2021. április 30.-tól 2,5 kVA felett kötelező)

Az ezt követő 30 napban válaszul megkapjuk a Műszaki Gazdasági Tájékoztatót (MGT), amiben az elosztóhálózati engedélyes (DSO) meghatározza, hogy lehetséges-e a hálózatra csatlakozás. Amennyiben igen, akkor a dokumentáció az alábbi pontokat tartalmazza:

- hálózatra csatlakozási pont melyik vezetéken, és melyik oszlopon lehetséges
- erre az oszlopra milyen kapcsoló felszerelése szükséges (OK vagy TMOK)
- ennek a folyamatnak milyen pénzügyi, és műszaki paraméterei vannak.

Az MGT megküldését követően 3 hónap áll rendelkezésünkre, hogy azt elkészítsük a csatlakozási tervdokumentációt (CST).

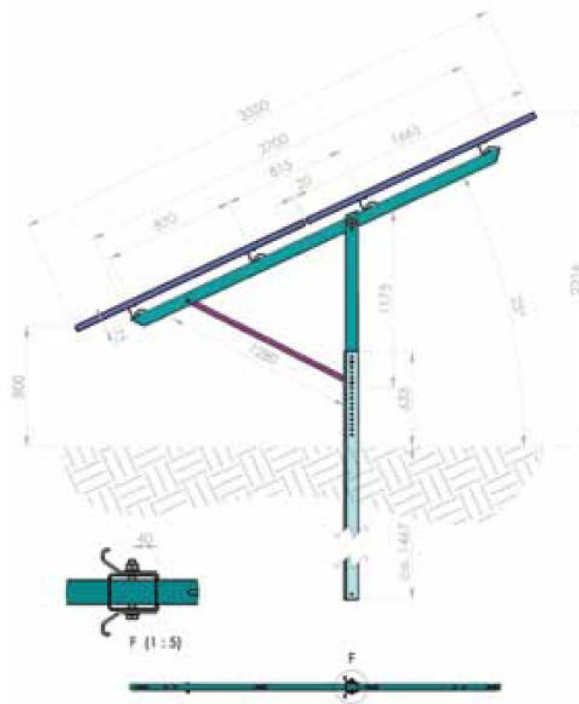
A kiválasztott terület metsző vezeték az a MVM Démász Áramhálózati Kft. tulajdonában lévő kiefeszültségű szabadvezeték. A 2/2013. (i. 22.) NGM rendelet (a villamosművek, valamint a termelői, magán- és közvetlen vezetékek biztonsági övezetéről) [5] alapján kiefeszültségű szabadvezeték esetén 1 méter biztonsági övezetet kell meghagyni a vezeték mindkét oldalán. Általános esetben ezt a területet az árnyékhatás miatt növelni kell, viszont mivel az oszlopok nem a területen helyezkednek el, ezért ezzel nem kell foglalkozni.

5. TARTÓSZERKEZET

5.1. A tartószerkezet kiválasztása

A terület helyszíni bejárásán tapasztalt terepviszonyok síknak mondhatóak, minimális lejtéssel. Ezt figyelembe véve a választott tartószerkezet az egylábas „Zimmermann Ground Mount Solar Mounting System ZM 1 V” [6]. Ennek az alépítménynek a kialakítása tűzihorgonyzott acél oszlopokkal és alumínium sínekkel történik, mely révén stabil, és időtálló szerkezetet kapunk. A C-sín a szerelés során kábeltálcaként használható, így nincs szükség vízszintes kötegelésre. Az összeszerelés során állítható a magasság, és a dőlésszög is. Cölöpözés megkezdése előtt érdemes egyeztetni a gyártóval, hogy pontosan milyen napelem kiosztás szerepel a terveken, hogy pontos elemszámmal tudjanak árajánlatot adni. (próbacölöpözés mindenképpen szükséges, amely után a gyártó számításait egy statikus hagy jóvá) A cölöpözés miatt a szerkezetre ható számottevő terhelés levezethető a talajba. A tervek alapján a napelemek álló elrendezésben, két sorban lesznek elhelyezve a tartószerkezeten.

A tartószerkezeteket a föld alatt össze kell kötni egymással és a kerítéssel is az EPH rendszerbe egy 10 mm²-es „Pröpster 100010” [7] tűzihorgonyzott köracél vezetékkel.



6. ábra: Tartószerkezet metszet [6]

6. NAPELEM

6.1. Napelemek története

A napelemek működésének alapját a fotovoltaiikus hatást 1839-ben fedezte fel egy francia fizikus Alexandre Edmond Becquerel. Felfedezésének lényege, hogy fénysugárzás hatására félvezető anyagokban elektron áramlás történik, és ennek hatására feszültségkülönbség keletkezik.

Az első modern értelemben vett napelem létrehozója 1883-ban Charles Fritts volt, aki szelén, és egy vékony aranylemez segítségével alkotta meg a nagyságrendileg 1% hatásfokú eszközt. Ezek után ébredtek rá a kutatók az ultraibolya sugárzás töltésszétválasztó hatására, viszont a fotoelektromosság fizikai leírását csak 1905-ban Albert Einstein alkotta meg, amiért 1921-ben Nobel-díjjal tüntették ki.

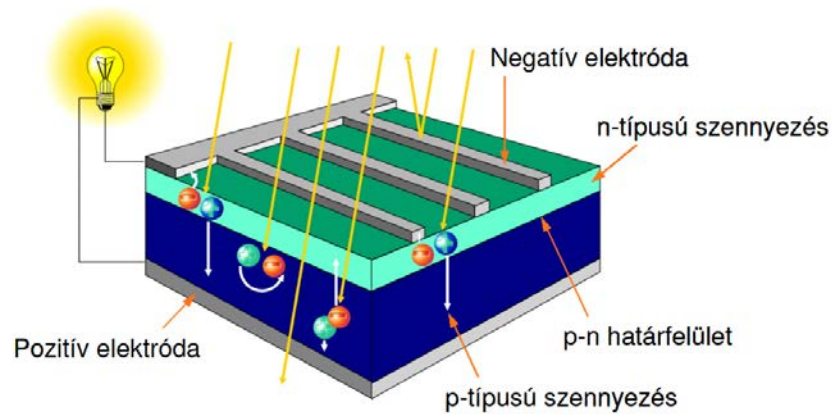
6.2. Napelemek fizikai felépítése

A napelem, amint a nevében is benne van, egy olyan szilárd test, amely a napsugárzás energiáját (fotonbefogást) közvetlenül alakítja villamos energiává. Ha a napelemet fény éri, akkor a ráeső fotonok energiájukat átadják a félvezetők elektronjainak, és ezek után a 2 réteg között elektromos mező jön létre, amely lehetővé teszi az elektronok ellentétes irányú áramlását, melynek következtében létrejön az egyenáram.

Ennek a folyamatnak a lezajlása három fő részből áll:

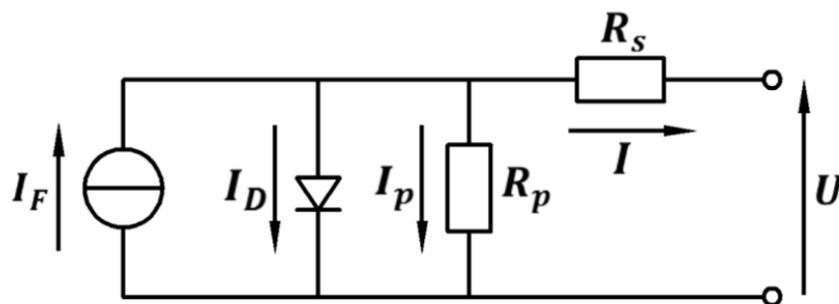
- a fényelnyelés következtében az elektronok gerjesztett állapotba kerülnek
- mozgásképes pozitív és negatív töltések keletkeznek
- ezen töltések kivezérlése a rendszerből

Felépítésük szempontjából 2 félvezető réteg helyezkedik el egymáson, és közöttük egy vékony szigetelő található. Az negatív félvezető réteget foszforral, a pozitív réteget pedig bórral szennyezik. Ennek következtében az n-típusú rétegen fölösleges elektronok keletkeznek, míg a p-típusún elektron hiány fog fellépni. Amint ez megtörténik létrejönnek a lyukak, és a szabad elektronok, amelyek egyesülését rekombinációnak nevezzük.



7. ábra: Napelemben lezajló fizikai folyamatok szemléltetése [8]

A folyamat lezajlása után a napelemet egy külső áramkörhöz kapcsoljuk, amelyet a p-n határfelületen keletkezett feszültséggel táplálunk.



8. ábra: Napelem cellák elméleti helyettesítő képe [9]

Ezt a folyamatot szemlélteti a 8. ábra, ahol:

- I_f - Besugárzás által létrehozott fotoáram.
- I_D - A PV félvezető jellegét reprezentálja.
- R_p - Söntellenállás, mely a veszteséget, illetve a töltés rekombinációt írja le.
- R_s - Elem belsejében megjelenő veszteségek.

A kapcsolásban jelölt áramgenerátorral modellezzük a töltésszétválasztást. A diódát a p-n átmenetben lezajló fizikai folyamatok miatt, a soros és párhuzamos ellenállásokat pedig a veszteségek miatt láthatjuk a képen. A soros ellenállás a félvezetők ellenállásától, és egymástól való távolságától függ, a párhuzamos pedig a p-n átmenten kívül rekombinálódott töltésektől, amelyet szivárgó áramnak nevezünk.

6.3. Napelemek osztályozása gyártási technológiák szempontjából

A fotovillamos technológiák összehasonlításánál elsődlegesen a modulok celláinak alkotóelemét vizsgáljuk. Napjainkban a legelterjedtebb megoldás a szilíciumkristályos, amely a világon beépített összkapacitások mintegy 85%-át adják. Ezt a gyártási technológiát a leghatékonyabbnak mondhatjuk jelen pillanatban, viszont a fejlesztési lehetőségük szempontjából már érett szakaszba értek. A napelem modulok névleges teljesítményét már csak a cellák számával, és ezzel arányosan méretével tudjuk növelni.

Fejlesztési potenciál jelen pillanatban a különböző ötvözetekből készült megoldások jelenthetik, viszont a hatásfok területén egyenlőre nincs áttörés.

A napelem modulok manapság többnyire szilícium cellákból épülnek fel, melyeknek típusa lehet:

- Monokristályos szilícium
- Polikristályos szilícium
- Vékonyréteg technológia (Amorf)

6.3.1. Monokristályos szilícium napelemek

A gyártás során több héten keresztül növesztik a szilícium kristályt henger alakúra, hogy egy kristályhibák nélküli, nagy tisztaságú anyaggal dolgozhassanak tovább növelve a hatásfokot. Amint ezt elérték, akkor különböző technológiai folyamatokkal vágják őket 0,1 és 0,2 mm vékony szeletekre, amelyekből kialakulnak a cellák. Ennek a típusnak a gyártási energiaigénye, és hosszúsága miatt drágának mondható, viszont élettartamát tekintve (25 év), illetve 20% feletti hatásfoka miatt mégis egyre népszerűbb napjainkban.

6.3.2. Polikristályos szilícium napelemek

A természetben is megtalálható szilíciumot ebben az esetben egy speciális öntési eljárással készítik, és csak a megszilárdult tömböt szeletelik cellákra. Formájukat tekintve a cellák téglalap alakúak, ezért láthatjuk már messziről, hogy melyik modul milyen eljárással készült. Ennek a típusnak a kristályszerkezete már nem homogén, így a hatásfokuk sem olyan kedvező, mint a monokristályosnak, viszont sokkal olcsóbb.

6.3.3. Vékonyréteg technológia (Amorf)

A gyártási technológia során itt nem kristályosítják ki a szilíciumot, és nem is biztos, hogy ezzel az anyaggal készül. A félvezető réteget itt felgőzölnek egy hordozó felületre, amely lehet üveg, fém, vagy bármilyen más időjárásálló anyag. Ezzel a megoldással jelentős anyagköltséget lehet megspórolni, így ez jelenleg a legolcsóbb megoldás. Hatásfokukat tekintve (6-8%) jóval alacsonyabb, mint a kristályos változatoké, viszont a méretük nincs behatárolva. Akár több négyzetméter is lehet a felületük, és mivel az nem is mindig sík, ezért az építészetben találkozhatunk vele több helyen is.



9. ábra: Elterjedt fotovillamos panelek jellemző kialakítása: monokristály (bal), polikristály (közép), vékonyréteg (jobb) [10]

7. INVERTER

7.1. Inverterek szerepe

Világunkban és így hazánkban is legfőképpen elterjedő „zöld energia” képviselői a napelemes rendszerek, melyek környezetvédelmi szempontból csekély szintű széndioxid kibocsátással, és zajszennyezéssel képesek üzemelni. Mindezek mellett a fenttarthatóságuk, az alacsony karbantartási és működési költségekben is tapasztalható.

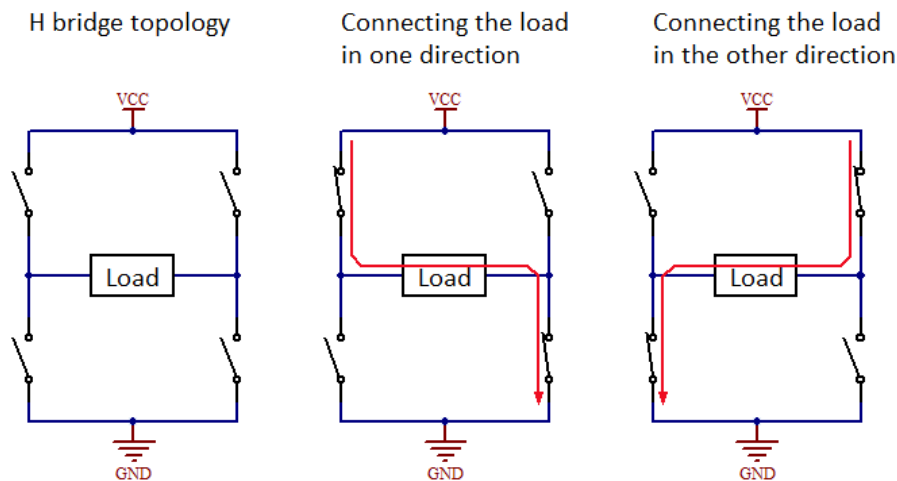
Ezen villamosenergia-termelő rendszerek olyan léptékű növekedése tapasztalható jelen pillanatban, amely a hálózatüzemeltetőt komoly kihívások elé állítja. Ilyen kérdéses terület például a termelés és fogyasztás nem egyidejű fellépése, a feszültségviszonyok változása, és ezzel ez elosztó hálózat elemeit érintő maximális terhelhetőség. Ezekre a problémákra lehet nagymértékű segítség a hálózatra csatlakozó rendszerek inverterének a megfelelő vezérlése, amely révén a termelő egységek részt vállalhatnak a hálózat működtetésének optimalizálásában. Mivel a jelenlegi trendekből arra következtethetünk, hogy a jövőben ezen erőművek fogják dominálni az elosztott energiatermelő piacot, nagymértékű kutatások folynak a napelemes inverterek fejlesztésére.

Az inverter valójában egy rendkívül összetett teljesítményelektronikai eszköz, amelynek legfőbb feladata a napelemek által termelt egyenáramú villamos energiát, a hálózatnak megfelelő paraméterű váltakozó áramú energiává konvertálja. Mindezek mellett a különböző feszültség szintek illesztésének feladatát, valamint egyes esetekben a két oldal közötti galvanikus leválasztást is biztosítaniuk kell. Hatékonyság szempontjából arra irányulnak a fejlesztések, hogy kövessék a maximális teljesítményű munkapontot, szabályozzák a hálózat felé leadott feszültség és áram nagyságát, és az ezen vektorok által közre zárt fázisszög nagyságát, valamint, hogy a szabványokban megjelölt védelmi funkciókat ellássák.

7.2. Inverterek működése

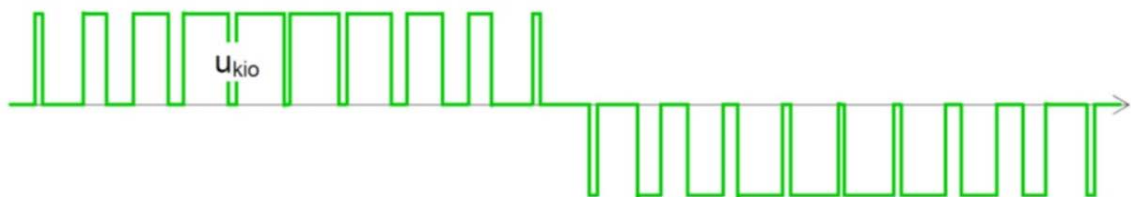
Az inverterek működéséhez RL köröket szoktat beépíteni, hogy abban az esetben amikor nincs feszültség a rendszerben akkor is mérhető legyen az áram. Ebben az esetben az induktivitáson folyó áram értéke idővel lehet végtelen is, viszont a beépített ellenállás miatt, ha nincsen feszültség akkor az energia disszipáció itt következik be.

Kialakításukat tekintve az invertet két párhuzamos hídákapcsolással valósítják meg, amelyekre egyenáramot kapcsolva a kimenetei kapcsain két váltakozó polaritású nem szinuszos feszültséget kapunk. Ez úgy valósítható meg, hogy az egyik ág felső kapcsolója, illetve a másik ág alsó kapcsolója legyen zárt állásban. Ezen hídágaknál a legfontosabb előírásnak tekinthetjük, hogy egy ágon a két kapcsoló soha ne legyen egyszerre bekapcsolva, mivel az rövidzárlatot okoz, ami az eszköz tönkremenetelét eredményezi. Abban az esetben, ha a két felső kapcsoló áll hasonló állásban, akkor a kimeneten azonos polaritás fog megjelenni, és így feszültség nem lesz mérhető.



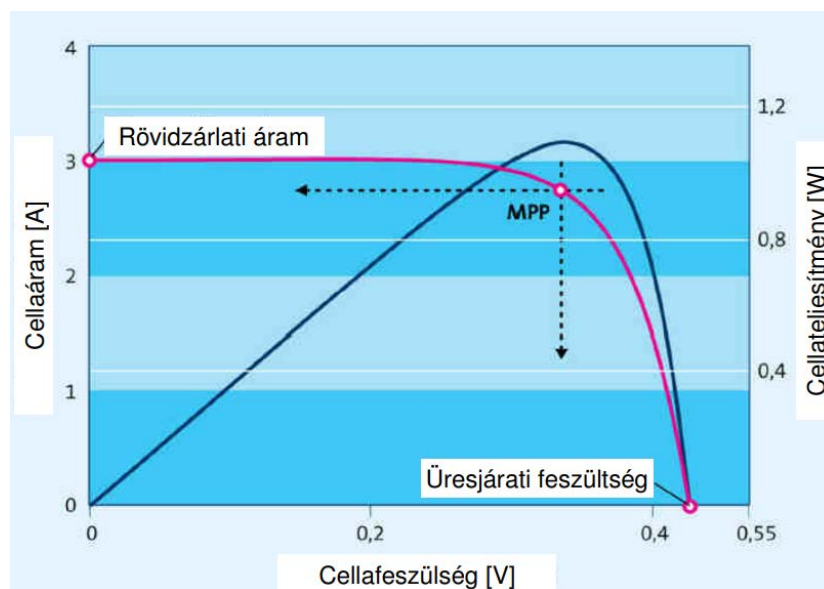
10. ábra: Inverterek hídákapcsolása [11]

Ahhoz, hogy másodpercenként akár 1000 kapcsolásra is képesek legyen ezen kapcsolók, ahhoz tirisztorokat alkalmaznak alternatív ákapcsolásban. Amennyiben a két hídágot nem szinkronban ákapcsoljuk, hanem késleltetéssel, akkor beszélünk fáziseltolásról. Ebben az esetben tud az inverter úgy teljesítményt szabályozni, hogy a fázisszöget 0° és 180° között változtatja (egy periódus 360°). Minél kisebb ez a szög annál nagyobb teljesítményt tudunk kinyerni a rendszerből. Ezt hívjuk kitöltési tényezőnek.



11. ábra: Inverterek kitöltési tényezője

A napelemes inverterek működésének a legfontosabb feladata az az, hogy az áramot és feszültséget úgy szabályozza, hogy a szorzatuk, maga a kiadott teljesítmény minden pillanatban a legnagyobb legyen. Mivel a panelek egymással sorba vannak kötve, ezért az áramerősség nagysága állandó, viszont a feszültség a darabszám szorzatával lesz egyenlő. Mivel folyamatosan a legnagyobb teljesítményt szeretnénk kinyerni a rendszerből, ezért hozták létre a MPPT (Maximal Power Point Tracking) algoritmust. Ennek a lényege, hogy a maximális teljesítmény kivétel érdekében az inverter folyamatosan változtatja a feszültség szintet a terhelő áram függvényében. (12. ábra)



12. ábra: Inverterek munkapont keresése [12]

7.3. Inverterek topológiák

Az inverterek kialakításának és osztályozásának számos lehetősége van, melyek egyrésze már a gyakorlatban is alkalmazott megoldáson alapszik, viszont vannak még csak elméleti síkon létező teóriák is.

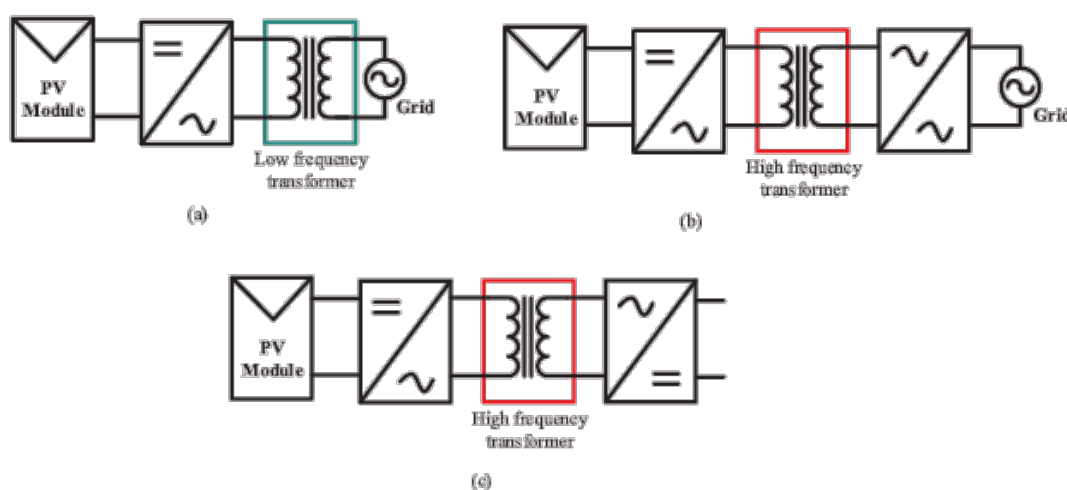
A legelterjedtebb osztályozási szempontok:

- Inverter transzformátor tartalma szerint
- Konfiguráció szerint
- Hálózati kapcsolat szerint

7.3.1. Inverter transzformátor tartalma szerint szerinti csoportosítása

Ebből a szempontból megkülönböztetünk transzformátort tartalmazó (13. ábra), és transzformátor nélküli invertereket.

Hogyha a hálózatkapcsolt inverterbe egy hálózati frekvenciás transzformátor van beépítve, akkor az eszköz kimenetén biztosítva van a galvanikus leválasztás a rendszer és a hálózat között. Ez a kialakítás meggátolja az egyenáram hálózatba kerülésének lehetőségét, viszont a veszteség növelő és hatásfokuk csökkentő hatásuk (akár 2% is lehet) igen jelentős. Nagy méretük és tömegük jelentős költségemelkedést eredményez, ezért ezt a beépített eszközt kiváltották egy úgynevezett nagyfrekvenciás transzformátorral. Ennek az alkalmazása olyan szintű költségoptimalizálást okozott, hogy szükségtelenek lettek a hálózati frekvenciás transzformátorok.



13. ábra: Transzformátorok lehetséges elhelyezése napelemes inverterekben

Jelenleg a legkedvezőbb áron a transzformátor nélküli inverterek vannak jelen a piacon, melyekkel valamivel nagyobb hatásfok érhető el. Ezen eszközök tekintetében a galvanikus leválasztás a hálózatról nem biztosított, illetve a föld és az inverter között olyan feszültség fluktuáció alakulhat ki, amely által megjelenhet szivárgó áram is, amely az inverter veszteségének növekedését, és a hatásfokának csökkenését okozhat.

Mindezek mellett a két eszköz megítélése nagyon vegyes, de a kedvezőbb hatások (akár 98%), és a kisebb tömeg a transzformátor nélküli inverterek felé billenti a mérleg nyelvét.

Inverter	Hálózati frekvenciás transzformátor	Nagyfrekvenciás transzformátor	Transzformátor nélküli kialakítás
Előny	- Galvanikus leválasztás miatt nagyobb biztonság, - Nagy megbízhatóság - Egyszerű kialakítás	- Galvanikus leválasztás miatt nagyobb biztonság - Nagy hatékonyság - Kisebb tömeg - Kompakt és egyszerű kialakítás	- Magas hatásfok - Kis tömeg - Kompakt kialakítás
Hátrány	- Nagy méretek és tömeg - kis hatásfok	- Költséges technológia - Komplex	- Komplex - Különleges biztonsági megoldások alkalmazása szükséges

1. táblázat: Transzformátorok lehetséges elhelyezése napelemes inverterekben

7.3.2. Inverter konfiguráció szerinti csoportosítása

A napelemes rendszerekben alkalmazott inverter konfigurációkat 4 fő csoportba tudjuk sorolni:

- Központi (central) inverter
- Sztring inverter
- Modul, vagy mikro inverter
- Multi - sztring inverter

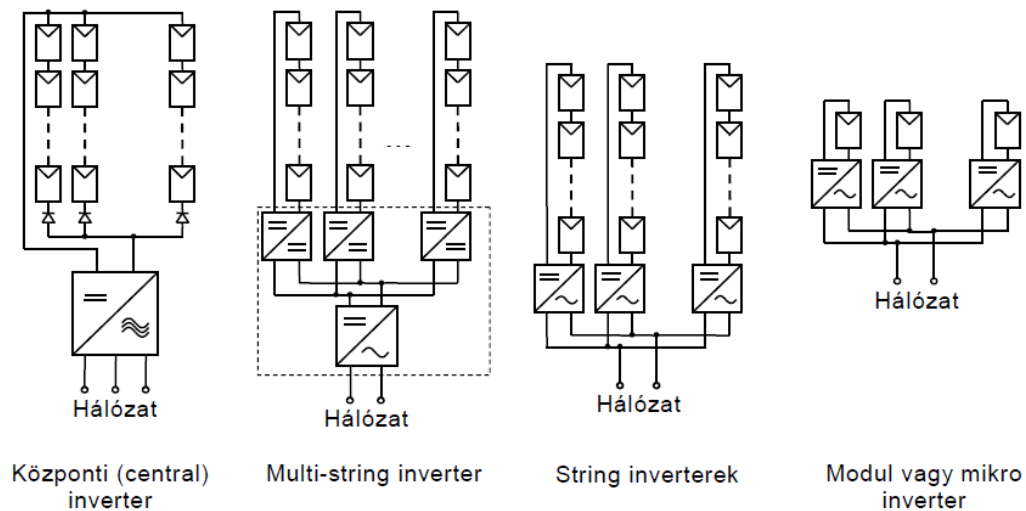
Ezen kategóriák legfőképpen a létesítendő rendszer teljesítmény tartományában különböznek egymástól.

A központi inverter alkalmazása a legnagyobb teljesítményű (MW-os léptékű) rendszereknél jellemző, ahol egységteljesítményük 500-3000 kW között mozog.

A sztring inverter jelen pillanatban a legelterjedtebb a világon. Olyan erőműveknél alkalmazzák, melyek teljesítmény tartománya 10-5000 kW közé tehető.

A modul inverterek alkalmazási területe csak a néhány modult magába foglaló rendszerek esetén érdemes alkalmazni. Egységnyi teljesítményük W-os léptékben mérhető.

A multi - sztring típusú inverterek a közepes méretű (1,5-10 kW), általában tetőre szerelt rendszereknél jellemző.



14. ábra: Inverter konfigurációk osztályozása: (a) központi (b) sztring (c) modul vagy mikroinverter (d) multi - sztring inverter

7.3.2.1. Központi (central) inverter

Kialakításuk tekintve a sztingeket nagyszámú sorba kapcsolt napelem teszi ki, viszont ezek nem közvetlenül kapcsolódnak az inverterre, hanem egymással párhuzamosan kötve érik el annak DC oldalát. Ezzel a kialakítással nagy teljesítményt lehet elérni, viszont több hátrulütője is van:

- A modulok és az inverter megnövekedett távolságát a jóval hosszabb DC kábellel kell megvalósítani
- Az inverter meghibásodása esetén jelentős teljesítménykieséssel lehet számolni
- A munkapont követés nem sztingenkénti, így részleges árnyékolás esetén a rendszer teljesítménye visszaesik

7.3.2.2. Sztring inverter

Felépítésük annyiban tér el a központi inverterekétől, hogy itt minden sztring közvetlenül kapcsolódik az eszközhöz. Ennek következtében akár 1-3% hatásfokjavulás érhető el, és a rendszer monitoringása is jóval átláthatóbb. Hátrányai között szerepel a jóval nagyobb beruházási költség, valamint az, hogy a kisebb teljesítményű egységek meghibásodásának valószínűsége jóval magasabb.

7.3.2.3. Multi - sztring inverter

Lényegében ez egy hibrid kialakítás, mely próbálja ötvözni az előzőekben említett két típus előnyeit. Ebben az esetben minden sztring rendelkezik egy DC-DC átalakítóval, amely biztosítja a maximális munkapont követést. Ezen átalakítók kimenetei a központi inverterhez hasonlóan párhuzamosan vannak kötve egymással, és úgy csatlakoznak a közös DC/AC átalakítóhoz.

Napjainkban azért nem jellemző ez a típus, mert a többszintű energiaátalakítás negatívan befolyásolja a hatásfokot, viszont költségei jelentősek.

7.3.2.4. Modul, vagy mikró inverter

Ilyen technológia esetén minden napelem modulban integráltan megtalálható az átalakító, melynek révén a modulok eltérő tájolással is megfelelően tudnak működni. Teljesítmény veszteségük elhanyagolható lesz, viszont a hatásfok itt a lejmagasabb, elérheti a 98%-ot is. Legnagyobb hátránya, hogy a nagy teljesítményű rendszerek esetén a beruházási költség igen magas.

Kialakítás	Központi inverter	Sztring inverter	Multi - sztring inverter	Modul inverter
Előny	- Alacsonyabb fajlagos költség - Robusztus kialakítás - Kisebb DC oldali költségek	- Flexibilis kialakítás - Részleges árnyékolás hatásai mérsékeltebbek - Sztring diódák veszteségeit kiküszöböli - Növelt megbízhatóság: egy inverter kiesése nem jelenti az egész erőmű leállását	- Sztring diódák veszteségeit kiküszöböli - Részleges árnyékolás hatásai mérsékeltebbek - Egyedi MPPT szabályozás	- Modulok különbözősége nem okoz teljesítményvesztést - Részleges árnyékolás problémáját kiküszöböli - Hibás modul detektálása egyszerűbb - Moduláris
Hátrány	- Sztring diódák vesztesége - Modulok eltéréséből és központi MPPT-ből adódó teljesítményvesztés - Kritikus elem - Részleges árnyékolás - Flexibilitás hiánya - Kevésbé megbízható	- Elsősorban kisebb teljesítményekhez ideális	- DC/DC átalakítás vesztesége - A közös DC/AC átalakítás csökkenti a rendszer robusztusságát	- Hibás inverter cseréje nehézkes
Költség	- Sztring inverterhez képest alacsonyabb	- Központihoz képest magasabb	- Központihoz képest magasabb	- Sztring inverterhez képest alacsonyabb, - de nagy teljesítmények esetén relatíve magas lehet
Teljesítmény	- jellemzően MW-os tartomány (0,5 -3 MW)	- 3 fázisú inverterek esetén jellemzően 5 kW – 250 kW	- kb. 50 kW	- legfeljebb 500-600 W
Jellemző erőmű méretet (beépített teljesítmény)	- 5 MW felett	- pár 10 kW – 5 MW	- pár kW – pár 10 kW	- pár kW – pár 10 kW

2. táblázat: Napelemes inverter konfigurációk összehasonlítása

7.3.3. Inverter csoportosítás hálózati kapcsolat szerint

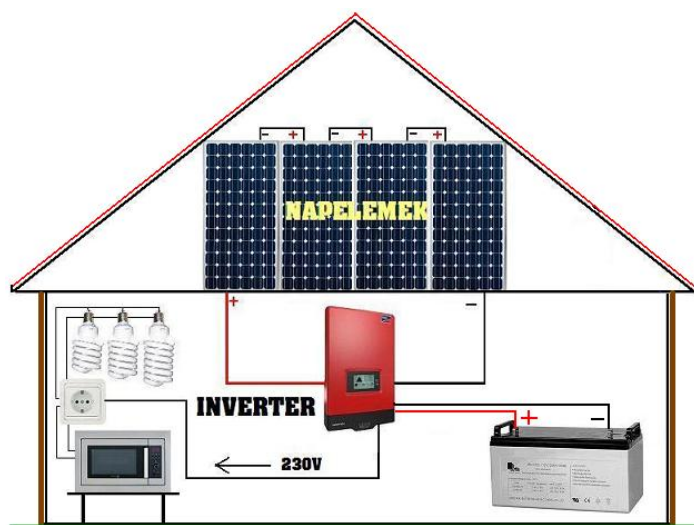
A napelemes rendszerekben használt inverterek között is az egyik legfontosabb tényező a hálózattal való kapcsolat. Ebben a tekintetnek három fő típust különböztetünk meg:

- Sziget üzemű inveter
- Hálózatra kapcsolat inverter
- Hibrid inverter

7.3.3.1. Sziget üzemű inverter

Erre az eszközre olyan esetekben van erre szükség, amikor a telepítés helyszíne villamos betáplálással nem rendelkezik. A napelemes rendszer által megtermelt energia ugyanúgy elsőként az inverteren folyik át, viszont olyan esetben, amikor nincs villamos fogyasztás akkor egy energiatároló egységet tölt energiaátalakítás nélkül. Az éjszakai órákban - amikor termelésről nem beszélhetünk – lesz meghatározó szerepe a berendezésnek, amikor is a tárolóban lévő egyenáramot a villamos berendezési eszközöknél megkövetelt váltakozó árammá alakítja. Ezzel a módszerrel biztosítható a villamosenergia-ellátás olyan helyen, ahol a hálózattal való kapcsolat nincs kiépítve.

A kialakítás hátrányai közé sorolható, hogy nem minden típusú inverter képes a megfelelő szinuszos váltakozó feszültség előállítására, ami a villamos berendezéseinkben kárt okozhat. Ezen felül hiába vállalnak a napelem gyártók egyre nagyobb garanciát a termékeikre, az akkumulátorok élettartama ennek az időszaknak nagyjából harmada.

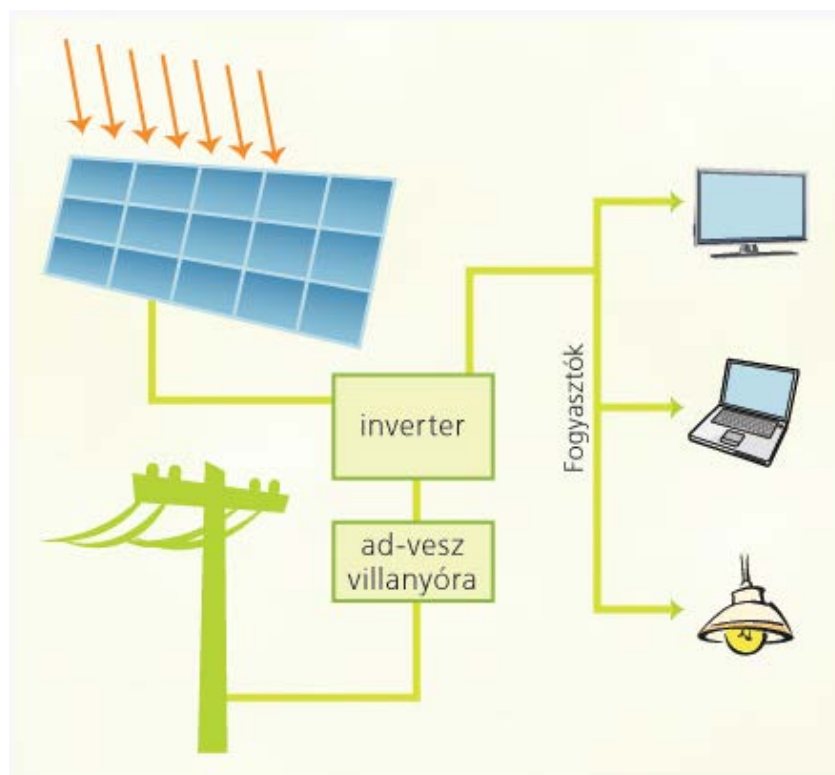


14. ábra: Sziget üzemű napelemes rendszer felépítése [13]

7.3.3.2. Hálózatra kapcsolt inverter

Abban az esetben amikor a rendszer termelési adatai meghaladják a fogyasztási igényt, akkor lehetőség van arra is, hogy a villamos hálózatba táplálják azt. Erre a célra fejlesztették ki a hálózati invertereket. Elhelyezésüket tekintve megegyeznek a sziget üzemű eszközökével, viszont itt a kimentükön csak váltóáram jelenik meg. Amennyiben van villamos fogyasztás akkor azt ellátja, amennyiben túltermelés következik be akkor pedig a hálózatra táplál. Fontos eleme ezen rendszereknek a hálózat és a fogyasztó közé beépített ad-vesz mérőóra, illetve a visszawatt védelem.

Ezen inverterek jóval összetettebb és biztonságosabb eszközök, mint az előzőekben említettek. Számos védelmi funkciót látnak el melyek nemcsak az energiatermelő rendszert védik, de a hálózatot is. Képesek adatokat szolgáltatni a feszültség, és áramerősség változásáról, valamint bármilyen zavar, vagy áramkimaradás észlelése után azonnal leválnak a rendszerről. Ezek miatt érdemes a védelmi funkciókat DSO üzemi szabályzatában szereplő értékekre lehet állítani.

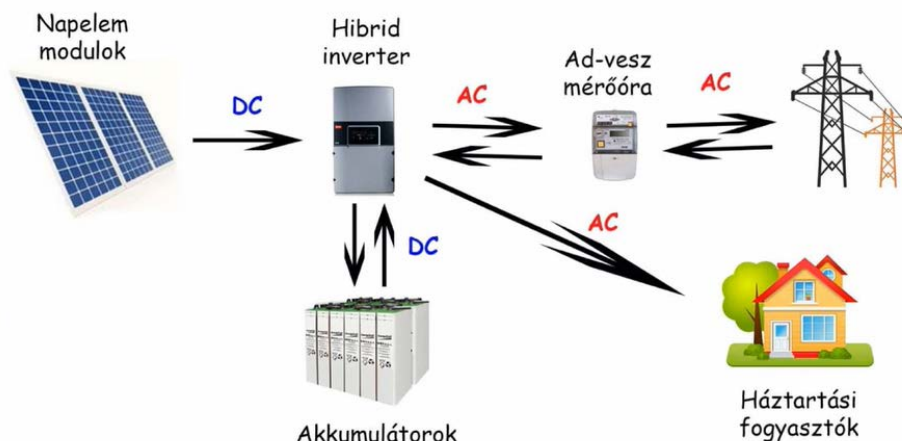


15. ábra: Hálózatra kapcsolt napelemes rendszer felépítése [14]

7.3.3.3. Hibrid inverter

A technológiai fejlődés következő lépcsőfoka volt ennek az eszköznek a létrehozása. Mind a szigetüzemű, mind a hálózatra kapcsolt invertereknek is megvannak a saját hibái, viszont az előnyeiket sikerült itt egyesíteni. Maga a rendszer hálózatra csatlakozó ugyan, viszont a termelés megkezdésekor elsőként az akkumulátorokat fogja tölteni, majd miután az megtelik, akkor tud majd a hálózatra táplálni. Hátrányi között szerepel, hogy van átkapcsolási ideje, ami a beépített akkumulátor és a fogyasztók nagyságától függ (~60 s), és beszerzési költsége jóval nagyobb társaiénál.

Olyan területekre fejlesztették ki, ahol a hálózatról vételezett energia ára jóval magasabb, mint a visszatáplálté. Itt lehetőség van ugyanakkor arra is, hogy olyan időszakokban amikor olcsón lehet vételezni a hálózatról a villamos energiát – hogyha naplemente után nincs 100%-os töltöttségen az energiatároló - akkor feltöltsük, és később használjuk fel.



16. ábra: Hibrid napelemes rendszer felépítése

8. RENDSZER FELEPÍTÉSE

8.1. Napelemes rendszer teljesítményének meghatározása

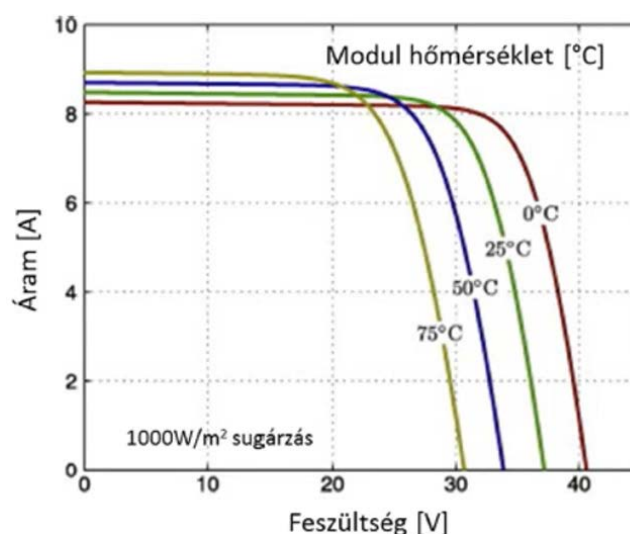
A megrendelővel való egyeztetésünk során kiderült, hogy a teljes éves villamosenergia-fogyasztását nincs módunkban lefedni. Az előzetes adatokat figyelembe véve, sem elég terület nincsen a telephelyen, sem elég beruházási költség egy nagyobb teljesítményű rendszer telepítéséhez. Ebből kifolyólag a hálózatra csatlakozó 56 kWp (50 kVA) teljesítményű HMKE rendszer mellett döntöttünk.

8.2. Napelem kiválasztás

Napelemek adatlapján minden gyártó más körülmények között vizsgálta termékeit, ezért nem volt valós összehasonlítási alapja a tervezőknek és megrendelőknek. Ezek miatt hozták létre a STC (Standard test Conditions) rendszert. Ennek alapja, hogy minden gyártó minden napelem tábláját az alábbi értékekkel vizsgálja laboratóriumi körülmények között.:

- AM (Air Mass) = 1,5 (légszennyezettség mértéke)
- $E = 1000 \text{ W/m}^2$ (besugárzott energia nagysága)
- $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ (napelemmodul hőmérséklete)

Utóbbinál érdemes megjegyezni, hogy mekkora hatással van a feszültség és áram viszonyra (18. ábra). Míg az áram értéke csekély mértékben emelkedik modulhőmérséklet növekedésénél, a feszültség csökkenés jóval nagyobb mértékben.



17. ábra: Feszültség és áram diagram hőmérséklet függvényében

Ezen két érték szabja meg a diagramon a napelem MPP (Maximal Power Point) helyét, ahol a legnagyobb teljesítményt tudjuk kinyerni belőle.

Ezen adatokból kiindulva a kiválasztott modul egy monokristályos, 500 Wp teljesítményű napelem, melynek adatait a 3. táblázat tartalmazza.

Trina Solar TSM-DE18(II)	
Névleges feszültség (Ump)	42,8 V
Névleges áram (Imp)	11,69 A
Névleges teljesítmény (Pmax)	500 Wp
Rövidzárási áram (Isc)	12,28 A
Üresjárási feszültség (Uoc)	51,7 V
Hőmérsékleti koefficiens Isc	0,04 % / C°
Hőmérsékleti koefficiens Uoc	-0,26 % / C°
Hőmérsékleti koefficiens Pmax	-0.36 % / C°
Tolerancia	0...+3 %
Maximális megengedett rendszer feszültség	1500 V DC (IEC)
Modul hatásfok	20,9 %
Modul méretei	2176 × 1098 × 35 mm

3. táblázat: Kiválasztott napelem adatai [15]

8.3. Inverter kiválasztása

Első lépésként az áramszolgáltató (MVM Démász Áramhálózati Kft.) által kibocsátott inverterek listáját kell megvizsgálni. Az ott szereplő típusok [16] a társaság által elismertek, és ezáltal a hálózatra csatlakoztathatóak.

A listában szereplő inverterek mindegyike hálózat vezérelt, melyek csak a hálózattal párhuzamosan tudnak működni, így hálózati hiba esetén automatikusan leválnak a rendszerről. Ezen felül a készülékeknek rendelkeznie kell a nemzetközi szabványokban leírt követelmények teljességét igazoló érvényes tanúsítvánnyal.

A 112 db napelem esetén a sztringek 16 sorba kötött modult tartalmaznak, ezért a választott inverterek egy 4 munkapontos Huawei SUN2000-33KTL, és egy 3 munkapontos Huawei SUN2000-20KTL-M0 típusúak.

A napelemes rendszerhez kiválasztott inverterek alapadatai:

Alkalmazott inverter típusok		
Gyártó	Huawei	Huawei
Típus	SUN2000-20KTL-M0	SUN2000-33KTL
Névleges AC teljesítmény	22 kVA	33 kVA
Munkapontok száma (MPPT)	3 db	4 db
Panelek száma	48 db	64 db

4. táblázat: Inverter adatok [17][18]

Alkalmazott stingsorok	
String modulszám	16 db
Sting csúcsteljesítmény	8000 Wp /16db*(Pmax)/
Névleges string feszültség	684,8 V /16db*Ump/
Minimum feszültség (+60°C)	708,91 V
Maximum üresjárási feszültség (-20°C)	923,98 V
Maximum áramerősség I _{scmax}	12,62 A

5. táblázat: String adatok

Egy string 16 db sorba kapcsolt modulból áll, melynek a névleges teljesítménye:

$$P_{\text{String}} = 16 * 500 \text{ W} = 8 \text{ kWp}$$

A Huawei SUN2000-20KTL és a Huawei SUN2000-33KTL-A inverter minden MPPT-jára 1 string kerül, ami azt jelenti, hogy a munkapontosoként felvett teljesítmény értéke megegyezik a string-ek névleges teljesítményével:

$$P_{\text{MPPT}} = P_{\text{String}} = 8 \text{ kWp}$$

A Huawei SUN2000-20KTL inverternek 3 darab MPPT-ja van, azaz az inverter által felvett teljesítmény:

$$P_{\text{InverterDC}} = 3 * 8 \text{ kWp} = 24 \text{ kWp}$$

A Huawei SUN2000-33KTL inverternek 4 darab MPPT-je van, azaz az inverter által felvett teljesítmény:

$$P_{\text{InverterDC}} = 4 * 8 \text{ kWp} = 32 \text{ kWp}$$

Mivel két külön típusú inverter használók, így az általuk felvett DC teljesítmény a következő:

$$P_{\text{DC}} = 24 \text{ kWp} + 32 \text{ kWp} = 56 \text{ kWp}$$

Az AC / DC oldal teljesítményaránya a következőképpen alakul:

$$\frac{P_{\text{DC}}}{P_{\text{AC}}} = \frac{56 \text{ kWp}}{50 \text{ kWp}} = 1,12$$

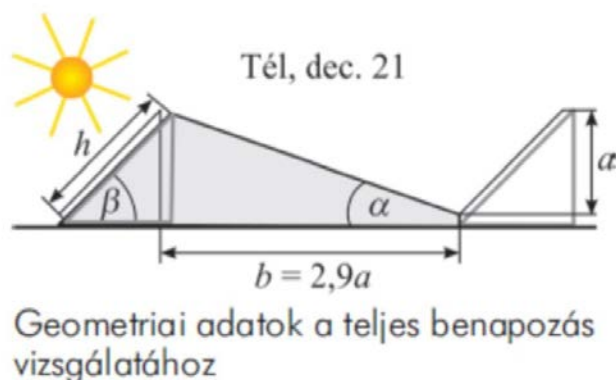
8.4. Napelemek elhelyezése

A tartószerkezeten déli tájolással, 35°-os dőlésszöggel, álló elrendezésben 2 sorban helyezük el a napelem modulokat. Mivel tisztában vagyunk a kiválasztott napelem méreteivel, és a dőlésszöggel, ezek alapján az alábbi képlettel lehet megadni a napelem alaprajzi méreteit:

$$\begin{aligned} \text{Alaprajzra vetíthető távolság} &= \\ &= \sin(90^\circ - \text{választott dőlésszög}) * \text{modul magassága} = \\ &= 1782 \text{ mm} \end{aligned}$$

Mivel 2 soros elrendezésben osztjuk ki a paneleket, ezért tudjuk, hogy alaprajzon 3565 mm méretben kell ábrázolni a sorok méreteit. Ezek után térben kell meghatározni a sorok magasságát az alábbi képlettel:

$$a = h * \sin\beta = 2496 \text{ mm}$$



18. ábra: Sortávolság számítása

Mivel Magyarország a szélességi foka 47° , és december 21.-én van a legalacsonyabban a nap, ezért annak állása miatt az α szögnek $19,4^\circ$ -nak kell lennie.

Ezek alapján meghatározható az, hogy a sorok közötti távolságnak melynek számítása:

$$b = \frac{1}{\tan \alpha} * a = 7088 \text{ mm}$$

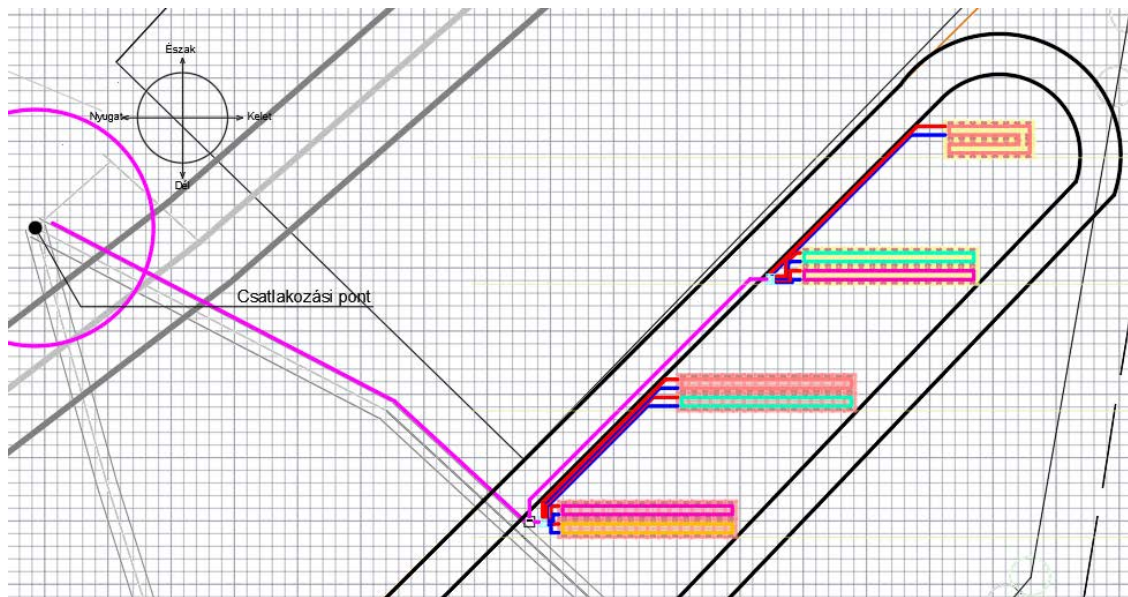
Ezek után figyelembe kell venni az is, hogy egy kifestültségű szabadvezeték keresztezi a területet.

Főbb paraméterek:

Napelem egységteljesítmény	500 W
Tartószerkezeti elosztás	2 db (álló tájolás)
Napelemek száma	112 darab
Tartószerkezet	fix tájolású
Dőlésszög	35°
Sorok távolsága	7,1 méter

6. táblázat: Napelem elhelyezés

8.5. Napelemkiosztás

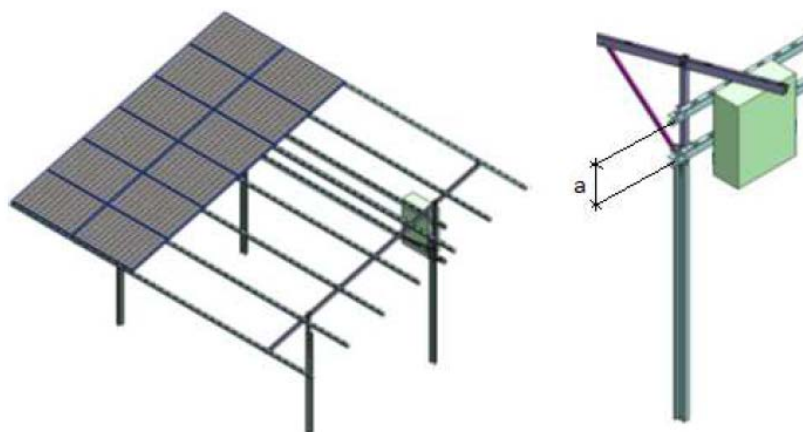


19. ábra: Napelemkiosztás

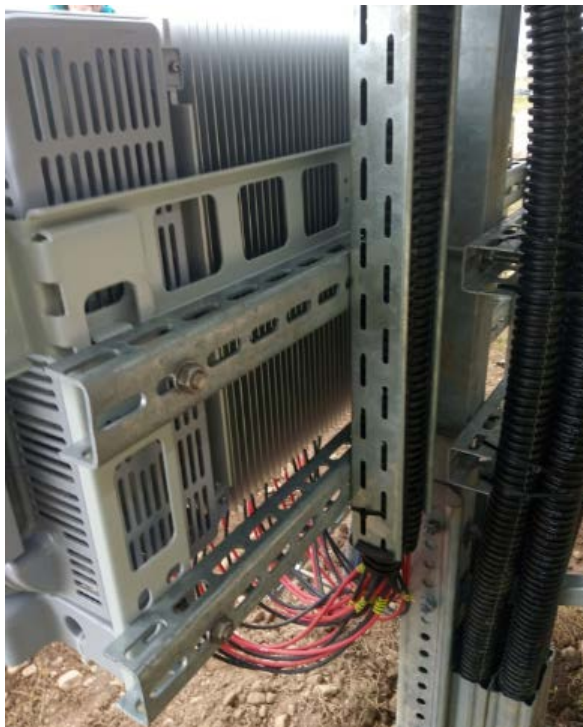
A rajzot AutoCAD 21 tervezőszoftverrel készítettem, és 9000 mm sorok közötti távolságot adtam meg. Ezen felül a kisfeszültségű vezeték mindkét oldalán, valamint a terület határain is 5 méteres biztonsági távolságot hagytam.

8.6. Inverter elhelyezése

Az inverterek a napelemsorok északi oldalán, a tartószerkezet vázára kerülnek felszerelésre a tartószerkezet gyártója által biztosított C sínekből összeállított vázra történő rögzítéssel.



20. ábra: Inverter tartó sín alap kialakítása



21. ábra: Inverterek tartószerkezeten való rögzítése

9. KÁBELEZÉS

9.1. Egyenáramú kábelezés

A napelem modulokat az inverterrel való összeköttetésre kettős szigetelésű szolár kábelt használnak. A vezető anyaga réz, és a szigetelés révén UV álló, halogénmentes, és alacsony égési osztályú kábelekről beszélhetünk. Szigetelés belső anyaga teflon (PTFE), a külső pedig polietilén (XLPE). Ilyen kivitelben a kábelek nagy átütési szilárdságúak lesznek, melyek sokkal jobban gátolják DC zárlat esetén az átívelést.

A földre telepített napelemes rendszer DC oldali kábeleit az inverterek felé a tartószerkezethez rögzítve kell elvezetni és bilincseléssel kell rögzíteni (célszerűen tűzálló gégecső, kábeltálca). A bilincseket a nyomvonal mentén 60 cm-ként kell elhelyezni. Abban az esetben, ha a string egy másik sorban folytatódik, úgy a földben a pozitív és negatív kábelek elhelyezése külön, lépésálló gégecsőben ajánlott.



22. ábra: Solar kábelek rögzítése

A választott egyenáramú kábel egy $1 \times 4 \text{ mm}^2$ keresztmetszetű LAPP H1Z2Z2-K típusú solar kábel [19].

A DC kábel effektív átviteli áramának számítása: [20]

$$I = 0,57 * 0,91 * I_o = 0,57 * 0,91 * 42 \text{ A} = 19,6 \text{ A}$$

Ahol: 0,57 szorzó két párhuzamosan futó kábel miatt, 0,91 szorzó a $+70^\circ\text{C}$ üzemi hőmérsékleti feltétel miatt.

A DC kábel terhelési árama a kiválasztott napelem modullal:

$$I_z > 1,25 \cdot I_{sc} = 1,25 \cdot 12,28 \text{ A} = 15,35 \text{ A}$$

Ezen számításokból látszik, hogy $15,35 \text{ A} < 19,6 \text{ A}$, tehát a kiválasztott kábel megfelel!

Szakasz	Fesz. Típusa	Névl. Fesz. [V]	Névl. Áram [A]	Kábel anyaga	Kereszt-metszet [mm ²]	Kábel hossza [m]
Inv. I. és String 1	DC	684,8	11,69	Cu	4	20,7
Inv. I. és String 2						19,5
Inv. I. és String 3						3
Inv. I. és String 4						3
Inv. II. és String 1	DC	684,8	11,69	Cu	4	23,8
Inv. II. és String 2						3
Inv. II. és String 3						3

7. táblázat: DC kábelezés

9.2. Váltakozó áramú kábelezés

Az inverter és a csatlakozási pont összeköttetésére alkalmazott energiaátviteli kábel. Vezető anyaga itt is lehet réz, viszont gazdasági szempontok miatt többnyire alumíniumot használnak. Az alumínium kábel alkalmazásakor az alumíniumra jellemző oxidáció kezeléséről gondoskodni kell. Az AC kábeleket feszültségesésre és terhelésre egyaránt méretezni szükséges.

Általában a napelem erőmű területén kívüli szakaszon ajánlott a minimum 70 cm kábelmélység, kábel fedlap (mechanikai védelem) alkalmazása és 30 cm mélységben kábel nyomvonal jelző szalag elhelyezése. /MSZ 13207:2020 szabvány/ [21]

Az invertertől a csatlakozási pontig olyan kábeleket és keresztmetszeteket kell választani, amelyek a csatlakozó inverter kimeneti névleges áramával terhelhetőek, ezért a választásom a NAYY 4 eres PVC szigetelésű alumínium földkábel.

Szakasz	Fesz. Típusa	Névl. Fesz. [kV]	Névl. Áram [A]*	Kábel anyaga	Keresztmetszet [mm ²]	Kábel hossza [m]
Inv. I. és AC gyűjtő	AC	0,6/1	43,8	Al	25	2
Inv. II. és AC gyűjtő	AC	0,6/1	30,4	Al	25	34
Hálózat és AC gyűjtő	AC	0,6/1	74,2	Al	35	57

8. táblázat: AC kábelezés

*Inverter névleges árama.

Kiválasztott AC kábelek ellenőrzése:

Az MSZ 13207:2020-es szabványt figyelembe véve a képlet a következő az átszámítási tényezőkkel:

$$I_t > \frac{I_a}{f_1 * f_2 * f_3}$$

Ahol:

I_t - a kábel alapterhelhetősége

I_a - az inverter névleges árama

f_1 - a talaj fajlagos hőellenállási terhelési tényezője /PVC szigetelésű 70 °C-os üzemi hőmérsékletű kábel, 2,5 K.m/W fajlagos hőellenállású és 20 °C-os talajban/

f_2 - a talajban fektetési módszer szerinti átszámítási tényező, /négyerű PVC szigetelésű kábel, 2,5 K.m/W fajlagos hőellenállású talajban, 1-es terhelési tényezővel, és 1-es kábelrendszerrel/

f_3 - az 1 méternél hosszabb védőcsőben fektetés esetén 0,85-ös szorzó /esetünkben nem releváns/.

Inv. I. és AC gyűjtő és a Inv. II. és AC gyűjtő összekötő:

A 25 mm²-es keresztmetszetű alumínium kábel terhelhetősége 4 eres kábel esetében 102 A /kisebb keresztmetszetre nincs adata szabványban/. Ez alatti értéket kell kapnunk az átszámítási tényezőket figyelembe véve:

$$102 \text{ A} > \frac{43,8}{0,76 * 0,89} = 65 \text{ A}$$

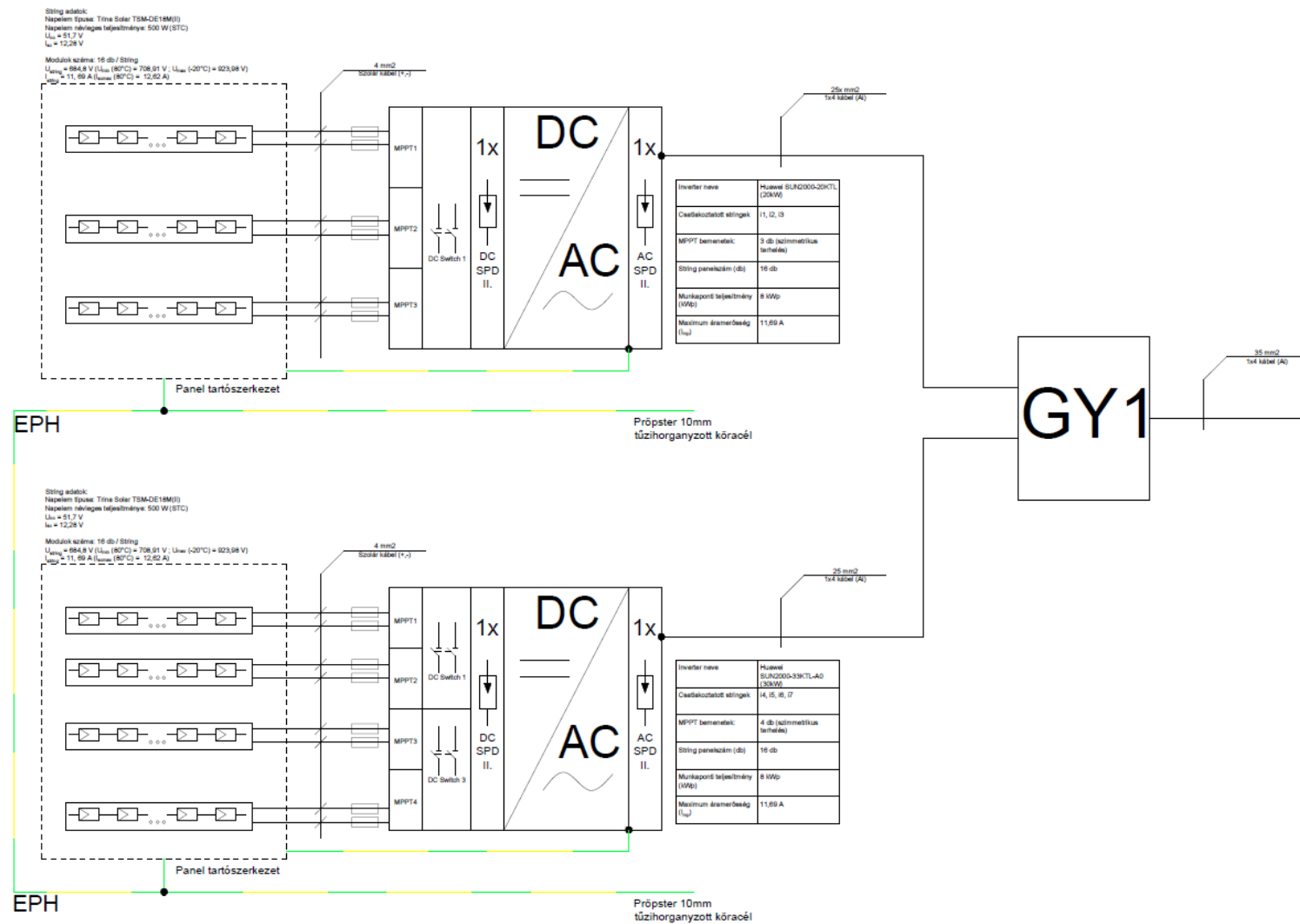
$$102 \text{ A} > \frac{30,4}{0,76 * 0,89} = 45 \text{ A}$$

Hálózat és AC gyűjtő összekötő:

A 35 mm²-es keresztmetszetű alumínium kábel terhelhetősége 4 eres kábel esetében 123 A

$$123 \text{ A} > \frac{74,2}{0,76 * 0,89} = 110 \text{ A}$$

Ezen számítások alapján a kábelek megfelelőek!



23. ábra: Villamos kapcsolási vázlat

10. VÉDELMEK

10.1. Túlfeszültség-védelem

A kiválasztott inverterek mind egyenáram, mind váltakozóáramú oldala el van látva II-es típusú túlfeszültség védelemmel (T2), amely biztosítja a rendszer közvetett villáscsapásokból adódó túlfeszültségek levezetését. Közvetlen villámcsapások elkerülése érdekében a T1-es villámáram-levezető készüléket az inverter AC oldalán található gyűjtőszekrénybe érdemes beépíteni.

Közvetlen villámcsapás elleni védelem szempontjából elsőként egy kockázatelemzést kell végezni a DEHNsupport Toolbox szoftverrel, mely által megkapjuk, hogy az adott területre milyen LPS villámvédelmi fokozat kiépítése szükséges. Ha ezt már tudjuk, akkor meg tudjuk határozni a felfogórúdak méretét, és a köztük lévő távolság nagyságát.

10.2. Túláramvédelem

Egyenáramú oldalon a napelem zárlati árama, $I_{sc}=12,28$ A, viszont mivel a növekvő hőmérséklet hatására ez az érték is növekszik $0,04\ \% / C^{\circ}$ értékben, ezért az olvadóbiztosítót ezen képlet alapján kell kiválasztanunk:

$$I_{sc}(80^{\circ}C) = \frac{I_{sc}(T_y)}{1 - \alpha(T - T_y)} = \frac{12,28}{1 - 0,00049(80 - 25)} = 12,62\text{ A}$$

Mivel az tervezett rendszerben nincsen párhuzamosan futó áramkör, ezért ezzel az értékkel nem kell tovább számolnunk csökkentő tényezőkkel.

Feszültség növekedést hőmérséklet csökkenés hatására tudunk számolni a sztingeken:

$$U_{oc}(-20^{\circ}C) = (\alpha(T - T_y) + U_{oc}) * M = (0,13442 * (20 + 25) + 51,7) * 16 = 923,98\text{ V}$$

Hőmérséklet növekedés hatására feszültségcsökkenést tapasztalunk:

$$U_{oc}(80^{\circ}C) = (U_{co} - \alpha(T - T_y)) * M = 51,7 - (0,13442 * (80 - 25)) * 16 = 708,91\text{ V}$$

Ezen adatokat figyelembe véve a kiválasztott védelem egy gPV 13A/1000V DC hengeres biztosító.

AC oldalon mindkét inverter el van látva túláram védelemmel!

10.3. Áramütés elleni védelem

Szilíciumkristályos naperőmű esetén az egyenáramú részt az MSZ HD 60364-7-712:2016 szabvány szerint IT-rendszerrel kell védeni áramütés ellen. Ezt a részt úgy kell tekintenünk, hogy folyamatosan feszültség alatt van, függetlenül attól, hogy a DC oldalon elhelyezett szakaszkapcsoló leválasztotta-e a rendszerről.

Ezen felül a kiválasztott DC oldali elemek mindegyike kettős szigeteléssel van ellátva, melyet az inverterbe épített szigetelés ellenállás mérő funkcióval folyamatosan nyomon követhetjük, és észlelhetjük a földzárlatos állapotot.

Az invertert tekintve akkor kell a tartószerkezethez földelést alkalmaznunk, ha a külső réteg fémből készült.

Váltakozó áramú oldalon az inverterek kimenetén áramvédő-kapcsolóval ellátott TN-C nullázott rendszer valósul meg. Ebben a rendszerben a 4 érű kábel megy egészen a mérőszekrényig, ahol is külön válik majd a nullvezető, illetve a védővezető.

ÖSSZEFOGLALÓ

Szakdolgozatom célja, hogy a háztartási méretű kiserőművek tervezésének lehetőségeit taglalja mind az elhelyezkedés, mind a beépítendő villamos berendezéseket tekintve.

Dolgozatom első részében a törvényi megfelelést vizsgáltam, valamint azt, hogy az erőművet hol lehet kiépíteni a telephelyen. Ezek után kiválasztottam, hogy milyen tartószerkezet felel meg az elképzeléseimnek.

A következő részben azt taglaltam, hogy az erőmű főbb részei, mint például a napelem modul, vagy az inverter milyen széles körben és milyen különböző kivitelben található meg napjainkban.

Mindezeket figyelembe véve meghatároztam, hogy milyen típusú eszközök szükségesek a tervezés során, illetve, hogy milyen elrendezésben helyezkedjenek el. Ezen a részen végeztem számításokat azzal kapcsolatban is, hogy milyen villamos tulajdonságokkal kell majd rendelkeznie a rendszernek.

Dolgozatomat a rendszerhez kapcsolódó védelmek résszel zártam, mely nem csupán a rendszer védelméről szól, hanem az emberi veszélyeztetés elkerüléséről is.

SUMMARY

The goal of my thesis was to present the design process of a residential solar power plant considering not only site installation but choose of proper electrical equipment.

In the first chapter, the legal environment was introduced and described regarding solar power plant systems. After that, the proper site and foundation have been selected for the power plant.

Moving on, in the next chapter the main parts of the solar system like the solar panel or the inverter. Its goal was to show how diverse they have become by today.

Considering everything I stated above, during the design process, I specified what devices furthermore what arrangements are necessary. In addition, I made calculations to find out what requirements the devices need to meet.

The goal of the last chapter was to express what protection system could be satisfactory which not only protects the solar power plant but keeps people safe from hazards.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Elsőkörben Dr. Novothny Ferenc Miklósnak szeretném megköszönni áldozatos munkáját, melyet a nála eltöltött félévek alatt tapasztaltam. Előadásainak szakmai színvonala és légköre átlag feletti volt, mégis mindenki számára érthető példákkal magyarázta el a lényegét.

Tanulmányaim során, és szakdolgozatomban is nagy segítség volt számomra Papp Gábor munkatársam, aki Önöknél végzett, és akihez a pandémia alatt is bármikor fordulhattam, ha szakmai segítségre volt szükségem.

Amennyiben nem szakmai köszönetnyilvánításról van szó, abban az esetben hálás vagyok szüleimnek és testvéremnek a folyamatos támogatásért, illetve feleségemnek, aki nehezebb helyzetekben is tartotta bennem a lelket.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] <https://hugas.met.com/hu/energiapiaci-betekinto/magyarorszag-energiatermelese-fogyasztasa-eromuvek/8>
elérési dátum: 2021.09.17.
- [2] <https://ekozmu.e-epites.hu/alkalmazas/lakossag/menu/terkep/tajekoztatas/kozmuterkep>
elérési dátum: 2021.09.17.
- [3] <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0700086.tv>
elérési dátum: 2021.09.17.
- [4] http://www.mekh.hu/download/6/5a/60000/metar_tamogatasi_mertekeinek_aktualizalasa_2018.pdf
elérési dátum: 2021.09.17.
- [5] <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1300002.ngm>
elérési dátum: 2021.09.17.
- [6] https://www.pv-stahlbau.de/wp-content/uploads/sites/2/2020/07/ZIM_PV-Stahl_Katalog_04062019_E-1-komprimiert.pdf
elérési dátum: 2021.09.17.
- [7] <http://www.proepster.hu/termek/villamvedelmi-termek-kapcsok-osszekotok-vezetek-szalagok/rd-10mm-horganyzott-acel-vezetek/>
elérési dátum: 2021.09.17.
- [8] <http://fft.szie.hu/fizika/Turkalo/napenergiahaszn/G04%20-%20Napelem%20technologiak%20es%20jellemzoik.pdf>
elérési dátum: 2021.09.17.
- [9] <https://tdk.bme.hu/VIK/DownloadPaper/Napelemek-termeles-elorejelzesenek-pontositasa>
elérési dátum: 2021.09.17.
- [10] <https://image.shutterstock.com/image-vector/monocrystalline-silicon-solar-cellspolycrystalline-cellsthin-260nw-1248234562.jpg>
elérési dátum: 2021.09.17.
- [11] https://axotron.se/index_en.php?page=34&fbclid=IwAR3VhtCaws8Ks7HMLpb_nhoLqF6VceTPhHInGZTLHIxL2IFtk9PUopwmVa5o

elérési dátum: 2021.09.06.

- [12] [http://www.megsz.hu/megsz/images/stories/El%C5%91ad%C3%A1sok/Napkonf.2014/4. Szalontai G%C3%A1bor - Inverterek feladata.pdf](http://www.megsz.hu/megsz/images/stories/El%C5%91ad%C3%A1sok/Napkonf.2014/4._Szalontai_G%C3%A1bor_-_Inverterek_feladata.pdf)

elérési dátum: 2021.09.15.

- [13] <https://napelemdepo.hu/szigetuzemu-napelemes-rendszer/>

elérési dátum: 2021.11.05.

- [14] <http://naptexmt.hu/megujulo-energia/napelem/altalanos-tudnivalok/>

elérési dátum: 2021.11.05.

- [15] [https://static.trinasolar.com/sites/default/files/MA_Datasheet_Vertex_DE18M\(II\)_202011.pdf](https://static.trinasolar.com/sites/default/files/MA_Datasheet_Vertex_DE18M(II)_202011.pdf)

elérési dátum: 2021.11.05.

- [16] <https://mvmhalozat.hu/attachments/4928>

elérési dátum: 2021.11.05.

- [17] <https://solar.huawei.com/en/download?p=%2F-%2Fmedia%2FSolar%2Fattachment%2Fpdf%2Feu%2Fdatasheet%2FSUN2000-33KTL-A.pdf>

elérési dátum: 2021.11.05.

- [18] <https://solar.huawei.com/en/download?p=%2F-%2Fmedia%2FSolar%2Fattachment%2Fpdf%2Feu%2Fdatasheet%2FSUN2000-12-20KTL-M0.pdf>

elérési dátum: 2021.11.05.

- [19] <https://elektrikstore.hu/Szolar-kabel-H1Z2Z2-K-1-x-4-piros-sodrott-onozott-rez-UV-allo-kulteri-halogenmentes-s>

elérési dátum: 2021.11.13.

- [20] <https://docplayer.hu/808728-Megujulo-energiatermelo-rendszerek-napelemes-eromuvek.html>

elérési dátum: 2021.11.13.

- [21] MSZ 13207:2020 szabvány

- [22] MSZ HD 60364-7-712:2016 szabvány