



# SZAKDOLGOZAT

ÓE-KVK

Hallgató neve:

Strifler Róbert

2021.

Hallgató törzskönyvi száma:

T009433/FI12904/K

Kötelezően választható tantárgycsoport:

Elosztott villamos energia  
termelés

Napelemes rendszerek

Megújuló erőművek létesítése és üzeme



ÓBUDAI EGYETEM  
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem  
**Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar**  
Villamosenergetikai Intézet

### SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

**Hallgató neve:** Strifler Róbert

**Szaktervezési száma:** SZD21090213455565

**Törzskönyvi száma:** T009433/FI12904/K

**Neptun kódja:** XXXXXXXXXX

**Szak:** Napelemes rendszerek létesítése (szakmérnök)

**Specializáció:**

**A dolgozat címe:** Napelemes rendszerek tartószerkezetének méretezése

**A dolgozat címe angolul:** Dimensioning of the support structure of solar systems.

**A feladat részletezése:** 1. A megoldandó probléma megfogalmazása

2. Az irodalom alapján a tartószerkezetek ismertetése

3. Méretezni kívánt rendszer kiválasztása

4. Méretezés

**Intézményi konzulens neve:** Dr. Novothny Ferenc Miklós

**A kiadott téma elévülési határideje:** -

**Beadási határidő:** 2021. 12. 15.

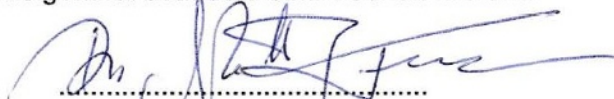
A szakdolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Budapest, 2021. 12. 10.

P.H

.....  
Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom:

  
.....  
belső konzulens

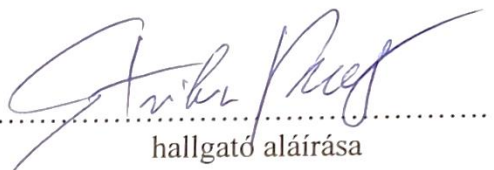
.....  
külső konzulens



## HALLGATÓI NYILATKOZAT

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

Budapest, 2021.december 15.

  
.....  
hallgató aláírása

## TARTALOMJEGYZÉK

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tartalomjegyzék.....                                                            | 4  |
| Bevezetés .....                                                                 | 5  |
| 1. Tartószerkezetek célja, rendeltetése .....                                   | 6  |
| 2. Tartószerkezetek fajtái .....                                                | 6  |
| 3. Tartószerkezetek részletes bemutatása felhasználási helyük szerint.....      | 8  |
| 3.1. Épületre szerelt tartószerkezetek.....                                     | 8  |
| 3.1.1. Ferdetetőre szerelt napelemek tartó elemei .....                         | 8  |
| 3.1.1. Épületintegráció (BIPV), Homlokzatra szerelt napelemek tartóelemei ..... | 23 |
| 3.1.2. Lapostetőre szerelt napelemek tartó elemei .....                         | 25 |
| 3.2. Szabadföldi erőművek tartószerkezetei.....                                 | 28 |
| 3.2.1. Fixen telepített Tartószerkezetek .....                                  | 29 |
| 3.2.2. Napkövető rendszerek.....                                                | 30 |
| 3.2.3. Agrofotovoltaikus szerkezetek.....                                       | 34 |
| 3.2.4. Szabadföldi napelemes erőművek alapozása .....                           | 36 |
| 3.3. Úszó-ponton tartószerkezetek .....                                         | 39 |
| 4. A Tartószerkezetek szerepe az Önárvényezésben. ....                          | 41 |
| 5. Napelemekre ható meteorológiai terhelések .....                              | 42 |
| 5.1. Szélteher.....                                                             | 42 |
| 5.2. Hóteher.....                                                               | 45 |
| 6. Napelemek és tartószerkezeteik áramütés elleni védelme .....                 | 48 |
| 6.1. Alapvédelem .....                                                          | 49 |
| 6.1.1. Szolár kábelek .....                                                     | 49 |
| 6.1.2. Csatlakozók.....                                                         | 49 |
| 6.2. Hibavédelem (EPH) .....                                                    | 50 |
| 6.3. Napelemes rendszerek földelése .....                                       | 52 |
| 7. Villámvédelem .....                                                          | 55 |
| 8. Tűzvédelem.....                                                              | 60 |
| 9. Tartószerkezet ellenőrzése .....                                             | 62 |
| Összefoglalás .....                                                             | 65 |
| Felhasznált irodalom .....                                                      | 66 |

## BEVEZETÉS

A napelemes rendszerek tartószerkezetei, a modulok és az inverterek mellett, méltatlanul kevesebb figyelmet kapnak, pedig igen fontos elemei a rendszernek. A tartószerkezet biztosítja a rendszer optimális működését, dőlésszögét vagy mozgását, továbbá időjárás állóságát és így a tartósságát. Ezáltal jelentős szerepet játszik a beruházás megtérülésében.

A különböző területeken alkalmazott napelemek nagyjából ugyanazok a modulok, különbség van köztük cellaszámukban és így a méretükben, néhány típust a beépített elektronika segíti az optimalizált termelésben, illetve egyre elterjedtebbek az üveg-üveg modulok is. A felhasználás helyét, a modul rendeltetését, hogy hol tudunk gazdaságosan energiát termelni, az viszont csak a tartószerkezeten múlik. A modul különböző kitűnő technikai tulajdonságait, csak a környezeti adottságokhoz szabott tartószerkezettel együtt képes kihasználni. Kis túlzással ugyan, de úgy is lehetne fogalmazni, hogy a napelem és a környezet között a tartószerkezet a kapocs, ami a gazdaságos energiatermelést lehetővé teszi. Modul tekintetében nincs nagy különbség egy lapostetőre szerelt és egy úszó erőmű között, egy szabadföldi és egy napkövető rendszer, vagy egy bifokális modulokkal szerelt szabadföldi és egy agrárfotóvillamos rendszer között. A különböző felhasználási lehetőségeket és az esetleges jobb megtérülést vagy jobb terület kihasználást, csak a tartószerkezet teszi lehetővé.

Napjainkban az energiaátvételi árcsökkenés és vele párhuzamosan a napelemek alapanyagainak ár növekedése összeadódva rontja a megtérülést. Éppen ezért jobban előtérbe kerül a tartószerkezetek helyes megválasztásának fontossága. Egy jól megválasztott, könnyen szerelhető rendszer csökkenti a kivitelezési időt, így növeli a kivitelező cég hatékonyságát és bevételét.

Felismerve ennek a témának jelentőségét, dolgozatomban közelebbről megvizsgáltam számos neves gyártó kínálatát, bemutatom a leginkább alkalmazott megoldásokat, a tartószerkezetek előnyeit és hátrányait, illetve a fejlesztési irányokat.

Számbaveszem a tartószerkezetekre ható erőket és elvégzek egy megfelelőségi számítást egy általános szerkezetre, majd összevetem az eredményt a gyártók által megadott adatokkal. A gyártók általában minősítik szerkezeteiket, ezért feltételezem, hogy az előírás szerint telepített tartó biztosan meg fog felelni, viselni fogja a rá ható terheléseket. Dolgozatomnak nem témája egy komplex statikai számítás, hanem a jelenleg elérhető tartószerkezetek fajtáinak, tulajdonságainak csokorbaszedése, rendszerezése, a rájuk ható erők, a szabványszerinti kialakításuk, védelmük számbavétele, ami a méretezés első lépése, a tervezést, a szerkezet kiválasztását hivatott segíteni.

## 1. TARTÓSZERKEZETEK CÉLJA, RENDELTETÉSE

A napelemek tartószerkezetei kialakulásukat tekintve mondhatni egyidősek a napelemekkel. Értelemszerűen a legtöbb esetben szükséges egy tartóelem, ami rögzíti vagy a nap irányában tartja a napelemeket. A napenergia-hasznosítás széleskörű alkalmazása, fejlődése magával vonta a modulok elhelyezésének változatosságát és így szükségessé tette a különféle rögzítési megoldások fejlődését is.

A tartószerkezet alapvető célja a napelemek mechanikai kapcsolatának biztosítása, a létesítményhez, illetve a talajhoz.

Tartószerkezetnek azt a szerkezeti elemet nevezzük, ami különböző rögzítőelemek segítségével átadja a napelemrendszer terheit (önsúlyát és a rendszere ható erőket) a teherviselő közegnek (épület szerkezetnek, talajnak, illetve vízfelületnek).

A tartószerkezet biztosítja a modulok naphoz viszonyított pozícióját. Biztosítja a megfelelő dőlésszöget, illetve adott esetben a napkövető mozgást. A szerkezetnek megfelelő stabilitást kell biztosítani az időjárás viszontagságaival szemben. Képesnek kell lennie évtizedekig ellenállni a mechanikai igénybevételeknek és a korróziónak. Anyagának hosszútávon, károsodás nélkül viselnie kell a hőmérsékelt változásból adódó hőtágulási igénybevételeket is.

## 2. TARTÓSZERKEZETEK FAJTÁI

A napelemes tartószerkezeteket többféleképpen csoportosíthatjuk. Legkézenfekvőbb az elhelyezkedésük szerint csoportosítani, mivel az határozza meg leginkább a rendszer jellemzőit. Viszont nyilvánvaló, hogy különbségek vannak az anyagfelhasználásban, a rögzítési módokban és a naphoz való viszonyukban. Ezek a tulajdonságok szorosan kapcsolódnak a felhasználás helyéhez és jelentősen kihat a rendszer gazdaságosságára, megtérülésére.

### a) Felhasználási helyük szerint:

- Épületre szerelt tartószerkezet:
  - ferdetetőre (tetőkonzolra, tetősíkba integrált)
  - lapostetőre
  - homlokzatra (homlokzatra szerelt, homlokzatba integrált)
- Földre telepített tartószerkezet
- Úszó ponton tartószerkezet

### b) Rögzítés, illetve alapozás szempontjából lehetnek:

- Épület szerkezetéhez:
  - Csavarozott rögzítés (szarufa, lemeztető, homlokzat stb.)

- Lapostetőre
    - Lesúlyozott (betonlapokkal, homokzsákokkal, kavicssal stb.)
    - Lehorgonyzott
  - Talajhoz
    - Sajtolt
    - Csavarozott (talajcsavarokkal)
    - Szegezett
    - Fúrt helyszínen betonozott
    - Beton sávalap vagy előregyártott gerenda (az alaptest a saját súlyánál fogva biztosítja a stabilitást)
    - sajtolt és betonozott (a sajtolt cölöpre kerül egy beton súly a kihúzóadás ellen)
  - Vízfelületre
    - láncolatba kapcsolható úszó műanyag ponton elemeken (a stabilitást a számos összekapcsolt elem, a felhajtóerő és a meder fenéken elhelyezett horgonyok biztosítják)
- c) Anyaga szerint alapvetően a következőképpen lehet csoportosítani, de természetesen ezek az anyagok a gyakorlatban valamilyen formában kombinálva kerülnek alkalmazásra:
- fa (szabadföldi, tető, carport stb.)
  - acél (rozsdamentes, tűzi-horganyzott)
  - alumínium, eloxált alumínium (lapostető, ferdetető, szabadföldi stb.)
  - műanyag (tető, lapostető, úszó)
  - beton (szabadföldi, lapostető)
- d) Naphoz való viszonyuk szerint:
- Fixen rögzített
  - Napállást követő:
    - egy tengely körül forgó (Kelet-Nyugat)
    - két tengely körül forgó (Kelet-Nyugat, Észak-Dél)
  - Mobil szigetüzemű rendszerek

### 3. TARTÓSZERKEZETEK RÉSZLETES BEMUTATÁSA FELHASZNÁLÁSI HELYÜK SZERINT

#### 3.1. Épületre szerelt tartószerkezetek

A napelemeknek viszonylag nagy helyre van szükségük az energiatermeléshez és ez a hely lehetőleg zavartalan napsütésnek kell, hogy kitéve legyen. Az épületek teteje, legyen az lapos- vagy ferdetető, kitűnően alkalmas erre célra. Ferdetető esetében még a tető dőlésszöge is segíti a napelemek munkáját. Lapostetők esetében kiegészítő szerkezetre van szükség, hogy a modulok megfelelő szögben álljanak a nap irányában.

Az épületek esetében a homlokzatok is kellő helyet biztosíthatnak a napelemek számára, viszont a homlokzatok kialakítása építészeti kérdés, jelentősen meghatározza az épület küllemét. A tetőre szerelt rendszereknél is fontos a küllem, de azok messze nem befolyásolják, annyira az épület megjelenését, mint a homlokzat. Ezért a homlokzati megoldások csak olyan épületeknél lehetségesek, ahol az épület jellege, rendeltetése megengedi, hogy a homlokzatba ügyesen integrálva a napelemek megjelenhessenek.

#### 3.1.1. Ferdetetőre szerelt napelemek tartó elemei

A ferdetetőre szerelt napelemek tartószerkezetei sokféle módon alakíthatók ki. A különböző helyzetek kezelésére a gyártók sokféle műszaki megoldást dolgoztak ki, de logikájában nincsen jelentős különbség. Alapvető elemei az úgynevezett tetőkampók, illetve tetőrögzítők. Ezekre aztán alumínium tartósínekből álló szerkezet kerül, amihez a napelemek rögzülnek. A tető héjazata határozza meg az alkalmazott rögzítő módszereket. A nevesebb gyártók kitűnő rendszereket fejlesztettek, annak érdekében, hogy bármilyen héjazatra, rögzítési szituációra legyen megfelelő megoldás. Azonos gyártótól alkalmazott elemek egymással kompatibilisek, rendszerben alkalmazhatók. Számos gyártó kínál a termékéhez praktikus tervező software-t, amellyel a paraméterek megadása után, egyszerűen, rövid idő alatt meg lehet határozni az anyagszükségletet az utolsó csavarig.

Ferdetető héjazata lehet:

- Cserép (ideértve a kerámia cserepeket, kőlapokat és kompozit műanyag fedést)
- Lemez (korcolt, trapézlemez, cserepeslemez, hullámlemez)
- Szendvicspanel
- Zsindely (bitumenes, fa, lemez, pala, műanyag stb.)
- Hullámpala
- Nádfedés

A ferdetetőkre való telepítés során szükséges megvizsgálni a tető kialakítását, teherbírását és az aktuális állapotát. Nincs értelme olyan tetőre szerelni napelemeket, ami nem bírná ki a rászerelt napelemek élettartamát. Különbséget kell tenni abban a

tekintetben is, hogy lehet, hogy a tető teherbírása megfelelő lenne, de a héjazat minősége állapota hosszútávon, 25 éven belül megérne a cserére. Mérlegelést igényelne mondjuk azbeszt tartalmú hullámpalára vagy zsindelyre, vagy bitumenes zsindelyre, netán nádfedésre napelemet szerelni, ahol már előre látszik, hogy hamarabb fog a héjazat karbantartást vagy cserét igényelni, mint a napelem élettartama.

A különböző héjazatokhoz alkalmazott rögzítések közötti különbséget alapvetően a tetőkampók kialakítása jelenti. A konzolokra kerülő profilsínek és a modulokat rögzítő lezorítókban nincs jelentős különbség.

### Tetőkampók cserépfedéshez

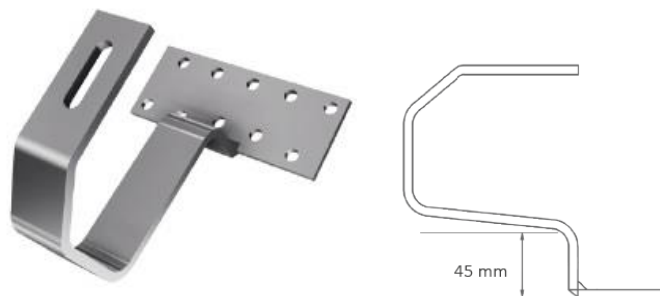
A cserépfedés határozza meg a szükséges tetőkampók fajtáját. Számos gyártó foglalkozik tetőkampók forgalmazásával, de érdemes olyan gyártót választani, aki megfelelőségi nyilatkozatot ad a termékeihez és legalább 10 év garanciát vállal rájuk. A gyártók meghatározzák a kampók paramétereit és esetleg minősítetik is azokat. A termék leírásokból ezek alapján választhatjuk ki a projekthez legmegfelelőbbet.

Tetőkampók általános adatai (a megadott értékek gyártónként és kampónként eltérnek):

- Tetőfelülettel párhuzamosan nyomás: 0,7 kN
- Tetőfelületre merőleges nyomás: 1,5 kN
- Tetőfelületen kialakuló szívóhatás: -1.5 kN
- Teherbírás hóteherre: 5,4 kN/m<sup>2</sup> -ig
- Teherbírás szélteherre: 2,4 kN/m<sup>2</sup> -ig
- szükséges kiosztási távolságok: 0,8 – 2 m (szarufánként vagy minden másodikra)
- súly: 0.78 kg
- méret: 25.3 × 12.0 × 21.5 cm
- anyagminőség: Alumínium
- tető dőlésszöge: 5° - 75°-ig
- felhasználási javaslat: Cseréptetőkhöz
- beállítási intervallumok (amennyiben lehet beállítani): Gerincmagasság a tetőlécnél 20 mm (40-60 mm), oldal irányú állítás az alaplemezen 65-145 mm, a szerelősínnél 20 mm.
- A tetőkampó szarufára rögzítéséhez 2db 8x100 mm-es vagy 3 db 6x80 mm-es A2 rozsdamentes csavar szükséges. [2]

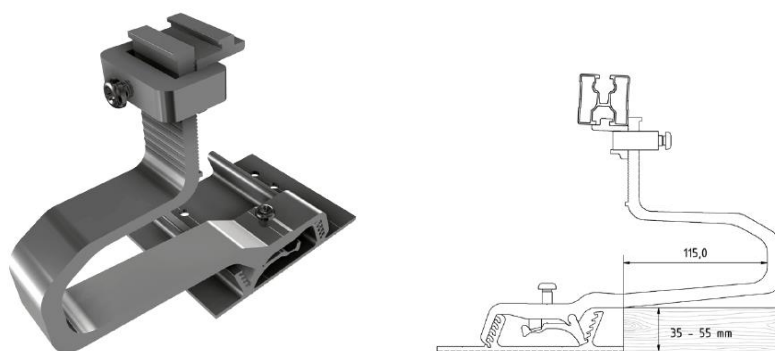
A tetőkampók kiosztását, mennyiségét a szerelősín teherbírása és a tartószerkezet pl. szarufák távolságához határozzák meg.

A tetőkampók alapvetően rozsdamentes acélból vagy alumíniumból készülnek. Kialakításuk szerint klasszikusan egyrészből állnak, de készülnek kétrészes változatok is.



3.1 ábra: SL-A2-leicht, SL Rack GmbH / Forrás: [www.sl-rack.com](http://www.sl-rack.com)

A kétrészes megoldásnál alkalmazásra kerül egy alaplemez, amit a szarufához rögzítenek és erre kerül a kampó rész. Az alaplemez lehetőséget ad a kampó vízszintes és függőleges irányú beállításához, de általában a kampó felső részén is lehet függőleges irányban állítani. Létezik természetesen olyan változat is, ahol ugyan van alaplemez, de az nem ad lehetőséget állításra.



3.2 ábra: Vario SL-Alu-35, SL Rack GmbH / Forrás: [www.sl-rack.com](http://www.sl-rack.com)

Az alaplemezen való állítás azért előnyös megoldás, mivel a tetőlécek magassága eltérhet egy tetőn belül is, és a tetőhorog nem feszülhet rá a lecsavarozáskor az alatta levő cserépre, illetve nem jó, ha a tetőhorog a szerelésnél ferdén áll. A vízszintes állítás segít a horgokat pontosan a cserép hullámaiba elhelyezni és azt a lecsavarozást követően is után lehet korrigálni. A több elemből álló kampók drágább megoldást jelentenek, de gyorsítják a kivitelezést. Az állítható horgok alkalmazása mellett nem szükséges alátétlapokat alkalmazni a magasság beállításához, ez gyorsítja a helyszíni szerelési munkát, illetve az előkészítő munkát, a lapok előzetes legyártásának munkája is megspórolható. Minden munkánál külön érdemes mérlegelni, hogy melyik szempont fontosabb.

### Tetőkampók szerelésének általános lépései



3.3 ábra: Tetőhorgony felszerelése / Forrás: [www.sl-rack.com](http://www.sl-rack.com)

- Tetőcserép feltolása után a horgor alaplapját két facsavarral (furatsoronként 1) a szarufához kell rögzíteni (szükség szerint a takarócserép vízvető részét a horgor szélességében ki kell vágni).
- A horgot a megfelelő pozícióba be kell akasztani, majd vissza kell hajtani úgy, hogy a szükséges min. 5 mm-es távolság a konzol és a cserép között biztosított legyen. Abban az esetben, ahol nincs lehetőség az állításra, de két részből áll a tetőhorgony, ott csak felcsavarozni szükséges.
- A beállított pozíciót rögzíteni a csavar meghúzásával ( $8 \text{ Nm} \pm 0,5 \text{ Nm}$ ), cserepet visszatakarni.
- Szerelősínt felhelyezni, beállítani a magasságot a tetőhorgon.
- A beállított pozíciót rögzíteni a csavar meghúzásával ( $15 \text{ Nm} \pm 0,5 \text{ Nm}$ ). [2]

Az egyrészből álló horgok szerelése, annyiban különbözik, hogy az alsó cserép és a konzol között szükséges 5 mm távolságot alátétlemezekkel állítják be. A konzol nem lehet túl alacsony, mert akkor rászorulna az alatta fekvő cserépre és nem lehet túl magas sem, mert akkor megemeli a takaró cserepet, ami beázáshoz vezethet.

A tetőkampókkal kapcsolatban említést érdemel, hogy több tetőkiegészítő vasalatgyártó is felismerte a napenergia térhódítását és a csereprendszerekbe illeszkedő héjazati elemeket fejlesztettek, kifejezetten fotovoltaikus alkalmazásra. A „cserepek” robosztus öntött alumíniumból készülnek formája megegyezik az eredeti cserép formával és már gyárilag kialakított rajta a tetőhorgor, vagy közvetlen az elemre felcsavarozható. A felcsavarozható elemekre nemcsak tetőhorgokat lehet erősíteni, hanem hófogókat, járófelületeket is. Az alumínium csereplemezek alá egy teherelosztó lemezt kell erősíteni. Az elemek színükben illeszkednek a meglévő cserepekhez, egyszerű a cseréjük és a lenti ábra tanulsága szerint látható, hogy a tetőhorgokhoz képest kiemelkedő a teherbírásuk. A gyártók kínálnak a szolár kábelek átvezetéséhez fejlesztett alumínium cserepeket, ami szintén megkönnyíti a kivitelezést. Megfelelő tervezéssel már a tető építésekor felkerülhetnek a tetőre. [3]



| Terhelési értékek |                                    |         |
|-------------------|------------------------------------|---------|
| a                 | Tetőfelülettel párhuzamosan nyomás | 1,3 kN  |
| b                 | Tetőfelülettel merőleges nyomás    | 3,61 kN |
| c                 | Tetőfelületen kialakuló szívóhatás | 2,16 kN |

3.4 ábra: Lehmann alumínium cserép/ Forrás: [www.otto-lehmann-gmbh.de](http://www.otto-lehmann-gmbh.de)

### Tetőrögzítők lemezfedéshez

Lemezfedések esetében is számtalan rögzítőelem létezik. A lemezfedésű tetők a lemez formáját tekintve lehetnek, trapézemhez, hullámlemez, cserepeslemez és korcolt kialakításúak. A héjazatot tartó tetőszerkezet készülhet fából és acélból. A tetőkampók vagy magához a lemezhez vagy a tetőszerkezethez rögzülnek. A rögzítésnél a lemez át lesz fúrva, ezért a furatot le kell tömíteni, hogy a csapadékvíz ne tudjon bejutni. A tömítést már a gyárilag EPDM fóliával ellátott csavarok biztosítják. A lentebbi kép töcsavaros tetőkampókat ábrázol. A csavarok hullám-, trapéz- és cserepeslemezekhez egyaránt alkalmazhatók.



3.5 ábra: K2 systems, töcsavaros tetőkampók / Forrás: [k2-systems.com](http://k2-systems.com)

A modulok elhelyezésének iránya tetőnként változhat függően attól, hogy hogyan lehet a tetőfelületet legjobban kihasználni, a leggazdaságosabban a legtöbb modult installálni. Ezért a trapézlemez bordázatával párhuzamosan és arra merőlegesen is szükséges napelemeket rögzíteni. Az alábbi ábra erre mutat megoldási javaslatokat.



3.6 ábra: Lemeztető rögzítési variációk, SL Rack GmbH / Forrás: [www.sl-rack.com](http://www.sl-rack.com)

Megállapítható, hogy alapvető különbség a lemez héjazatokra való rögzítésben a korcolt lemeztetőknél van, ugyanis abban az esetben magához a lemezek átlapolásánál kialakított élhez, a korchoz rögzülnek a fogópántok vagy „korccsipeszek”. Nincs szükség tömítésre, mivel a pántokat nem csavarozzák a lemezhez, hanem egy csavar kötéssel ráfeszül a korcra. Az alapsíneket nem szabad a korcolással párhuzamosan szerelni. Javasolt minden esetben korconként egy leszorítót felszerelni/felcsatolni. Számos korcolási forma létezik, a lenti ábra csak párat mutat be az alkalmazott eljárások közül és a hozzákapcsolódó korcpántokból.

|                                                                                     |                                                                                     |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |
| Kettős állókorc                                                                     | Derékszögkorc                                                                       | Gömbölyűkorc                                                                          |
|  |  |  |
|  |  |  |

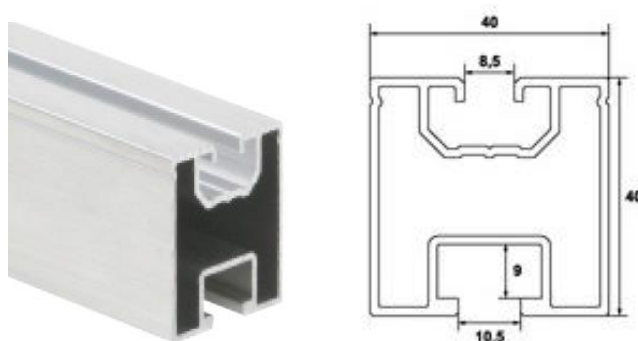
3.7 ábra: K2 systems, korcpántok / Forrás: [k2-systems.com](http://k2-systems.com)

### Szerelősínek

A szerelősínek rozsdamentes csavarokkal rögzülnek a tetőhorgokhoz. Alapvetően a sín oldalához vagy aljához erősítve. Szerelősínekből is hatalmas a választék, gyártónként

változhat. Léteznek viszont széleskörűen alkalmazott, standardizált méretek és formák, ezekből szeretnék párat bemutatni. A sínek kialakításában közös, hogy a tetőre szerelt alkalmazásokban szinte kizárólag sajtolts profilozott alumíniumból készülnek. Az alumínium vitathatatlan előnye, hogy könnyű, ami a tetőre szerelt terhet jelentősen csökkenti. Időjárásnak ellenálló korróziómentes (kivéve a kontakt korróziót), jól alakítható, vágható, fűrható csavarozható.

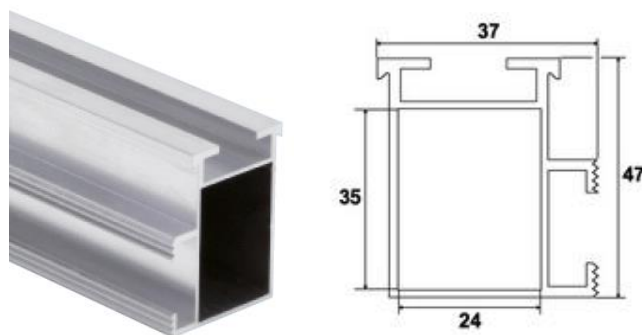
A gyártók a profilokhoz megadják a méretezéshez szükséges szilárdsági adatokat. Adatok lentebbi ábrán láthatók standard 40x40 mm-es profilhoz.



|                                                      |                      |
|------------------------------------------------------|----------------------|
| Hosszúság                                            | 6100 mm              |
| Magasság                                             | 40 mm                |
| Szélesség                                            | 40 mm                |
| Max. Keresztirányú tehetetlenségi nyomaték ( $I_x$ ) | 6.65 cm <sup>4</sup> |
| Max. Hosszirányú tehetetlenségi nyomaték ( $I_y$ )   | 6.57 cm <sup>4</sup> |
| Max. Keresztirányú keresztmetszeti tényező ( $W_x$ ) | 3.28 cm <sup>3</sup> |
| Max. Hosszirányú keresztmetszeti tényező ( $W_y$ )   | 3.32 cm <sup>3</sup> |
| Anyag                                                | Alumínium            |
| Terméktömeg (darabonként)                            | 5000 g               |

3.8 ábra: Würth, 40x40 szerelősín / Forrás: eshop.wurth.hu

Az alábbi ábrán egy 47x37 mm-es szerelősín látható. A sínre, ellentétben az előző 40x40 mm-es profillal, a tetőkampók oldalt rögzülnek, könnyítve így a szerelési munkát. A tetőhorognak a sín az oldalirányú bordákon súrlódásos rögzítés útján adja át a terheket.



|                                                              |                       |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Hosszúság                                                    | 3150 mm               |
| Magasság                                                     | 47 mm                 |
| Szélesség                                                    | 37 mm                 |
| Max. Keresztirányú tehetetlenségi nyomaték (I <sub>x</sub> ) | 7.709 cm <sup>4</sup> |
| Max. Hosszirányú tehetetlenségi nyomaték (I <sub>y</sub> )   | 4.264 cm <sup>4</sup> |
| Max. Keresztirányú keresztmetszeti tényező (W <sub>x</sub> ) | 3.155 cm <sup>3</sup> |
| Max. Hosszirányú keresztmetszeti tényező (W <sub>y</sub> )   | 2.256 cm <sup>3</sup> |
| Anyag                                                        | Alumínium             |
| Terméktömeg (darabonként)                                    | 2341 g                |

3.9 ábra: Würth, 47x37 szerelősín / Forrás: eshop.wurth.hu

Standard sín hosszok: 3300 mm, 4400 mm, 5500 mm, 6100 mm (gyártónként változik)

### Profilhossz megállapítása

Miután kiválasztottuk a számunkra legmegfelelőbb aluprofilit, a szükséges mennyiséget az alábbi képlet szerint határozzuk meg. Az eredményt mm-ben kapjuk meg.

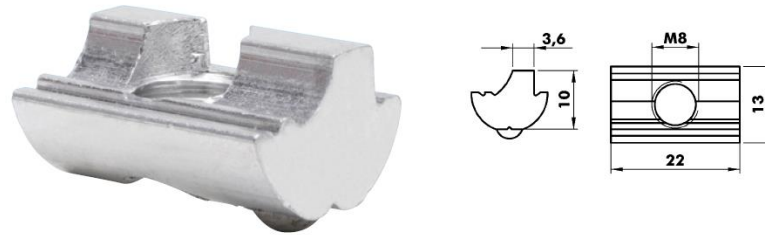
$$L = (X \times S + (X - 1) \times 20 + 2 \times 50) \times 2$$

- X - napelemek száma egy sorban
- S - napelem szélessége (azon oldala, amelyik párhuzamos a tartószerkezet aluprofiljával, mm-ben)
- 20 - két napelem közti távolság = 20 mm
- 50 – szélső napelemek és a kiválasztott aluprofi 1 végpontja közötti minimális távolság

Tekintettel arra, hogy az aluprofilok változó hosszokban elérhetőek, a kapott eredményt a kiválasztott profil függvényében maradék nélkül a profil gyári hosszával osztható értékre kerekítjük. Az L a teljes napelem sorra szükséges mennyiséget jelöli, mivel mindig két párhuzamos sínre van szerelve a napelem, ezért található a képlet végén a x2. [18]

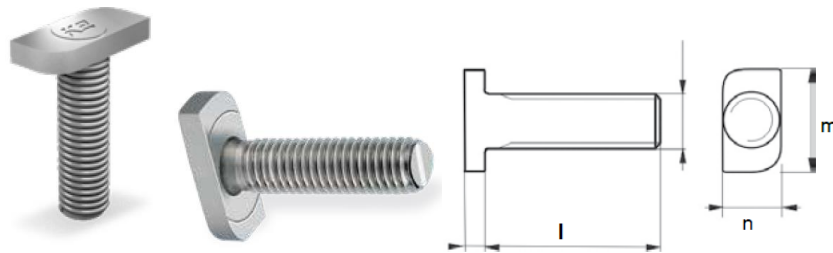
### Kötőelemek

A szerelősínhez rögzülnek a Napelem modulok leszorítókkal rögzítve. A leszorító elemeket a napelemek keretmagasságához kell választani. A leszorítókat a sínbe rögzítő kötőelemek gyártónként változhatnak, viszont gyakran használatos az úgynevezett „Horonycsap” (M8 Klickhorgony), ami a szerelősín felső hornyába csatlakozik (a modul felőli oldal). A sínhoronyba behelyezve egy mozdulattal elfordítva, az elem alján egy rozsdamentes rugós golyó bekattan és rögzíti a horonycsapot. [4]



3.10 ábra: Würth horonycsap / Forrás: eshop.wurth.hu

Az alsó horonyban úgynevezett „kalapácsfejű csavar” rögzíti a sínt a tetőhoroghoz. A csavar előnye, hogy a téglalap alakú feje elfordítva belefér a horonyba, visszafordítva viszont ráfog a horony falára, így a sín bárhol rögzíthető és utólag is beállítható. Egy sima hatlapfejű csavar is képes lenne rögzíteni a sínt, de akkor a csavarokat előre bele kellene húzni a több méter hosszú sínekbe. [4]



| d menet Ø | l<br>[mm] | K<br>[mm] | m<br>[mm] | n<br>[mm] |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| M8        | 20-45     | 4,3       | 23,5      | 10,9      |
| M10       | 30        | 5,3       | 23,5      | 10,9      |

3.11 ábra: K2 Systems, Kalapácsfejű csavar / Forrás: k2-systems.com

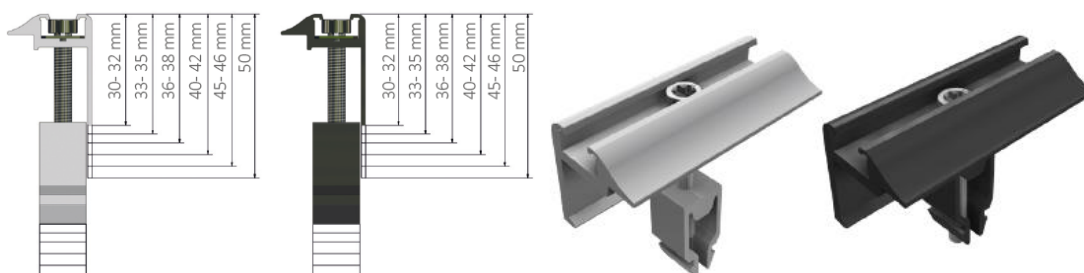
Mindkét rögzítőelem standard 40x40 mm-es vagy 80x40 mm-es szerelősínhez alkalmazható. A következő ábrán baloldalt összeszerelt változatban látható a fentebb említett 40x40 mm-es rögzítősín a kalapácsfejűcsavar és a horgonycsap egy köztes lezorítóval. A jobboldali képen már a tetőhorgonyra szerelt, aluról rögzített sín látszik. [4]



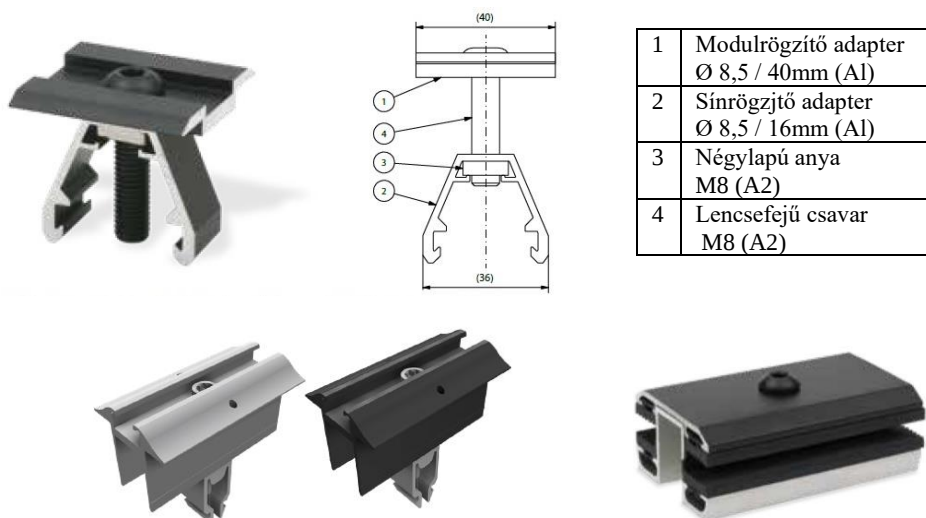
3.12 ábra: Balra Szerelt rögzítősín, jobbra a tetőhorog a sínhez aluról rögzítve / Forrás: szerző saját fotói.

### Leszorítók

A napelem modulokat a szerelősínekhez rögzítő elemek a leszorítók. Szintén sok fajtájuk létezik, de alapvetően köztes- és végleszorítókról beszélünk. Anyaguk legtöbbször alumínium, rozsdamentes vagy horganyzott acél. Méretük a modul alumínium keretéhez kell, hogy igazodjon. A leszorítók a sínhez a legtöbbször sínhoronyba belülről horonycsap segítségével, vagy egy profilozott alumínium elem segítségével, belülről vagy kívülről a sínhorony belső, illetve külső perméhez csatlakozik. Keretnélküli üveg-üveg moduloknál a leszorítók egyfajta fogópárok is, mivel az üveg lemezeket nemcsak a sínhez erősíti, hanem alulról-felülről közre fogja. A leszorító az üvegfelülethez EPDM gumiszigeteléssel érintkezik. A következő ábrán egy vég- és egy középleszorító látható. A végleszorító ábrája jól mutatja a különböző keretmagasságok szerinti választékot. [2]



3.13 ábra: Végleszorító keretmagasságok szerint / Forrás: [www.sl-rack.com](http://www.sl-rack.com)



3.14 ábra: Felül Würth, balra lent SI-rack, jobb lent Würth üveg-üveg középleszorítók / Forrás: [www.sl-rack.com](http://www.sl-rack.com), [eshop.wurth.hu](http://eshop.wurth.hu)

### Sínösszekötő

Gyakran előfordul, hogy a szerelősíneket hosszirányba toldani szükséges, ezért a toldásoknál sínösszekötőket, sántoldókat alkalmaznak. A sínösszekötők formájukat tekintve a profilozott formák miatt sínenként változnak. Az összekötők a sín belsejébe kerülnek, hosszuk 200 – 300 mm. Anyaguk leggyakrabban alumínium, de lehetséges rozsdamentes acél kötés is. Célja a szerelősín mechanikai folytonosságának biztosítása. A toldandó síneket ütközésig kell a toldókra tolni úgy, hogy első lépésben a toldót helyezzük a már felszerelt sínbe, majd a folytatódó sánt toljuk rá és rögzítjük a tetőhorgokhoz. A sínbe tolt összekötőket össze kell csavarozni a sín falával. Egyes modelleknél nem szükséges a csavarozás, mivel a toldó egy szegeccsel van ellátva, így az belefeszül a sínbe. A toldók közepén elhelyezett szegecs vagy egy kiszélesítés megakadályozza, hogy a toldó csak az egyik sínbe csúszson bele az összetoláskor. A toldásoknál bizonytalan a sín galvanikus kapcsolata, ezért ezekben a pontokban alkalmaznak kiegészítő összekötést is, hogy a potenciál kiegyenlítés biztosított legyen. [4]



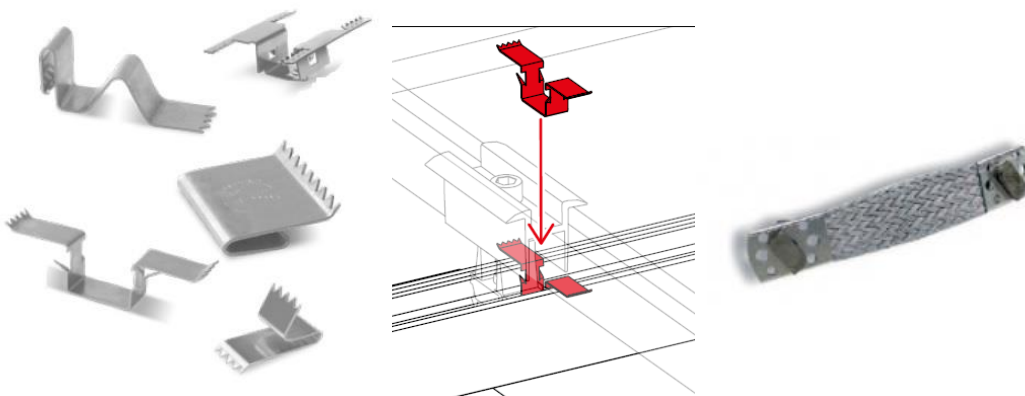
3.15 ábra: 40x40 mm-es szerelősín sántoldó / Forrás: szerző saját fotói.



3.16 ábra: 60x37mm-es szerelősín sintoldó/ Forrás: : eshop.wurth.hu

### Potenciálkiegyenlítő elemek (EPH)

Az MSZ HD 60364-4-41:2007. szabvány szerint a napelem tartószerkezeteket egyenpotenciálra kell hozni, be kell kötni az EPH-ba. A szerelősínek összekötésének kitűnő eszköze a lenti ábrán látható erős fonott alumíniumpánt. A két kalapácsfejű csavarnak köszönhetően egyszerű a telepítése. Hossza: 180 mm, anyaga: rozsdamentes acél és alumínium, 10 kWp feletti teljesítménynél már javasolt a használata. A ábrán látható különböző fogas kapcsok a leszorítókhoz tartoznak, a rögzítéskor belekarmolnak az alumínium modul keretbe és a szerelősínekbe. Erre azért van szükség, mert a modul keret és a vezető sín is lehet porszórt, illetve eloxált (pl. fekete modulok) felületkezeléssel ellátva, ami szigetel vagy legalábbis csökkenti a vezetőképességet. A köztes- és a végleszorítókat is lehet úgy kialakítani, hogy azok EPH tüskével legyenek ellátva. Ezek a kemény fémtüskék szerelés közben a paneleket rögzítve belenyomódnak a modul alumínium keretébe így létrehozva a tartószerkezet és panel közti vezető kapcsolatot. [1]



3.17 ábra: EPH pánt és kapcsok / Forrás: k2-systems.com

A potenciálkiegyenlítést a szerelősínek közt, potenciálkiegyenlítő összekötő kapocs segítségével, körszelvényű alumínium huzal (mini 16 mm<sup>2</sup>) mentén lehet egymáshoz

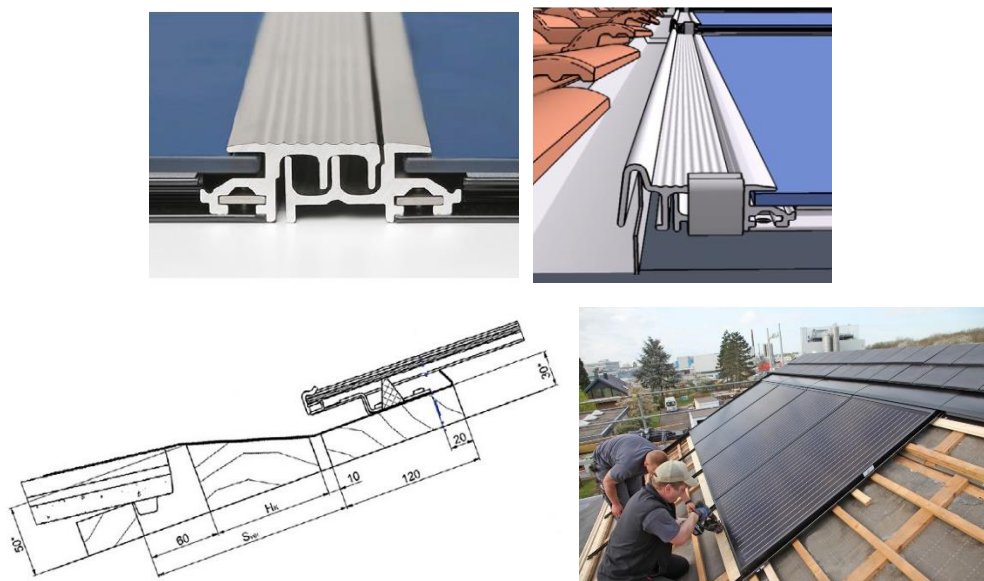
csatlakoztatni. Az összekötés nem villámvédelmet szolgál, de a villámvédelem szigorúbb feltételeinek megfelelő tervezést követően, megfelelő keresztmetszetekkel, villámvédelmi célokra is alkalmazható. Az ábrán látható rozsdamentes összekötő kapocs kalapácsfejű csavarral rögzül a vezetősínhez. [4]



3.18 ábra: Potenciálkiegyenlítő összekötő kapocs / Forrás: eshop.wurth.hu

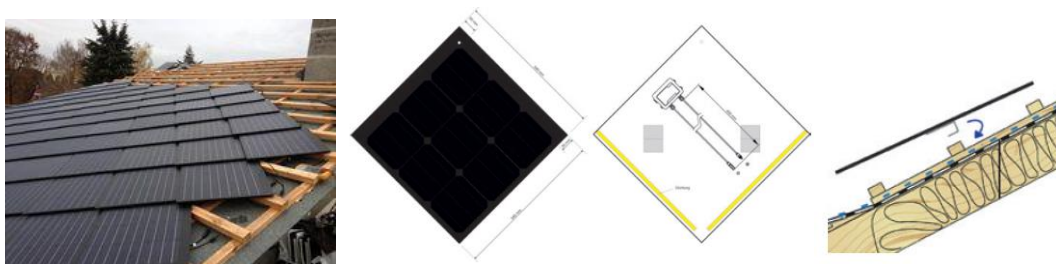
### Tetőbe integrált napelemek

A ferdetetőkre szerelt napelemek fajtái között említést érdemelnek a tetőcserép felületébe integrált, a héjazat síkjába épített (INROOF) napelemek is. A napelemeket közvetlen a tetőszerkezetre (cseréplécekre) szerelik, így az épület héjazatát a modulok adják. Az így felszerelt rendszer teljesen vízzáró kialakítású. A modulok szerelési rendszerüktől függően különböző méretűek lehetnek, a megszokott 1-1,7 m<sup>2</sup>-es modul mérettől a cserép méretűekig. Általában üveg-üveg modulok, kivéve a cserepekre ragasztott megoldásokat. A modulok függőleges irányba egymásra fednek, mint a szokásos tetőfedő elemek, a szomszédos modulok közt takarólemezekkel biztosítják a vízzáróságot. Környezetüket a megszokott bádogos megoldásokkal fedik le, illetve csatlakoztatják a meglévő héjazathoz, vagy zárják le a tető végeit. A gyártók a szereléshez szükséges, külön erre a célra fejlesztett elemeket biztosítják a modulokhoz. A lenti ábrán a szomszédos modulok erre kialakított alumínium profillal csatlakoznak egymáshoz. A profilba integrált gumitömítés biztosítja a vízzáróságot. A modulok a tető szerkezetéhez egyszerű kis kampókkal rögzülnek. A kampók lényegesen kisebb terhelésnek vannak kitéve, mint a cserép fölé kerülő típusok. Mivel közelebb vannak a tetőszerkezethez, így a tető síkjával megegyező irányú erők hatására ébredő nyomatek, a kisebb hajtókar révén lecsökken. A terhelés csökkenés a szélteher csökkenéséből fakad. A kampóra eső, a tetősíkra merőleges nyomó erő (hóteher, szél ilyen irányú komponense) változatlan.



3.19 ábra: Solrif Inroof / Forrás: [www.solrif.com](http://www.solrif.com)

A modulok zsindelylemez formában kaphatók. A lentebbi ábrán látható monokristályos zsindelypanel, 44,5 Wp teljesítményű, 19,2 % hatásfokú, 540x540 mm, 3,3 kg, névleges feszültség 4,86 V, névleges áram 9 A. A zsindely modul a hátoldalára ragasztott kampókkal kapaszkodik a tetőlécekre, felső sarkában egy csavarral rögzíthető. A modulok egymásra takarnak és az érintkezési felületen egy gumitömítés biztosítja a vízzáró kapcsolatot. A modulok ugyanezzel a módszerrel homlokzatra is rögzíthetők.



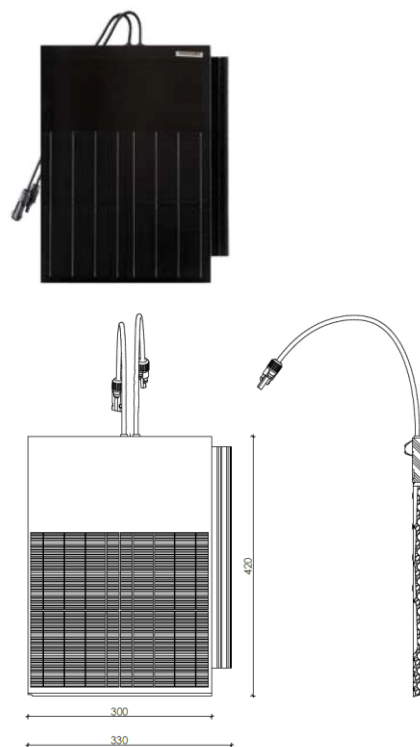
3.20 ábra: Solteq solardach / Forrás: [www.solteq.eu](http://www.solteq.eu)

A modulokat ugyanúgy sorba (stringbe) kell kapcsolni egymással, szolár kábelekkel és MC4 csatlakozókkal, mint a szokásos megoldásoknál.

A napelemes tetőcserép, illetve a tetőbe integrált modulok ötlete nem újdonság, már az ezredforduló környékén is elérhető volt. Elterjedését korlátozza a fajlagosan magas költsége és így a hosszú megtérülési idő.

Napelemes tetőcserepet magyar gyártótól is vásárolhatunk. A lentebb látható ábra a magyar gyártó által 2017 óta forgalmazott cserepet mutatja be.

| Napelem modul              |                                                                                                    |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Típus                      | Monokristályos                                                                                     |
| Névleges teljesítmény      | 15 Wp                                                                                              |
| Tolerancia                 | 5 %                                                                                                |
| Modul hatásfok             | 17,9 %                                                                                             |
| Frontfelület               | 3,2 mm vastag edzett üveg                                                                          |
| Munkaponti áramerősség     | 6,52 A                                                                                             |
| Munkaponti feszültség      | 2,31 V                                                                                             |
| Rövidzárási áramerősség    | 6,82 A                                                                                             |
| Üresjáratú feszültség      | 2,62 V                                                                                             |
| Maximum rendszerfeszültség | 1000 V                                                                                             |
| Cellák száma               | 4                                                                                                  |
| Cellák mérete              | 143 x 124 mm                                                                                       |
| Csatlakozó doboz           | IP65, 1 db Bypass diódával                                                                         |
| Vezeték                    | 400 mm hosszú, 4 mm <sup>2</sup> -es solar kábelek, TYCO PV4 csatlakozóvégekkel (MC4 kompatibilis) |



3.21 ábra: Terrán Generon, napelemes tetőcserep / Forrás: terran-generon.hu

Egy modul teljesítménye 15 Watt, vagyis mintegy 6 négyzetméteren termel 1 KW energiát, tehát egy 6 kW rendszer kb. 36 m<sup>2</sup> tetőfelületet igényel. Ez nagyjából megfelel a jelenleg kapható normál modulok felületigényének. Egy normál családi ház 200-250 m<sup>2</sup> tetőfelületének 15-20 %-át igényli. [10]

Tetőbe integrált napelemek előnyei:

- Építészetileg szép megoldás, műemlékvédelem alatt álló épületeken is
- Héjazat és a napelemek egy szerkezetben. Teljeskörű megoldás tetőfedésre és a napenergia hasznosításra
- Könnyű, hatékony, gyors és biztonságos kivitelezhetőség

#### Hátrányok:

- Ár-érték arányban még nem versenyképes, jelentősen hosszabb megtérülési idő összehasonlítva a normál napelemekkel
- Alacsonyabb hatásfok, 17,9 % az ismert akár 20-23 %-ához képest,
- A tető síkjába építve nem szellőzik olyan mértékben, mint a tetőkampóra szerelt modulok. Hamarabb felmelegszik, ami a hatásfokot gyengíti. Ez akár az élettartam csökkenésével is járhat.
- A tetőcserép megoldásokon nem optimalizálhatók a napelemek, úgy, mint egy SMART rendszer, például a SolarEdge keretei között, mivel nincs beépítve optimalizáló, vagy mikroinverter.
- A hagyományos rendszerekkel szemben, karbantartásnál és hibakeresésnél nehézkes a körök (string-ek) megbontása.
- Hosszú évek után a meghibásodott panelek cseréje problémás lehet, de szükségeszerű mivel az épület időjárás elleni védelmét is biztosítja. [19]

#### **3.1.1. Épületintegráció (BIPV), Homlokzatra szerelt napelemek tartóelemei**

A napelemek épületintegrációja egy nagyobb lélegzetvételű, összetett építészeti témakör. Jelen fejezetben röviden csak a rögzítésükre, tartószerkezeteik kialakítására kívánok kitérni. Mivel az előző pontban már foglalkoztam a tetőbe integrált napelemekkel, ezért itt csak a homlokzatra szerelt megoldásokat vizsgáltam meg.

Napelemek épületintegrációs alkalmazásának főleg olyan megoldásokat nevezünk, ahol a napelemek átlátszó, vagy átlátszatlan homlokzatképző elemek formájában, illetve egy vagy többkamrás napelem-thermoüveg (PV-thermo) konstrukcióban, klasszikus cserép vagy lemez helyett, héjazatként vagy például átlátszó hőszigetelő tetőfedésként kerülnek alkalmazásra.

A homlokzatra szerelt napelemrendszerek rögzítésüket tekintve nagyon hasonlatosak a tetőbe integrált elemekkel. A legtöbb gyártó tetőre szerelhető paneljai homlokzatra is szerelhetők. Az épület homlokzatán feldübelezett szerelősínekre, függőnyfal elemekre rögzítik a modulokat, vagy fából kialakított létraváz szerkezetre (mint a tetőlécezés) rögzülnek. Külső árnyékolóként is használhatók (a belső tér melege miatt a külső árnyéklás jobb megoldás, de drágább), aminek így kettős haszna van, mivel a modern irodaházakra szükséges külső árnyékoló felszerelése, tehát logikus lenne, ha a napsugárzás elleni védelem azonnal hasznosítaná is a napsugarakat.



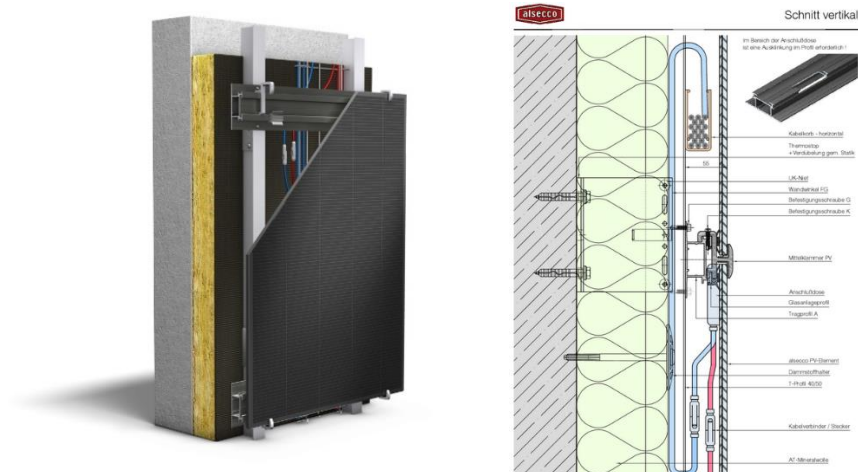
3.22 ábra: Homlokzatra szerelt Napelemes árnyékoló szerkezetek / Forrás: [www.archdaily.com](http://www.archdaily.com)

Általában Üveg-Üveg modulok és ha adott esetben fej fölé kerülnek akkor biztonsági üvegből kell készülniük. A homlokzati napelemeknek építészeti jelentőségük van, meghatározzák az épület kinézetét. Ezért a homlokzatra szerelt modulok fő tulajdonsága nem az energia termelő képessége, hanem a külleme. A különböző gyártók éppen ezért igyekeznek minél több formával és színvariációval előállni. A vékonyrétegű napelemek jelentős változást hozhatnak e téren.



3.23 ábra: Színes szolárhomlokzat/ Forrás: [www.baunetzwissen.de](http://www.baunetzwissen.de), [www.eterinit.ch](http://www.eterinit.ch)

A napjainkban épülő energiatakarékos épületek, jó homlokzati kialakítása, épületfizikai szempontból kiemelten fontos. A homlokzat az épület egyik legnagyobb felülete, így az épület ezen a felületen keresztül jelentős hőenergiát képes veszíteni. Az energiatudatos építészet egyik kedvelt homlokzati kialakítása az ún. átszellőztetett homlokzat, aminek a lényege, hogy a homlokzati hőszigetelésre kerül egy homlokzatburkolat úgy, hogy a szigetelés és a burkolat között légrés maradjon (kb. 50 mm). Előnye, hogy a nyári melegben a felmelegedő homlokzat mögött a légrés segítségével a meleg felfelé áramlik, kiszellőzik és nem adja át a hőt a szigetelésnek és így a belső térnek. A homlokzatra szerelt napelemek jól illeszthetők ebbe a rendszerbe, mivel a homlokzat burkolata, így energiatermelővé válik és a háttér szellőzés a napelemeket is hűti, fokozva így a teljesítményt (vagy legalábbis nem romlik a teljesítménye).



3.24 ábra: Átszellőztetett szolár homlokzati metszet/ Forrás: [vhf.alsecco.de/en](http://vhf.alsecco.de/en)

### 3.1.2. Lapostetőre szerelt napelemek tartó elemei

Napelemeket lapostetőre telepíteni egy összetettebb feladat, mint sátor vagy nyeregtetőre. A tartószerkezet megválasztása előtt több tényezőt kell figyelembe venni. A lapostetőn nem a tető dőlésszöge és tájolása határozza meg a napelemek állását, hanem a tartószerkezet. A lapostető lehetőséget nyújt a napelemek optimális tájolására, amennyiben azt egyéb tényező nem zavarja. A lapostetős telepítés nehézségét pont ezek a külső tényezők jelentik. Elsődleges szempont a tetőszerkezet teherbírásának megvizsgálása, mivel a lapostetőre telepített napelemek nem rögzülnek a tetőszerkezethez, hanem a tartószerkezetet le kell lesúlyozni, hogy az ellenálljon a széltehernek. A tetőn számtalan olyan tárgy van, ami árnyékot vethet a modulokra, ilyenek a kémények, szellőzők, légkondicionálás, antennák kibúvók, attikafal, és persze a környező épületek, növényzet. Fontos tényező még az épület meglévő villámvédelme,

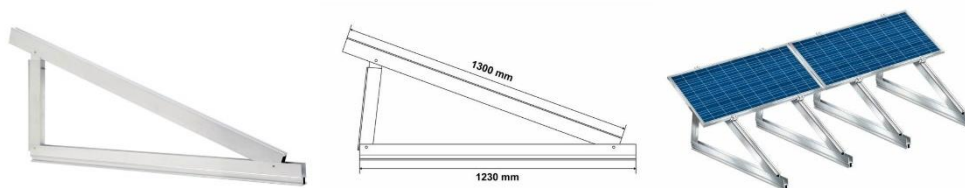
a felfogók és levezetők elhelyezkedése, ami nemcsak az árnyék miatt fontos, hanem a villámvédelemtől a szükséges „s” biztonsági távolságot meg kell tartani. A szerkezetgyártók a már fentebb említett szoftverekkel igyekeznek segíteni a kivitelezőket a megfelelő szerkezet kiválasztásában. A tervezőprogramok lehetőséget adnak a tetőn lévő akadályok, árnyékok kezelésére.

A lapostetőre szerelt rendszerek, mint ahogy más napelemek is, alapvetően Déli vagy Kelet-Nyugati tájolásúak. A lapostetők esetében, ennek azért van kiemelkedő szerepe, mert a déli tájolással szemben a kelet-nyugati irányba igazított rendszer alacsonyabb, így kevésbé van kitéve a szélterhelésnek. A tartószerkezete valamivel egyszerűbb kivitelű, kevesebb az anyagszükséglete, és ami nagyon fontos, a szerkezet leterhelésére is kevesebb súlyra van szükség. A kevesebb súllyal a rendszer alkalmassá válik, hogy olyan tetőkre is telepítsék, ahol kritikus a födém teherviselő képessége.

A modulok rögzítőelemei megegyeznek a ferdetetőkénél használt elemekkel, a leszorítók végleszorítók, kötőelemek, a földeléshez egyenpotenciálra hozáshoz használt elemek ugyanazok. A szélteher csökkentése végett alkalmaznak a gyártók széltörő lemezeket a szélső modulsoroknál, hogy a szél ne tudjon alákapni a szerkezetnek, ezzel is csökkentve a ballaszt mennyiségét.

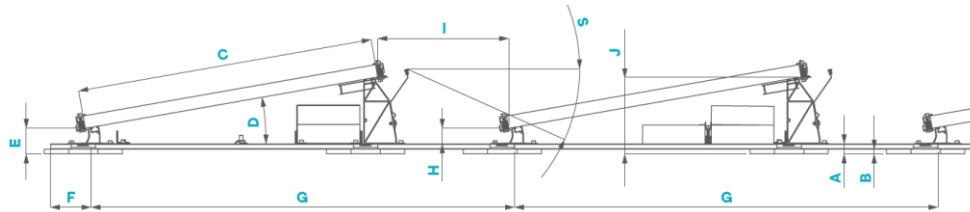
A tartók anyaga legtöbbször alumínium, rozsdamentes acéllemez, horganyzott acél, illetve lehet műanyag. A tartók gumialátét papucsokra kerülnek, hogy ne sértsék fel a tető víz szigetelését. Az alátétek hagynak pár centi részt az alapsín és a födém között, így nem alakul ki torlódó víz, a csapadékvíz akadálytalanul lefolyhat.

Talán a legegyszerűbb megoldás lapostetőkre egy klasszikus alumínium háromszög szerelősínnel összefogatva, állítható dőlésszöggel. A háromszögek keresztirányú alapsínekre helyezhetők, az alapsínek lesúlyozhatók (tetőtől függően). A modulok állítva fektetve egyaránt szerelhetők keretnélküli üveg-üveg modulok is. [12]



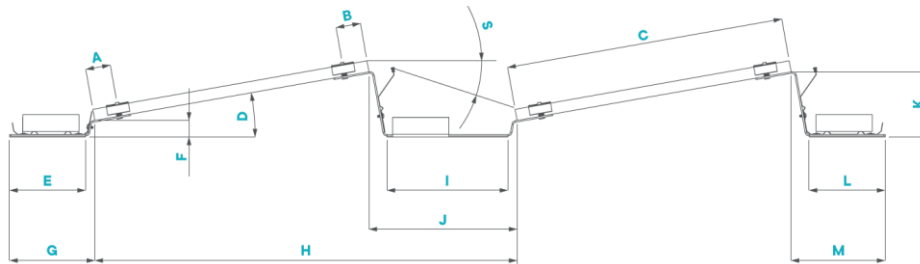
3.25 ábra: Würth Háromszögtartó lapostetőre / Forrás: eshop.wurth.hu

A következő ábrán bemutatott szerkezet, szélcsatornában minősített 250 km/h szélsősebességet képes viselni, illetve 5,4 kN/m<sup>2</sup> hőterhet, 25 év garanciával.



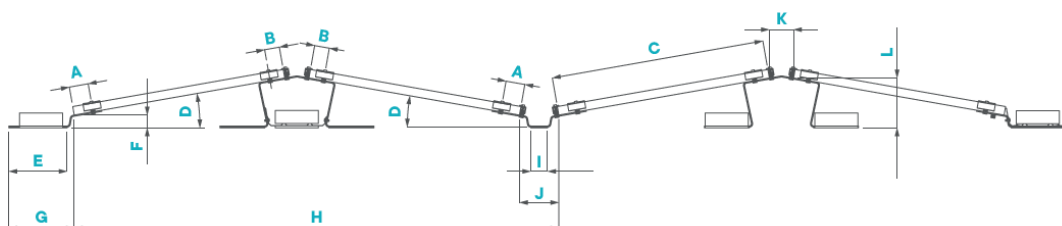
|                                 | A<br>[mm] | B<br>[mm] | C*<br>[mm] | D<br>[°] | E<br>[mm] | F<br>[mm] | G<br>[mm] | H<br>[mm] | I*<br>[mm] | J<br>[mm] |
|---------------------------------|-----------|-----------|------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|
| <b>SN10 Kurzseiten-Klemmung</b> | 32        | 15        | 950-1150   | 10       | 77        | 130       | 1355      | 45        | 421-218    | 251       |

3.26 ábra: CompactFLAT SN10/15 Déli tájolású szerkezet hosszmetset / Forrás: [www.aerocompact.com](http://www.aerocompact.com)



|                                          | A<br>[mm] | B<br>[mm] | C*<br>[mm]   | D<br>[°] | E<br>[mm] | F<br>[mm] | G<br>[mm] | H*<br>[mm]    | I<br>[mm] | J<br>[mm] | K<br>[mm] | L<br>[mm] | M<br>[mm] | S*<br>[°] |
|------------------------------------------|-----------|-----------|--------------|----------|-----------|-----------|-----------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>S10 – 380mm –<br/>Kurzter Abstand</b> | 88,5      | 88,5      | 950-<br>1150 | 10       | 270       | 60        | 303       | 1314-<br>1517 | 282       | 380       | 232       | 270       | 334       | 25        |

3.27 ábra: CompactFLAT S10 Déli / Forrás: [www.aerocompact.com](http://www.aerocompact.com)



|                                             | A<br>[mm] | B<br>[mm] | C*<br>[mm]   | D<br>[°] | E<br>[mm] | F<br>[mm] | G<br>[mm] | H*<br>[mm]    | I<br>[mm] | J<br>[mm] | K<br>[mm] | L<br>[mm] |
|---------------------------------------------|-----------|-----------|--------------|----------|-----------|-----------|-----------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>SIOPLUS – 182mm –<br/>Kurzer Abstand</b> | 88,5      | 69        | 950–<br>1150 | 10       | 270       | 59        | 303       | 2163–<br>2568 | 78        | 182       | 112       | 230       |

3.28 ábra: CompactFLAT Kelet-nyugati tájolású szerkezet hosszmetesz / Forrás: [www.aerocompact.com](http://www.aerocompact.com)

A következő ábrán egy HDPE műanyag tartószerkezet látható. A műanyag „edény” 15°-os szögben tartja a napelemeket, rendszersúly 7,9 kg/db (töltelék nélkül), 144 km/h szélereősséget képes viselni és 3,5 kN/m<sup>2</sup> hóterhet, 10 év garancia mellett. Ennél a megoldásnál merev keretes modulokat lehet csak alkalmazni.



3.29 ábra: műanyag modultartó / Forrás: [www.renusol.com](http://www.renusol.com)

### 3.2. Szabadföldi erőművek tartószerkezetei

A földre szerelt szabadföldi erőművek tartószerkezeteiből is rengeteg típus létezik. Szabadföldi rendszerek általában nagyobb erőművek. Magyarországon jelenleg az 500 kW-os erőművekből épült a legtöbb. A szerkezetek alapvető különbsége a naphoz való viszonyukból fakad, ami magával vonja a különbségeket kialakításukban is.

Megkülönböztetünk fixen telepített, illetve napkövető rendszereket, észak-déli, illetve kelet-nyugati tájolású rendszereket. Anyaguk legtöbb esetben tűzhorganyzott acél vagy alumínium, illetve ezek kombinációja. Készülhet persze fából is, de ez nagy erőműveknél nem jellemző. Alapozásuk a környező talajtól függ, illetve a modulsorok elhelyezkedésétől. Az erőmű szélső sorai nagyobb széltehernek vannak kitéve, mint a belsők, így itt a szél szívóhatása erősebb. Ezért ugyanazon erőművön belül is sokféle alapozásra lehet szükség. A továbbiakban az említett eltérések mentén szétválasztva igyekszem a szerkezeteket közelebbről bemutatni.

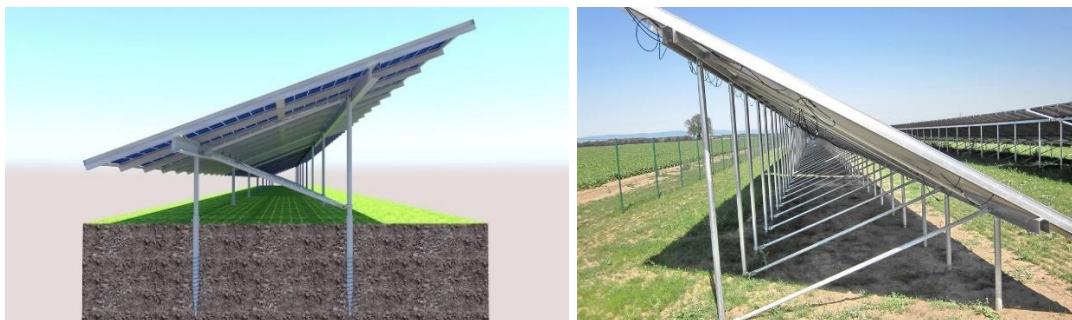
A gyártók törekednek az erőművek kivitelezési munkáját gyorsítani, a termelékenységét javítani. Kevesebb anyagmennyiség, alkatrész mellett, ugyanazt a stabilitást és tartósságot elérni. Ezért a különböző gyártók különböző rendszerei nem, vagy csak kompromisszumokkal kombinálhatók egymással. A rendszerek méretei, teherbírásuk a modulok méreteihez, súlyához, keretmagasságához igazodik.

### 3.2.1. Fixen telepített Tartószerkezetek

A fixen telepített észak-déli tájolású tartók általában egy- vagy kétállásúak. Az egyállásúra egy vagy két modulsor állítva, vagy négy fektetve helyezhető el, stringenként 2x20 – 2x24 db, inverter teljesítményétől függően. Nagyobb 3x24, 4x24 vagy 5x24 modulus panelsornál, osztásonként már két állásra van szükség a terhek viseléséhez. A tartók 25-30°-os szögben tartják a napelemeket délfelé. Az egy lábon álló tartók alatt még lehetséges a gépi fűnyírás, kétállásúaknál ez már problémás. A modulsorok számát nem a tartószerkezet teherbírása határozza meg, mivel az probléma nélkül hozzáalakítható a megnövekedett terheléshez, hanem a helyszíni szerelhetőség és a beárnyékolás befolyásolja az „asztalok” méretét. Ez kihatással lehet a dőlésszögre, ami természetesen elsősorban a szélességi kör szerint van meghatározva, de érdemes megvizsgálni, hogy egy alacsonyabb dőlésszöget választva, ugyan nem optimális a panel állása, ami termelés csökkenést eredményez, de rövidebb a vetődő árnyék, így lehet, hogy eggyel több modulsor elfér a tartón vagy közelebb kerülhetnek egymáshoz a panelsorok, ami viszont összességében növelheti a területegységre eső megtermelt energiamennyiséget.



3.30 ábra: Egyállású tartó, kerecsendi 20MW-os erőmű/ Forrás: Szerző saját fotói



3.31 ábra: Kétállású tartószerkezet / Forrás: eurombao.com

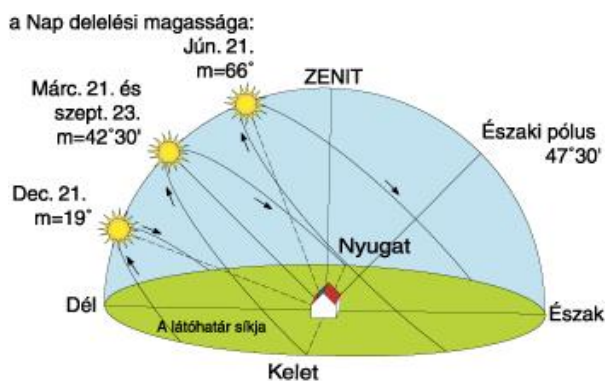
### 3.2.2. Napkövető rendszerek

A legelterjedtebb Mono- vagy Polikristályos napelemek által termelt energia nagy mértékben függ attól, hogy a napsugarak milyen szögben érik a napelem felületét (a szórtfényt hasznosító napelemtípusoknál a napkövetésnek nincs jelentősége). A napkövető rendszerek úgy pozicionálják a napelemeket, hogy a beérkező napsugarak derékszögben érijék a felületüket, ami akár 30 %-al is megnövelheti az évi energiatermelést.

A Nap pályája egy látszólagos út, amit az égbolton megtesz 1 év alatt. A Föld egyenlítője nem esik egybe ezzel az ekliptika síkkal, hanem 23,45 fokos szöget zárnak be egymással. A napsugárzás időtartama, a napsugarak iránya, valamint beesési szöge is változik mind napszakonként, mind az éves ciklusidőben. A nap égipályájának leírásához szükséges a vízszintes és a függőleges irányú helyzetét meghatározni. [14]

A vízszintes irányú érték az „**Azimut**: a Nap horizontsíkra vetített helyzetének egy meghatározott iránytól való eltérése.” (www.naplopo.hu)

Függőleges érték a „**Napmagasság**: a Nap vízszintes, horizontsíkra vonatkozó beesési szöge.” (www.naplopo.hu) [13]



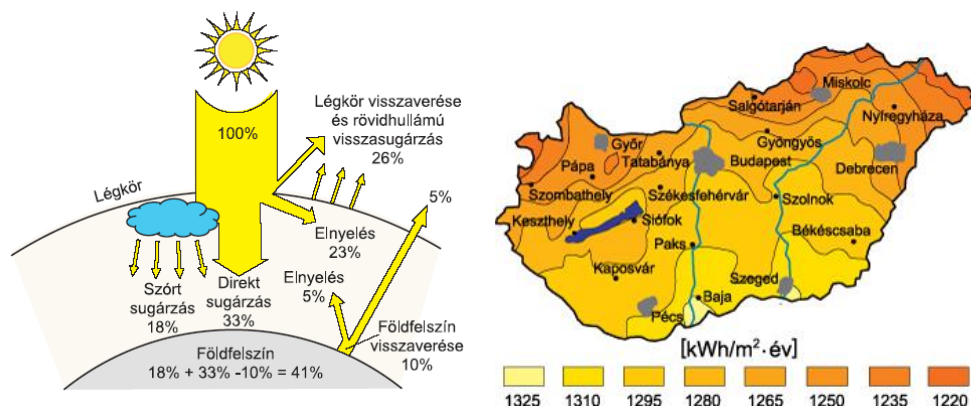
3.32 ábra: A Nap látszólagos pályája/ Forrás: www.naplopo.hu

Magyarországon a nap delelési magassága június 21-én a legnagyobb, ekkor  $66^\circ$  a napmagasság, a legalacsonyabb  $19^\circ$ , ami december 21-én van.

Déli tájolású modul éves napenergiahozama  $35^\circ$ -os dőlésszög esetén a legkedvezőbb.

Egy napelem várható energiahozama megadható annak tájolása és dőlésszöge alapján, figyelembevéve a területi elhelyezkedést.

Évi átlagos besugárzás Magyarországon:  $1250 \text{ kWh/m}^2 \text{ év}$  [20]



3.33 ábra: A földfelszínre érkező sugárzás, Mo. besugárzási értékek / Forrás: kardoslabor.hu, www.naplopo.hu

Elméletben egy 18-20 %-os hatásfokú napelemmodul az évi  $1250 \text{ kWh/m}^2$  besugárzás 18 %-t ( $225 \text{ kWh/m}^2/\text{év}$ ) képes négyzetméterenként elektromos energiává alakítani.

A napkövető rendszerek a nap említett függőleges és vízszintes irányát próbálják lehető legjobban lekövetni, irányonkénti tengelyen elfordulva. Ezért a napkövető rendszerek terén, szabadsági fokukat vizsgálva megkülönböztetünk egy tengelyen, illetve két tengelyen mozgó rendszereket. A tengelyirányokon túl különbségek vannak az elfordulás mértékében, a mozgás intervallumában.

Az egytengelyen elforduló rendszer fordulhat a függőleges és vízszintes irányú tengely körül. Legegyszerűbb módon a napkövető, a kelet-nyugati tengely (X tengely) körül fordul el, évi két-három alkalommal, manuálisan állítva, süllyesztve vagy emelve a paneleket a nap  $19^\circ$  -  $66^\circ$  közötti magasságához állítva. A módszer kb. 10 % többletet jelenthet az éves energiatermelésben. [21]

Másik lehetőség, ha a keletről nyugatra haladó nap lekövetésére a panel észak-déli irányú tengely (Y tengely) mentén fordul el. A kelet-nyugati tájolású napkövetőkön belül is adódik a következő három változat:

- Klasszikus megoldás, amikor a panelsorok párhuzamosak a föld felszínével, közel vízszintesek és a napkövetést keletről nyugatra végzik, nem foglalkozva a nap delelési magasságával. A napkövető rendszer vízszintes irányban, a keletről nyugatra haladó napot, nyári időszakban a modulok egymásra vetődő árnyéka

miatt, közel  $60^\circ$ -os elfordulással képes lekövetni. A megoldás kb. 15 % többlet energiatermelést jelenthet.

Ennek a rendszernek létezik egy továbbfejlesztett változata is, amit egy intelligens automatikával szereltek, hogy kiküszöböljék a panelsorok elkerülhetetlen árnyékolását a kora reggeli, illetve naplemente időszakában. A modulok az esti órákban „pihenő állapotban” vízszintesen állnak. Az elektronika a reggeli órákban a vízszintes pozícióból indulva, nem a nap járásával megegyezően forgatja a paneleket, hanem ellentétesen, addig a pontig amíg, a fény árnyék nélkül már merőlegesen esik a modulokra. Ha elérte ezt az állapotot akkor követi a nap járását. Naplementekor szintén elérkezik ahhoz a ponthoz, ahol árnyékot vetnének a panelsorok egymásra, itt újra ellenkező irányba a vízszintes felé kezd fordulni, majd visszaáll teljesen vízszintesbe. A napelemek termelése így még mindig jobb, mint ha árnyék vetődne a modulokra.

A következő képeken egy egytengelyen elforduló, kelet-nyugati tájolású napkövető rendszer látható, Bifokális modulokkal, modulsoronként valós idejű vezérléssel. [21], [22]



3.34 ábra: Egytengelyes, kelet-nyugat tájolású, valós idejű vezérléssel / Forrás: [www.nextracker.com](http://www.nextracker.com)

- b) Az elfordulást végző észak-déli tengely, déli irányba megdőntve áll a föld tengelyével (Polártengely) közel azonosan, a napjárási síkjára merőlegesen. A megoldás nem veszi figyelembe az évszakok közötti nap delelési magasság különbségeket, de egy tengellyel a legoptimálisabban követi a nap járását. A rendszer 25-30 % többletenergiát hozhat. [21]



3.35 ábra: Egytengelyes, kelet-nyugati tájolású, döntött panel / Forrás: [www.raysolar.com](http://www.raysolar.com)

- c) Továbbá létező lehetőség az egytengelyes kivitelre, amikor a döntött panel a földre merőleges tengely körül fordul el. Erőművi alkalmazásban nem, de egyedi megoldásoknál lehet vele találkozni. A következő ábrán a követéselv, illetve a képen egy függőleges tengelye körül elforduló épület látható. A németországi épület, az alatta gyűrűben kialakított síneken fordul a saját maga által megtermelt energiából. Az épületben egy előadó terem kapott helyet és bemutató célt szolgál, egy vadasparkban. [21]



3.36 ábra: Egytengelyű napkövető elve, Épület Németország, Oberreith /  
Forrás: [sinovoltaics.com](http://sinovoltaics.com), Szerző saját fotói

Mindhárom esetben a napkövetés reggeltől estig tart és fokozatos állítást igényel, ezért a mozgatót egy helyszíni táplálású villanymotor végzi. Rendszerfüggő, hogy a mozgató szerkezet panelokat, panelsorokat vagy akár több panelsort működtet egyszerre. A mozgató lehet valós idejű vagy előreprogramozott. A kelet-nyugati irányba mozgó rendszer becsült energiahozama, egy fixen telepített rendszerhez képest, +15-30 % közötti többlettermelést érhet el.

A kéttengelyű napkövető rendszerek képesek a nap mozgását teljes mértékben lekövetni. A valós idejű érzékelő mechanikával ellátott rendszerek a napelemek felületét mindig az optimális irányba fordítják. A besugárzás iránya mindig merőleges a panelekre. A rendszer becsült energiahozama, egy fixen telepített rendszerhez képest,

+30-40 % közötti többletermelést érhet el, déli országokban akár több is. Hátránya a drága tartószerkezet és drága karbantartás, illetve az időigényes telepítés.

A következő képen egy Németországi 749,25 kWp rendszer látható, 6,9 ha-on, 135 állás, állásonként 40 m<sup>2</sup> napelemmel. A területet legelőként hasznosítják, az állatok jól megférnek a napelemek alatt.



3.37 ábra: Kéttengelyű napkövető Németország Erding mellett/ Forrás: Szerző saját fotói

### 3.2.3. Agrofotovoltaikus szerkezetek

Az agrofotovoltaikus rendszerek, röviden agroPV vagy APV, olyan energiatermelő és agrár megoldások, ahol ugyanazon a földterületen történik a villamosenergia és a mezőgazdasági termelés. A Fraunhofer Intézet rámutatott, hogy az ilyen kettős hasznosítás összegzett hatékonysága 60 %-kal is nőhet. Ugyan az árnyék miatt csökken a terméshozam, és a fényáteresztés miatt ritkábban telepített napelemek fajlagos termelése is kevesebb, de a terület összességében 60 %-kal hatékonyabban lett kihasználva. [23]



3.38 ábra: Területhasználati hatékonyság / Forrás: [www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)

Három alapvető APV rendszert lehet elkülöníteni a modulok pozíciója alapján:

- földre telepített panelsorok közötti mezőgazdálkodás,
- emelvényre helyezett napelempanelek alatti mezőgazdálkodás
- napelemes üvegházak rendszerét.

A termőföld-hasznosítás módja szerint megkülönböztetünk szántóföldre, legelőre és üvegházra szerelt rendszereket. A panelek elhelyezhetők fixen szerelt vagy napkövető rendszerben.

Az APV rendszer működésének potenciálja a gazdaságosabb kettős földhasználatban, illetve a napelemek által létrehozott speciális mikroklímában rejlik.

A kettős rendszer előnyei:

- a napelemek védelmet biztosítanak a növényeknek és a talajnak a túlzott napsugárzás ellen;
- a napelempanelek árnyékot vetve csökkentik a növényzetet érő hőmérsékletet és az evapotranspirációt (a növényzet és a talaj együttes párolgását), így a talaj kevesebb nedvességet veszít, ami akár 20 %-kal csökkentheti az öntözési igény;
- a napelem tartószerkezetei használhatók a haszonnövények gyámrendszereként is, öntözőrendszert lehet kiépíteni rajtuk, illetve alkalmas jégfaló vagy fólia rögzítésére;
- jótékony hatással vannak azokra a növényekre, amik a hőmérséklet-emelkedésre különösen érzékenyek;
- a napelemek lehetőséget adnak a csapadék irányított összegyűjtésére a későbbi öntözés céljából;
- sivatagos területeken a talaj termelékenysége akár 60-70 %-kal is növekedhet;
- a napelemek teljesítményére jó hatással van a növények párolgása miatti természetes hűtőhatás;
- a vertikálisan a művelési sorok közé telepített kétoldalú panelek teljesítménye fokozható a nagyobb sortávolságok által;
- a magas szerkezetre telepített bifokális modulok teljesítménye növekedhet az alatta nagyobb fényvisszaverő, világos színű virágzó növények termesztése által (pl. repce, olajretek);
- a mezőgazdasági terület gazdasági értéke növekedhet;
- lehetőséget kínál a mezőgazdasági egységek önellátó gazdálkodására. [23]

Hátrányok:

- az árnyékolás miatt a fényigényes növények termesztésére nem alkalmas ez a rendszer
- az üvegházakra szerelt APV rendszerek hatékonysága rosszabb a szabadon állókhoz képest, mezőgazdasági és villamos energiatermelés terén is.
- szántóföldi munkagépek művelés közben nagyobb mértékű kiporzást okoznak egy hagyományos PV parkhoz mérten, ami a panelek gyakoribb mosását, így a karbantartási költségek növekedését eredményezheti;
- kivitelezése nehezebb és a tartószerkezete jelentősen drágább a hagyományos tartókhoz képest. [23]

A lenti képen egy jégfalóval kombinált rendszer látható. Az üveg-üveg áttetsző napelemeket a védőháló miatt kiépített fa oszlopsorra telepítették. Az oszlopsor így több

funkciót lát el, gyámrendszere a haszonnövénynek, tartja a jégkálót és a napelemeket. A képen látható gazdaságban ugyan nem alkalmazták, de adott esetben a csepegtető öntözőrendszer is rászerezhető az oszlopsorokra.



3.39 ábra: APV jégkálóval kombinált magas rendszer/ Forrás: [www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de), [www.pv-magazine.com](http://www.pv-magazine.com)

#### 3.2.4. Szabadföldi napelemes erőművek alapozása

A szabadföldi erőművek szerkezeteinek alapozását, a szerkezet típusa, a ráható terhelések és a talaj összetétele határozza meg. Egy erőművön belül többféle alapozás is szükséges lehet. Az alapozási mód kiválasztása előtt talajmechanikai vizsgálatot kell készíteni. Csak a vizsgálat alapján lehet egyértelműen tervezni az erőmű alapozását. A rendelkezésre álló adatokból már következtetni lehet a szükséges alapozási formára, de az egészen pontos meghatározáshoz alapterhelési próbákat kell a területen végezni. A minél pontosabb felmérésnek értelemszerűen gazdasági haszna van, mivel rámutat a terület szélsőségeire, behatárolja azokat, ezáltal szükségtelessé teszi a túltervezést vagy éppen az adatok ismerete lehetővé teszi, már a projekt elején az esetlegesen, a normálistól eltérő drágább alapozás költségeinek betervezését. Tehát lehetőséget ad a tervezőnek a pontos, szofisztikált megoldások megválasztására, ami adott esetben költségcsökkentést jelenthet.

Az alapozás célja, hogy átadja a szerkezet terheit a teherbíró talajra. Anyaga leggyakrabban acél és/vagy beton. Kialakítása fentebb a 2. /b pontban már felsoroltak szerint lehetséges, de a továbbiakban csak a leggyakrabban használt, sajtolt és csavarozott alapokat fogom részletezni.

##### Sajtolt alaptestek

A szabadföldi napelemes erőműveknél leggyakrabban alkalmazott alapozási megoldás, amikor a tartószerkezet részét képező tartóoszlopokat a földbe sajtolják. A profilozott tűzihorganyzott acélszelvényeket, erre speciálisan kialakított gépekkel, vibrálják a földbe. A folyamat egyszerű és gyors. A területen már előre elhelyezett (nagyjából

szétterített) acéltartókat a kitűzött pontokon függőlegesbe állítják, majd megfelelő magasságra a talajba vibrálják. A gerendákat a sajtológépbe fogatják és a gép árbócával együtt állítják függőbe, majd folyamatos vibrálás mellett függőlegesen lefelé tolják. A szükséges magasságot szintezőműszerrel mérik. Ha a gerenda nem ütközik olyan ellenállásba a talajban, ami eltértené akkor függőleges is marad.

A technológiát számos helyen alkalmazzák, szalagkorátok, zajvédőfalak, kerítések, különböző oszlopok alapozásánál stb. Fontos előnye a napelemek szempontjából, hogy azonnal terhelhető, valamint további előnye, hogy időjárástól függetlenül telepíthető (fagyott talajba is), adott esetben visszanyerhető, környezetbarát megoldás a betonhoz képest.



3.40 ábra: Sajtológépek / Forrás: [www.solarpiledriverrents.com](http://www.solarpiledriverrents.com)

### Talajcsavarok

A talajcsavarok viszonylag egyszerű szerkezetek és könnyen gyorsan lemélyíthetők. Németországból indult 30 éves technológia. A talajcsavarok szinte bármilyen talajba telepíthetők: homokos, kavicsos, agyagos talajba vagy feltöltésbe is. Viszont köves, sziklás területen elő kell fúrni. A talajcsavarok kúpos kialakításuknak köszönhetően a becsavaráskor tömörítik maguk körül a talajt, növelve így a teherbírást. A talajcsavarok teherbírási vizsgálata a DIN 18800 szabvány szerint és a csavarokra alkalmazott további külső hatások a DIN EN 1537, DIN 4125 és DIN 1054, illetve az EN ISO 1461 szabványok alapján készülhetnek. [15]

Fontos tulajdonságuk, ami kitűnően alkalmassá teszi őket a napelemes szerkezetek alapozására, hogy jelentős húzóerőket is képesek felvenni. Napelemek szempontjából ez fontos, mivel a panelsorok szabadföldi rendszereknél úgy működnek a szélben, mint egy vitorla. Ha a 30°-os szögben álló paneleket a szél hátulról vagy oldalról éri, akkor azok felfelé akarnak emelkedni, ezért az erőmű széltehernek jobban kitett részeit érdemes talajcsavarokkal alapozni. További előnyei a sajtolt oszlopokhoz hasonlóan,

hogy visszanyerhető, azonnal terhelhető és időjárástól függetlenül telepíthető, a betonhoz képest környezetbarát megoldás. [15]

1,0 m-es hosszig kézi erővel is betekerhető a betekerő segédszerkezettel. (Ezeknek a csavaroknak a teherbírása 250- 950 kg között van.). 1,0 m - 2,1 m-ig elektromos hajtású kézi behajtógéppel is betekerhetők ezek a csavarok, teherbírása 1 tonna feletti, talajtól függően akár több tonna is lehet. Efölött már hidraulikus talajcsavarozó géppel tekerik be a csavarokat. A napelemekhez ajánlott talajcsavarok teherbírása nyomásra, átmérőtől és hosszától függően, 300 kg-tól akár 7200 kg-ig is terjedhet. A gyártói adattáblázatokat vizsgálva ökölszabály szerint elmondható, hogy a talajcsavarok húzásra valamivel több, mint a felét képesek viselni a nyomó terhelésnek. Az oldal irányú terhelés esetén az érték ismét feleződik. A talajcsavar nyomóterhelés negyedét képes viselni oldalirányba. Természetesen az adatok mindig talajfüggőek és a pontos értékeket a gyártó írja elő. A képen egy normál és egy toldható talajcsavar látható. A toldható csavar bizonyítan ös szétételű talajoknál előnyös, mivel, ha a lehajtás során mérhetően kisebb a talaj ellenállása, akkor érdemes mélyebbre menni a teherbíró talajig és megtoldani a csavart. A behajtás közben, bizonyos géptípusok mérik és rögzíti a hajtás adatait, úgymint a fellépő forgatónyomatékot, függőleges nyomást, mélységet stb. Az adatokból következtetni lehet a talaj teherbírására. [15]



3.41 ábra: Talajcsavarok, egyszerű és toldható/ Forrás: [www.krinner.io](http://www.krinner.io)

Talajcsavarok terhelési vizsgálatát az erre a célra speciálisan kialakított terhelő hídval, illetve állvánnyal végzik. A vizsgált alapot nyomásra, kihúzódásra és oldalirányú terhelésre vizsgálják. A tesztet az EUROCODE 7 EN 1997-1 szabvány szerint kell lefolytatni. A vizsgálat folyamán az alap tönkre megy, ezért a terhelést nem a szerkezeti csavar helyén kell elvégezni, hanem egy ahhoz közeli, semleges területen. A próba terhelést az erőmű területének minden olyan részén végre kell hajtani, ahol feltételezhetően eltérő a talajrétegződés. Szabad szemmel is jól látható eltérések lehetnek a különböző nedvességtartalmú területeken, a mélyebben fekvő vagy erdő melletti talajok nedvesek lehetnek és így kisebb lehet a teherbírásuk. Ezeken a területeken bizonyára több vagy mélyebb csavarokra lesz szükség. Az alábbi képen egy terhelőhíd látható, illetve egy terhelő állvány. A híd nyomásra, húzásra és oldalirányú

terhelésre is képes vizsgálni a csavarokat, 200 kN terhelésig. Az állvány húzóerőt tud vizsgálni 50 kN-ig. [15]

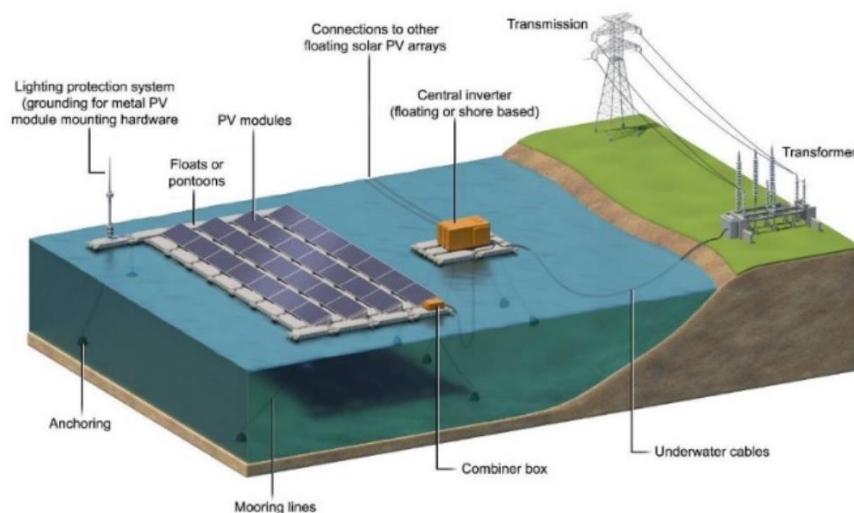


3.42 ábra: Talajcsavar terhelőhid és állvány / Forrás: [www.krinner.io](http://www.krinner.io)

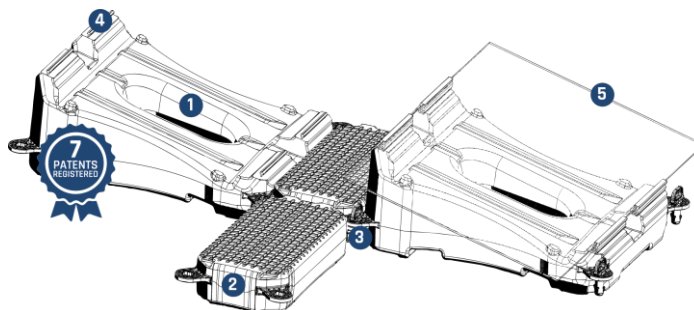
### 3.3. Úszó-ponton tartószerkezetek

Európában elsőként Hollandiában, 2019-ben jelentek meg az úszó napelemparkok, majd Németországban, Franciaországban. Az egyik legnagyobb előnye a vízi napelempark építésének, hogy nem foglalja a termőföldet (tudtommal Franciaországban már tiltják a mezőgazdasági területek napelemes erőművé alakítását, valószínűleg nálunk is ez várható), illetve a víz alternatívát jelent a napelemek egyszerű hűtésére, ráadásul a vízfelületnek a benapozottsága is akadálytalan, ami növeli a hatékonyságot. A lebegő napelemek csökkentik a víz párolgását, és ezáltal óvják az értékes vízkészletet is. Különösen fontos ez azokon a száraz, akár felsivatagos területeken, ahol a mezőgazdasági termeléshez szükséges öntözést épített víztározókból biztosítják és nem mellékesen ezeken a területeken a bőséges napsütés még inkább indokolja a napelemek telepítését. Leginkább elterjedt tartószerkezetük sósvíz és időjárás álló, egymáshoz kapcsolható műanyag elemekből áll. A külső burkolat belülről polisztirol- vagy poliuretánhabbal van kitöltve. A napelemmodulok közvetlen ezekre az elemekre vannak rögzítve. A pontonelemeket, a napelemekkel együtt, a szárazföldön szerelik össze, majd egy sólyán keresztül engedik a vízbe. Az elkészített egységet a vízben összecsatolják a többi elemmel, a pontonszerkezetet és az elektromos részeket egyaránt. A vízfelületre kiúsztatott, összekapcsolt erőműveket a mederfenékhez horgonyozzák, hogy rögzítsék a helyzetüket. A rögzítés több szempontból is fontos, egyrészt, hogy az erőmű vihar esetén vagy folyamatos egyirányú szél hatására ne sodródjon a partnak, illetve, hogy a déli tájolása megmaradjon. Itt szeretném megjegyezni, hogy létezik olyan technológia is, ami egy egytengelyes napkövető rendszerként az úszó erőművet pár egyszerű elektromos hajócsavarral folyamatosan a nap irányába forgatja. Kihasnálva így az úszó szerkezet előnyeit.

Az úszó műanyagelemek élelmszerminőségű műanyagból készülnek, így a víziélőlényekre nem károsak. Az úszó szerkezetek minősítve vannak 60 m/s szélerősségre (tájfúvbiztos), 1000 N/m<sup>2</sup> hó terhelésre, -20 C° hőmérsékletig (működőképesek befagyott vízfelületen is), tengervíz elleni korrózióra, 1,0 m-es állandó hullámmásra. [24]



3.43 ábra: Úszó napelemek elvi rajza / Forrás: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)



1. Főúszóelem a PV modulok alá
2. Másodlagos úszófolyosó, (karbantartás és felhajtóerő)
3. Csatlakozó stift
4. Sín a modulok csatlakoztatásához a fő elemhez
5. 60 és 72 cellás modulokkal kompatibilis

3.44 ábra: Hydrelion úszó napelem tartószerkezet / Forrás: [ciel-et-terre.net](http://ciel-et-terre.net)

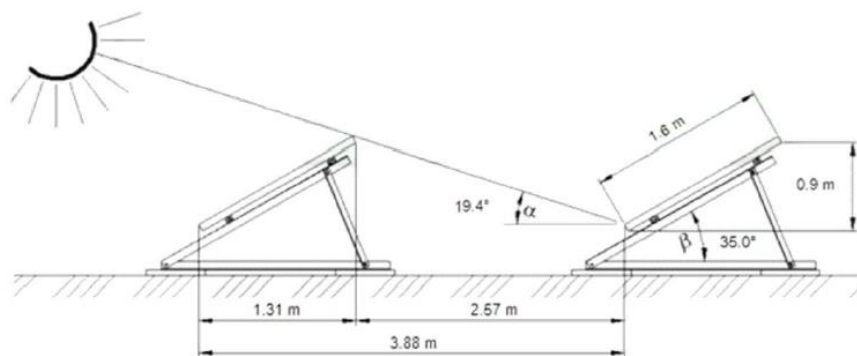
#### 4. A TARTÓSZERKEZETEK SZEREPE AZ ÖNÁRNYÉKOLÁSBAN.

A napelemeket tartó szerkezet kiválasztásánál figyelemmel kell lenni az önárnyékolás jelenségére. Mérlegelni kell, hogy a rendelkezésre álló területen milyen tartószerkezet segítségével érhető el a maximális modulszám, tehát hogyan lehet a területet legjobban kihasználni. Ebben a kérdésben elengedhetetlen megvizsgálni a panelsorok lehetséges egymáshoz viszonyított távolságát.

Önárnyékolásról akkor beszélünk, ha az egyik panelsor által vetett árnyék beárnyékolja a mögötte futó sor paneljait (vagy azok egy részét). Ezért a több sorban telepített rendszerek esetében, a panelek árnyékolását korlátozni kell. Árnyékolás akkor léphet fel, ha a modulok, vagy modulsorok, egymáshoz viszonyítva nem egy síkban vannak, hanem egy vízszintes vagy közel vízszintes felületen a naphoz való optimális állásuk miatt valamilyen szögben kell, hogy álljanak.

A leghosszabb vetett árnyék, a téli napfordulóhoz köthető. Tehát a nap ebben az időszakban jár a legalacsonabban, ezért a vizsgálatnál az adott szélességi körhöz kapcsolódó legmagasabb napállást kell figyelembe venni erre a dátumra. [16]

A vetett árnyék, illetve az önárnyékolás ellenőrzése a következőképpen számítható:



4.1 ábra: Vetett árnyék számítása/ Forrás: MMK [www.e-villamos.hu/](http://www.e-villamos.hu/)

##### 1. A modul „H” függőleges vetületének meghatározása

$$H = \text{modul magasság} \times \sin \beta \quad \rightarrow \quad \text{pl.: } H = 1,6\text{ m} \times \sin 35^\circ = 0,9 \text{ m}$$

##### 2. A függőleges vetület alapján a „T” minimális sortávolság meghatározása

$$T = \frac{H}{\tan \alpha} \quad \rightarrow \quad \text{pl.: } T = \frac{0,9}{\tan 19,4^\circ} = 2,56 \text{ m}$$

Azaz a két sor minimális távolsága **T = 2,56 m**

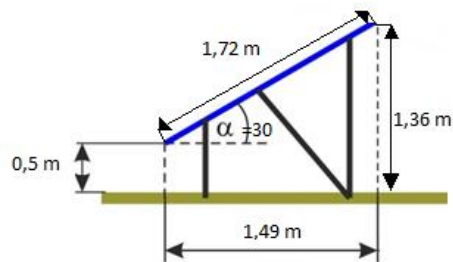
felhasznált irodalom [16]

## 5. NAPELEMEKRE HATÓ METEOROLÓGIAI TERHELÉSEK

A terhelések meghatározásánál a Jinko Tiger Pro 54HC modullal szerelt rendszert vettem alapul, mely egy kétállású, szabadföldi tartószerkezet, 30°-os dőlésszöggel, a panel alsó éle 0,5 m-re, a felső éle 1,36 m-re helyezkedik el a földtől.

Modul méret (Jinko Tiger Pro 54HC):

- Hossz „a”: 1722 mm
- Szélesség „b”: 1134 mm
- Mélység „c”: 30 mm
- Súly: 22 kg



### 5.1. Szélteher

Az épületeket érő szélterhek számítására az (MSZ EN 1991-1-4) szabvány ad útmutatást. A szélhatást egyszerűsített módon az áramló, turbulens szél hatásaival egyenértékű nyomásokkal vagy erőkkel modellezzük. A számított szélhatások az 50 éves visszatérési periódushoz tartozó karakterisztikus értékek. [17]

A szélteher, illetve a torlónyomás meghatározása során a tereptárgyat a következő kategóriákba kell besorolni:

| Terep (beépítettségi) kategóriák |                                                                                                                                 |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Jel                              | A terep jellemzése                                                                                                              |
| I                                | Nyílt terep: szélirányban legalább 5 km hosszú tó; egyenletes sík szárazföldi terület akadályok nélkül                          |
| II                               | Mezőgazdasági terület kerítésekkel, elszórtan mezőgazdasági építményekkel, házakkal vagy fákkal                                 |
| III                              | Alacsony beépítés: külvárosi vagy ipari övezetek; erdők                                                                         |
| IV                               | Intenzív beépítés: városi övezet; a földfelület legalább 15%-án olyan épületek vannak, amelyek átlagos magassága legalább 15 m. |

5.1 táblázat: Terep kategóriák / Forrás: [17]

A terep kategória egyszerű megállapítása a létesítmény körüli 1,0 km sugarú körben levő tereptagoltság alapján lehetséges. Ha a vizsgált körben többféle kategóriának megfelelő terület van, mindig a kedvezőtlenebb, alacsonyabb számjelű kategóriát kell választani. [17]

Épület, épületrész vagy szerkezeti elem egységnyi felületére ható  $w_e$  **külső felületi szélnyomást** (amely egyaránt lehet nyomás vagy szívás), a terep feletti  $z$  magassághoz értelmezett  $q_p(z)$  torlónyomás és a  $c_{pe}$  alakú tényező szorzataként kell meghatározni:

$$w_e = q_p(z) \cdot c_{pe}$$

A felület felé mutató szélnyomás előjele pozitív (+), a felülettől elfelé mutató szélszívás negatív (-) előjelű. [17]

A külső felületi szélerő karakterisztikus értéke egy adott elemi felületen:

$$F_{we} = w_e \cdot A_{ref} = q_p(z) \cdot c_{pe} \cdot A_{ref}$$

ahol:

- $q_p(z)$  a szél torlónyomása a  $z_e$  referenciamagasságnak megfelelő  $z$  terepszint feletti magasságban
- $c_{pe}$  a szélteher alakú tényezője (külső nyomási tényező)
- $A_{ref}$  a szélnyomással terhelt felület számításba veendő része (általában a teljes felület)

| A szél torlónyomásának értékei Magyarországon |                               |       |       |       | $q_p(z)$                    |                               |       |       |       |
|-----------------------------------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|-----------------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|
| Terepszint feletti magasság                   | Terep- (beépítési) kategória  |       |       |       | Terepszint feletti magasság | Terep- (beépítési) kategória  |       |       |       |
|                                               | I                             | II    | III   | IV    |                             | I                             | II    | III   | IV    |
| $z$ [m]                                       | $q_p(z)$ [kN/m <sup>2</sup> ] |       |       |       | $z$ [m]                     | $q_p(z)$ [kN/m <sup>2</sup> ] |       |       |       |
| 1                                             | 0,536                         | 0,495 | 0,446 | 0,409 | 20                          | 1,113                         | 0,978 | 0,760 | 0,572 |
| 2                                             | 0,654                         | 0,495 | 0,446 | 0,409 | 22                          | 1,135                         | 1,001 | 0,783 | 0,596 |
| 3                                             | 0,727                         | 0,571 | 0,446 | 0,409 | 24                          | 1,154                         | 1,022 | 0,805 | 0,618 |
| 4                                             | 0,781                         | 0,627 | 0,446 | 0,409 | 26                          | 1,172                         | 1,042 | 0,826 | 0,639 |
| 5                                             | 0,824                         | 0,672 | 0,446 | 0,409 | 28                          | 1,189                         | 1,060 | 0,845 | 0,658 |
| 6                                             | 0,860                         | 0,709 | 0,484 | 0,409 | 30                          | 1,205                         | 1,077 | 0,863 | 0,676 |
| 7                                             | 0,891                         | 0,742 | 0,516 | 0,409 | 33                          | 1,227                         | 1,101 | 0,888 | 0,702 |
| 8                                             | 0,918                         | 0,770 | 0,545 | 0,409 | 36                          | 1,248                         | 1,123 | 0,911 | 0,725 |
| 9                                             | 0,942                         | 0,796 | 0,571 | 0,409 | 40                          | 1,272                         | 1,150 | 0,940 | 0,754 |
| 10                                            | 0,964                         | 0,819 | 0,595 | 0,409 | 45                          | 1,300                         | 1,180 | 0,972 | 0,786 |
| 11                                            | 0,984                         | 0,840 | 0,617 | 0,431 | 50                          | 1,326                         | 1,207 | 1,001 | 0,816 |
| 12                                            | 1,002                         | 0,860 | 0,637 | 0,451 | 55                          | 1,349                         | 1,232 | 1,028 | 0,843 |
| 13                                            | 1,019                         | 0,878 | 0,655 | 0,469 | 60                          | 1,370                         | 1,255 | 1,052 | 0,868 |
| 14                                            | 1,035                         | 0,895 | 0,673 | 0,486 | 65                          | 1,390                         | 1,277 | 1,075 | 0,892 |
| 15                                            | 1,050                         | 0,911 | 0,689 | 0,503 | 70                          | 1,408                         | 1,297 | 1,096 | 0,913 |
| 16                                            | 1,064                         | 0,926 | 0,705 | 0,518 | 75                          | 1,425                         | 1,315 | 1,117 | 0,934 |
| 17                                            | 1,077                         | 0,940 | 0,720 | 0,533 | 80                          | 1,441                         | 1,333 | 1,135 | 0,953 |
| 18                                            | 1,090                         | 0,953 | 0,734 | 0,546 | 90                          | 1,471                         | 1,365 | 1,170 | 0,989 |
| 19                                            | 1,102                         | 0,966 | 0,747 | 0,560 | 100                         | 1,498                         | 1,395 | 1,202 | 1,022 |

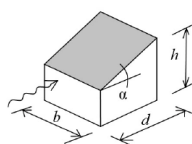
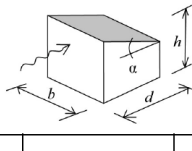
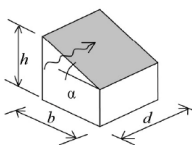
5.2 táblázat: A szél torlónyomásának értékei / Forrás: [17]

Az alábbi - az EUROCODE előírásokkal nem ellentétes - egyszerűsített eljárás hasábszerű, síklapokkal határolt épületek esetére adja meg az egyes épületfelületekhez tartozó átlagos  $c_{pe}$  alakú tényező (külső nyomási tényező) biztonságos felső értékét. [17]

Az eljárás csak akkor alkalmazható, ha a két geometriai helyzet valamelyike teljesül:

- ha a  $d > h$  vagy  $d > b/2$  feltételek legalább egyike teljesül, az [1] táblázati oszlopok adatai használhatók.

- ha a  $d > h/2,5$  vagy  $d > b/5$  feltételek legalább egyike teljesül, a [2] táblázati oszlopok adatait kell használni. [17]

| Ferde tetőfelületek alakl tényezői |                                                                                    |       |        |                                                                                    |          |        |          |          |          | C <sub>pe</sub> |     |          |     |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------|------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------|----------|----------|----------|-----------------|-----|----------|-----|
| Tetőszik hajlásszöge<br>(•)        | Tetőszik a szélátamodta oldalon                                                    |       |        | Tetőszik a szélárnyékos oldalon                                                    |          |        |          |          |          |                 |     |          |     |
|                                    |   |       |        |  |          |        |          |          |          |                 |     |          |     |
|                                    | Félnyereg                                                                          |       | Nyereg |                                                                                    | Kontyolt |        | Kontyolt |          | Kontyolt |                 |     |          |     |
|                                    | [1]                                                                                | [2]   | [1]    | [2]                                                                                | [1]      | [2]    | [1]      | [2]      | [1]      | [2]             |     |          |     |
| 5°                                 | 0                                                                                  | 0     | -0,9   | -1,05                                                                              | +0,04    | +0,1   | -0,36    | -0,45    |          |                 |     |          |     |
|                                    | -0,72                                                                              | -0,9  |        |                                                                                    |          |        |          |          |          |                 |     |          |     |
| 15°                                | +0,2                                                                               | +0,2  | -0,98  | -1,1                                                                               | -0,52    | -0,7   | -0,64    | -0,85    |          |                 |     |          |     |
|                                    | -0,4                                                                               | -0,55 |        |                                                                                    |          |        |          |          |          |                 |     |          |     |
| 30°                                | +0,46                                                                              | +0,55 | -0,8   | -0,8                                                                               | -0,42    | -0,45  | -0,42    | -0,45    |          |                 |     |          |     |
|                                    | -0,26                                                                              | -0,35 |        |                                                                                    |          |        |          |          |          |                 |     |          |     |
| 45°                                | +0,62                                                                              | +0,65 | -0,66  | -0,6                                                                               | -0,22    | -0,25  | -0,3     | -0,3     |          |                 |     |          |     |
| 60°                                | +0,7                                                                               | +0,7  | -0,5   | -0,5                                                                               | -0,22    | -0,25  | -0,3     | -0,3     |          |                 |     |          |     |
| 75°                                | +0,8                                                                               | +0,8  | -0,5   | -0,5                                                                               | -0,22    | -0,25  | -0,3     | -0,3     |          |                 |     |          |     |
| Hajlásszög<br>(•)                  |  |       |        | Széliránnyal párhuzamos tetőfelület                                                |          |        |          |          |          |                 |     |          |     |
| 5° - 75°                           |                                                                                    |       |        | Félnyereg                                                                          |          | Nyereg |          | Kontyolt |          | Kontyolt        |     | Kontyolt |     |
|                                    |                                                                                    |       |        | [1]                                                                                | [2]      | [1]    | [2]      | [1]      | [2]      | [1]             | [2] | [1]      | [2] |
|                                    |                                                                                    |       |        | -1,10                                                                              | -1,35    | -1,04  | -1,15    | -0,92    | -1,10    |                 |     |          |     |

5.3 táblázat: Ferde tetőfelületek alak tényezői / Forrás: [17]

### Számítás

Külső felületi szélnyomás meghatározása:

A  $q_{p(z)}$  torlónyomás az 5.2 táblázatból leolvasható, mivel a napelem szabad területen kerítéssel körülvett, mezőgazdasági területek között lett telepítve, ezért a II. oszlop adatait kell használni. A  $z$  magasság esetünkben 2 m alatti, de 2 m-ig az érték ugyanaz.

A  $c_{pe}$  alak tényező esetében a napelem kialakítása megegyezik a ferde tetőkre vonatkozó szabályokkal. Mivel a számításnál az egyszerűsített eljárást alkalmazom, meg kell vizsgálni, hogy geometriai helyzet megengedi-e az alkalmazást. A tartó szélessége nagyobb, mint a magassága  $1,49 \text{ m} > 1,36 \text{ m}$ , ezért megfelel-e az 1.)  $d > h$  kritériumnak. A 5.3 táblázat szerint a 30°-os dőlés mellett, a szélátamodta oldali 1. oszlop értékei szükségesek. Pozitív és negatív értékek a nyomó és a szívó hatást jelentik.

$$w_e = q_p(z) \cdot c_{pe}$$

$$w_e = 0,495 \times 0,46 = 0,23 \text{ kN/m}^2$$

A külső felületi szélró karakterisztikus értéke egy adott elemi felületen:

$$F_{we} = w_e \cdot A_{ref} = q_p(z) \cdot c_{pe} \cdot A_{ref}$$

$A_{ref}$  a szélnyomással terhelt felület számításba veendő része, a modul felülete:  $1,94 \text{ m}^2$

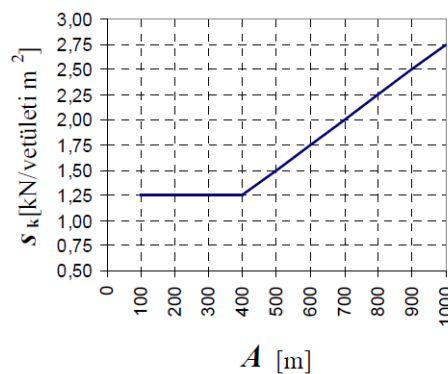
$$F_{we} = 0,23 \times 1,94 = \mathbf{0,45 \text{ kN/m}^2}$$

Egy modul felületére ható átlagos szélteher, Magyarországon, II. környezeti kategóriában,  $30^\circ$ -os dőlés esetén  $F_{we} = 0,45 \text{ kN/m}^2$ , ebből következik, hogy az  $1 \text{ m}^2$ -re ható terhelés  $0,23 \text{ kN/m}^2$ , azaz  $23,2 \text{ kg/m}^2$ .

## 5.2. Hóteher

Az épületeket érő hóterhek számítására az (MSZ EN 1991-1-3) szabvány ad útmutatást. A napelemek szempontjából a hóterhek számítása megegyezik az épületeket érő terhek számításával, mivel a napelemek vagy a tetőre, vagy a tetősíkjába kerülnek felszerelésre. Lapostetők és a szabadföldi panelek esetében sincs másként, mivel azok dőlésszöge ugyanúgy  $30^\circ$  körüli, mint a tetőké. Tehát a szerkezetet terhelő hómennyiség ugyanolyan erőt fejt ki. A következő ábrán megadott hóteher értékek az 50 éves visszatérési periódushoz tartozó értékek. [17]

A felszíni hóteher karakterisztikus értéke Magyarországon



5.4 ábra: Felszíni hóteher karakterisztikus értéke Magyarországon / Forrás: [17]

400 m tengerszint feletti magasságig:

$$s_k = 1,25 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

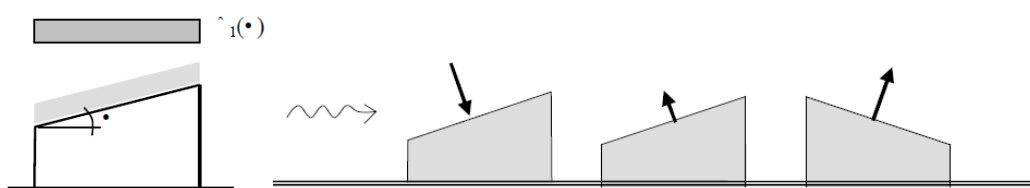
Az előbbieknél magasabb területeken:

$$s_k = a + \frac{A - 400}{400} \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

ahol:

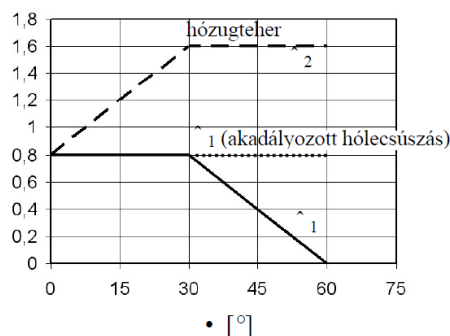
- $A$  [m] a talaj felszínének magassága az Adria átlagos tengerszintje felett,
- $s_k$  a felszíni hóteher karakterisztikus értéke, mint függőlegesen lefelé mutató, vetületi négyzetméterre vonatkoztatott teher.

Mint ahogyan a félnyeregteretők esetében, úgy a napelemszerkezetek esetén is elegendő egyetlen teherelrendezést vizsgálni, egyenletesen megoszló hóteherrel. Kedvezőtlen hófelhalmozódás nem jöhet létre. [17]



5.5 ábra: Félnyeregteretők teherelrendezése / Forrás: [17]

A tetők és a napelemek esetén a teherelrendezésekhez tartozó alaki tényezők a tető síkok vízszintessel bezárt „ $\alpha$ ” hajlásszöge függvényében az alábbiak szerint vehető figyelembe:



| A tető „ $\alpha$ ” hajlásszöge |                      |                                |                     |
|---------------------------------|----------------------|--------------------------------|---------------------|
| Hóteher<br>alaki<br>tényező     | $0^\circ - 30^\circ$ | $30^\circ < \alpha < 60^\circ$ | $60^\circ < \alpha$ |
|                                 | 0,8                  | $0,8(2 - \alpha/30)$           | 0                   |

5.6 ábra: Hóteher alakitényezője hajlásszög függvényében / Forrás: [17]

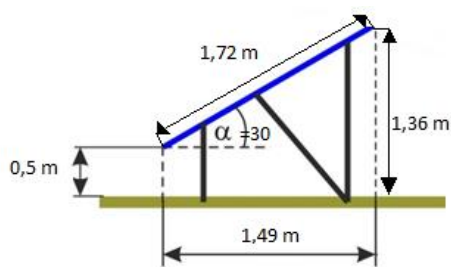
### Számítás

Alap adatok:

Szabadsíki tartószerkezet, 30°-os dőlésszög, (a hőteher számítás szempontjából nincs jelentősége, hogy tetőre szerelt vagy szabadon álló)

Modul méret (Jinko Tiger Pro 54HC):

- Hossz „a”: 1722 mm
- Szélesség „b”: 1134 mm
- Mélység „c”: 30 mm
- Súly: 22 kg



A modul felülete

$$A = a \times b = 1,72 \times 1,13 = 1,94 \text{ m}^2$$

A felület szorozva a karakterisztikus értékkel és az alakí tényezővel

$$F_{hó} = A \times sk \times 0,8 = 1,94 \times 1,25 \times 0,8 = \mathbf{1,94 \text{ kN/m}^2}$$

Egy modul felületére ható hőteher 30°-os dőlés esetén  $F_{hó} = 1,94 \text{ kN/m}^2$ , ebből következik, hogy az  $1 \text{ m}^2$ -re ható terhelés  $1 \text{ kN/m}^2$ , azaz  $100 \text{ kg/m}^2$

## 6. NAPELEMEK ÉS TARTÓSZERKEZETEIK ÁRAMÜTÉS ELLENI VÉDELME

Áramütés, villamos baleset kétféle módon jöhet létre:

- Közvetlen érintés: „Közvetlenül az üzemszerűen feszültség alatt álló berendezésrész (aktív rész) érintése által” [8]
- Közvetett érintés: „A villamos berendezés üzemszerűen feszültség alatt nem álló, de meghibásodás által feszültség alá kerülő fém vagy vezető anyagú részének (test) érintése által. A feszültségre kerülés oka többnyire a szigetelés meghibásodása, testzárlat. [8]

A közvetlen érintés elleni védelmi megoldásait Alapvédelemnek, míg a közvetett érintés elleni védelmet Hibavédelemnek nevezzük.

Alapvédelem: A villamos berendezések üzemszerűen feszültség alatt nem álló részeit úgy képezik ki, hogy azok üzem alatt is érinthetőek legyenek (pl. szerszámgépek).

Hibavédelem: A meghibásodás miatt potenciálra kerülő test megérintéséből származó balesetek megelőzésére, illetve csökkentésére szolgáló védelmi műszaki megoldások.

Az MSZ HD 60364-4-41 szabvány az áramütés elleni védelmi módokra az alapvédelemre és a hibavédelemre vonatkozó előírásokat külön-külön megadja. [8]

Az áramütés elleni védelmi módok:

- a táplálás önműködő lekapcsolása,
- **kettős vagy megerősített szigetelés,**
- villamos elválasztás,
- SELV és PELV törpefeszültség

és a csak szakképzett vagy kioktatott személyek által ellenőrzött, vagy felügyelt berendezésekben alkalmazható védelmi módok:

- védőakadályok és az elérhető tartományon kívüli helyezés,
- a környezet elszigetelése,
- **védelem egyenpotenciálú összekötéssel,**
- villamos elválasztás egynél több fogyasztó esetén.

A védelmi módok közül, a napelemes rendszerek tartószerkezeteinél a kettős vagy megerősített szigetelést, illetve az egyenpotenciálú összekötést alkalmazzak, ezért a felsorolásból csak ezzel a két módozattal foglalkozom bővebben. [8]

## 6.1. Alapvédelem

Alapszigetelés: Az áramütés elleni alapvédelem céljára alkalmazott szigetelés az aktív részekben.

Kiegészítő szigetelés: Az alapszigetelés kiegészítéseként alkalmazott olyan független (különálló és külön is vizsgálható) szigetelés, amelynek célja, hogy az alapszigetelés meghibásodása esetén is megakadályozza az áramütés létrejöttét.

Kettős szigetelés: Az alapszigetelésből és a kiegészítő szigetelésből álló szigetelésrendszer. [8]

### 6.1.1. Szolár kábelek

Az MSZ HD 60364 7-712:2016 szabvány 522. pontja szerint a kábeleket és vezetékeket úgy kell kiválasztani és szerelni, hogy a földzárlat és rövidzárlat kockázata minimális legyen. A napelemes rendszer DC oldalán, a tartószerkezet környezetében, kettős szigeteléssel ellátott szolár kábelekkel és MC4 csatlakozókkal biztosítják az áramot termelő napelemek és inverterek villamos összekötését. Ezeken a speciális kábeleken keresztül jut el a napelemek által termelt egyenáram (DC) az inverterekig. A szolár kábelek időjárás- és UV állók, fokozottan ellenállóak a mechanikai hatásokkal szemben. Ezek a kábelek alkalmasak kültéri használatra, mind a tetőkön, mind a földön, bár közvetlenül a földbe nem fektethetők. A kábelek halogénmentes, lángálló és alacsony égési osztályúak, emiatt a kábelköpeny anyaga speciális, a fenti tulajdonságokkal rendelkező térhálósított, rugalmas műanyagból készül.

A szolár kábelek jellemzői:

- magas hőmérséklettűrési tartomány (-40...+90 °C),
- A külső szigetelés UV-, víz-, ózon-, folyadék-, só- és időjárásálló,
- $U_{max}$  DC: 1,8 kV (kiviteltől függően),
- kiváló mechanikai szilárdság, kopásállóság,
- Halogénmentes, lángálló,
- Nagyon alacsony füst kibocsátás.

A kábeleket az alábbi szabványos keresztmetszetekben gyártják általában fekete, piros és kék színben – de a gyártók vállalják ezektől eltérő színek egyedi gyártását is: 2,5, 4, 6, 10, 16, 25, 35, 50, 70, 95, 120, 150, 185, 240 mm<sup>2</sup>. [25]

### 6.1.2. Csatlakozók

A biztonságos minőségi csatlakozók tűzvédelmi és hibavédelmi szempontból, kifejezetten fontos elemei a moduloknak. A feszültség alatti egyenáramú áramkör bontása csak az erre alkalmas biztonságos csatlakozóval lehetséges, mivel a bontáskor

képződő ív csak a fizikai távolság növelésével szüntethető meg. A kábelekkel együtt a csatlakozóknak is 25 évig hibátlanul kell működniük.

Csatlakozó adatai:

- 1000 V maximális feszültség,
- 25 A maximális áramerősség,
- Erős, UV álló kivitel,
- Garantált érintésvédelmi minőség,
- DIN V VDE V 0126-3/112.06, UL 1703 szabványok szerint minősítés.



6.1 ábra: MC4 csatlakozó / Forrás: Szerző saját fotója

## 6.2. Hibavédelem (EPH)

Egyenpotenciálra hozás (EPH): a testek és idegen vezető anyagú szerkezetek vezetőinek összekötése azok azonos vagy közel azonos potenciálra hozása céljából. [8]

Lehetséges módszerei:

- egyenpotenciálra hozó hálózattal (pl. épületek egyenpotenciálra hozása)
- helyi egyenpotenciálú összekötéssel,
- földeletlen egyenpotenciálra hozással.

Az egyenpotenciálú összekötés a szabvány szerint a táplálás önműködő lekapcsolásával működő áramütés elleni védelmek szerves része, elhagyhatatlan tartozéka. [8]

Az EPH- gerincvezető az a vezető, amely közvetlenül a fő földelő kapocshoz csatlakozik, s amelyről így akár több leágazó vezető is indulhat. Az EPH-vezetők célja csupán a potenciál rögzítés. Nem céljuk, hogy áramot vezessenek. A gerincvezetők méretezésénél e szabvány mégis feltételezi azt a lehetőséget, hogy mivel számos idegen fém szerkezetet köt össze, rajta számottevő áram is haladhat. [8]

Ezért a védő egyenpotenciálú összekötéshez használt és a fő földelőkapocshoz vagy sínhez csatlakozó védővezetők (EPH-gerincvezetők) keresztmetszetének minimális mérete:

- réz esetében  $6 \text{ mm}^2$
- alumínium esetén  $16 \text{ mm}^2$
- acél esetén  $50 \text{ mm}^2$

EPH gerincvezetők lehetnek:

- zöld/sárga színjelölésű külön e célra létesített vagy egyszerű szigetelt vezeték,
- az érintésvédelmi védővezetőknek az elosztók közötti szakaszai (amely tehát közvetlenül nem csatlakoznak testhez),
- ipari technológiai berendezéseknél nagyméretű, fém vázszerkezetek (fémesen összefüggő megbontásra soha nem kerülő). [8]

A potenciálkiegyenlítés, földelés és villámvédelem tartószerkezetekre vonatkozó összetett témakörét több szempontból is lehet vizsgálni. Életvédelmi és a megfelelő működés szempontjai egyaránt fontosak. Természetesen az életvédelem a legfontosabb, ezért lentebb ezt vizsgáltam meg elsőként részletesebben.

A napelemek tartószerkezetei nagyterjedésű vezetőképes fémszerkezetek. Az MSZ HD 60364-4-41:2007. évi szabvány szerint, minden olyan „idegen vezetőképes részt” be kell kötni az EPH-ba, amely „normál használat esetén hozzáférhető”.

Az „idegen vezetőképes részek” fogalma az MSZ 2364-200:2002-ben szabvány meghatározása szerint: „Az a vezetőképes rész, amely nem része a villamos berendezésnek, azonban alkalmas valamely potenciál odavezetésére” és itt általában földpotenciálról van szó.

A MSZ HD 60364-4-41:2007. szabvány egyenpotenciálú összekötésre vonatkozó 411.3.1.2. pontja szerint: „A földelővezetőt, a fő földelőkapcsot, továbbá a következőkben felsorolt vezetőképes részeket minden egyes épületben be kell kötni az egyenpotenciálú összekötésbe:

- az épületben lévő közüzemi csővezetékeket, pl. gázvezetékeket, vízvezetékeket, szennyvíz csatornát;
- a szerkezeti idegen vezetőképes részeket, ha azok normál használat esetén hozzáférhetők;
- a fémes központi fűtési és a légkondicionáló berendezéseket;
- a vasbeton épületszerkezetek fémrészeit, ha a fémrészek hozzáférhetők és megbízhatóan össze vannak egymással kötve.

Az ilyen, az épületbe kívülről érkező vezetőképes részeket az épületen belül, az épületbe való belépéskor már be kell kötni az EPH-ba, mégpedig a belépési ponthoz a lehető legközelebb.

Nyilvánvalóan látszik, hogy a tetőre szerelt PV-berendezések ugyan szerkezeti idegen vezetőképes részek, de semmiképpen nem képesek földpotenciált az épületbe vezetni. A hatályos KLÉSZ bizonyos esetekben csak iránymutatásokat fogalmaz meg és így lehetőséget ad az eltérésre, a szabványt alkalmazó szakemberek egyedi megítélésére bízva, hogy az adott szerkezet képes-e más potenciált oda vezetni (abban az esetben, ha a tetőszerkezet, épületszerkezet vezetőképes anyagból van, akkor mindenképp be kell kötni az EPH-ba).

Továbbá a napelemes rendszerek DC körében (pólusföldreletlen rendszer esetében) hibavédelmi módként kettős szigetelést alkalmazunk. Ebből az következik, hogy ilyen esetben az áramütés elleni védelemként a napelem tartószerkezetét már nem kell a védő egyenpotenciálú hálózatba bevonni, hiszen a kettős szigetelés elegendő védelmi intézkedés.

Tehát mivel a tetőre szerelt tartószerkezet nem képes idegen potenciálok közvetítésére és a DC oldalon kettős szigetelés alkalmazott hibavédelmi módként, így napelemes energiaellátó rendszereket életvédelmi szempontból nem szükséges az épület védő egyenpotenciálra hozásához csatlakoztatni, és így a főföldelősinbe bekötni.

Viszont az életvédelmi szempontokon túl, a megfelelő üzem biztosítása is fontos szempont. Számos olyan tényező létezik, ami indokolja a napelemek tartószerkezetükkel együttes potenciálkiegyenlítését, illetve földelését. [6]

### 6.3. Napelemes rendszerek földelése

A földelés feladata, villamos vezetői összekötés létesítése a környezet talajával, áramút biztosítása a föld felé. A rossz vezetőképeségű talajt a fém vezetővel, egy nagy felületű fém tárggyal, az ún. földelővel kötik össze.

A földelés rendeltetése szerint lehet,

- **Üzemi földelés:** A villamos hálózat üzemszerű feszültség alatt álló pontjait köti össze a földdel. Célja a potenciál rögzítés.
- **Védőföldelés:** kizárólag érintésvédelmi célból készített földelés, amely az üzemszerűen feszültség alatt nem álló, az áramforrással fémes kapcsolatban nem lévő testhez van kötve.
- **Segéd földelés** vagy szonda: mérés céljából készített földelés, amely áram visszavezetésre vagy potenciálérzékelésre szolgál.

A földelő három fő részből áll, a csatlakozást biztosító bontási pontból (ez egyben a mérőhely is) magából a földelőből és a földelőt a csatlakozási ponttal összekötő földelő vezetőből.

A földelési ellenállás a földelővezető, a földelő, a földelő és a talaj átmeneti ellenállásából, valamint a földelő széterjedési ellenállásából tevődik össze. A földelési

ellenállás gyakorlatilag a szétterjedési ellenállás, mivel a földelő és a földelő vezető ellenállása jelentősen kisebb a talaj ellenállásánál, ezért elhanyagolható.

A rúdföldelő szétterjedési ellenállásának becslésére alkalmazható a következő képlet:

$$R_{sz} \approx \frac{\rho}{l}$$

Helyzettől függően, csövet, rudat, szalagot, huzalt vagy lemezt mélyítünk a talajba. [8]

Földelő típusok [8]:

- rúdföldelő,
- vízszintes földelő,
- gyűrűföldelő,
- szalagföldelő,
- keretföldelő

A külön földelés céljából a talajba mélyített fém szerkezet a „mesterséges földelés”. Gyakran viszont nincs szükség mesterséges földelő készítésére mivel a földelni kívánt épület környezetében található olyan talajba mélyített fém tárgy, amit lehet érintésvédelmi földelésre használni. Mostanában az új építéseknel a beton alap acélbetéteit használják földelésre, mivel a beton fajlagos ellenállása szinte megegyezik a talajéval (a talaj nedvességnek folyamatosan kitett beton), ezért az abban alkalmazott betonacél vasalattal úgy lehet számolni, mintha az a talajban lenne. Az ilyen földelés a „betonalap földelés”. [8]

Egy központi fő földelőkapocs, sín kialakítása minden épületnél kötelező. Ehhez csatlakozik a földelővezető, a védővezető gerincvezetéke (PE), valamint az EPH vezető.

Földelővezető a földben vagy falon kívül vezetett, korróziótól nem védett acélvezető, keresztmetszete min. 50 mm<sup>2</sup>, korrózió védelem esetén 16 mm<sup>2</sup> és vastagsága min. 3mm (cső esetében a falvastagságot vesszük figyelembe). A mechanikai sérülésektől védettnek kell lennie, leggyakrabban zöld/sárga alumínium vagy réz erősáramú vezeték. Ha a mechanikai védelem fennáll, a keresztmetszetét a betáplálás nulla vezetőjével azonos méretűre szokták választani.

Az MSZ HD 60364 7-712:2016 szabvány 413.3 és .4 pontja szerint a DC oldalon védelem céljából a környezet elszigetelésén, vagy a földeletlen helyi egyenpotenciálú összekötésen alapuló védelmi módok alkalmazása tilos.

Bizonyos napelem típusok és inverterek esetében a napelem fém tartószerkezetét üzemi célú földeléssel kell ellátni. A gyakorlatban, mivel a legtöbb kis teljesítményű inverter transzformátor nélküli kivitelű, ezért az inverter AC és DC oldala nincs galvanikusan elválasztva. Ennek következtében a DC oldalon váltakozó feszültség hullám szuperponálódik a DC áramra, ami induktív és kapacitív úton a DC vezeték környezetében lévő fém szerkezetekben feszültséget indukál. Az inverter szigetelés-

felügyeleti funkciója miatt a tartószerkezetet üzemi célú földeléssel kell ellátni. Az inverterekbe beépített szigetelésellenőrzés csak akkor tekinthető folyamatosan hatásosnak, ha a tartószerkezet a földeléssel összeköttetésben van.

Független földelő létesítése, üzemi földelés esetében sem és más esetben sem tanácsos. Az építményhez egyetlen egyesített, közös földelőberendezés kialakítása célszerű, amely mind az érintésvédelmi-, mind a villámvédelmi-, mind pedig az EMC-követelményeknek együttesen megfelel. Ezért napelemek létesítésekor mindenképpen a meglévő földelőrendszerhez való csatlakozás ajánlott. [6]

Abban az esetben, ha az inverter a napelemtáblák közelében, esetleg a napelem tartószerkezetre, a napelem hátoldalánál kerül elhelyezésre, akkor az inverter AC oldala közvetlen közelségbe, egyidejűleg megérintható távolságra kerül a napelem tartószerkezetével. Ilyen esetben a napelem fém tartószerkezetének érintésvédelmi, védő egyenpotenciálra hozása nem lehetőség, hanem kötelezettség! Ebben az esetben a napelem tartószerkezetét a helyi EPH sínnel összekötő vezetőt kiegészítő védő egyenpotenciálú vezetőnek hívjuk annak ellenére, hogy esetleg üzemi célú földelővezetőként is funkcionál. A napelem tartószerkezetét a helyi kiegészítő EPH sínnel összekötő üzemi célú földelővezetőnek, és az egyes modulsorokat összekötő vezetőnek a keresztmetszete legyen min.  $6 \text{ mm}^2$  réz esetében vagy ezzel egyenértékű alumínium vagy acél használata esetében [5]

## 7. VILLÁMVÉDELEM

A villámvédelem (LP: Lightning Protection) alapelve, hogy a becsapást a villámhárító berendezés fogja fel és nem a védendő tárgy. A villámáram levezetésére kisebb ellenállású vezetőutat kínáljon a védendő tárgynál, valamint jobb átmenettel vezesse le az áramot a földbe. A villámvédelem hivatott megóvni az élőszemélyeket, állatokat, tárgyakat és berendezéseket a villám káros hatásaitól. [8]

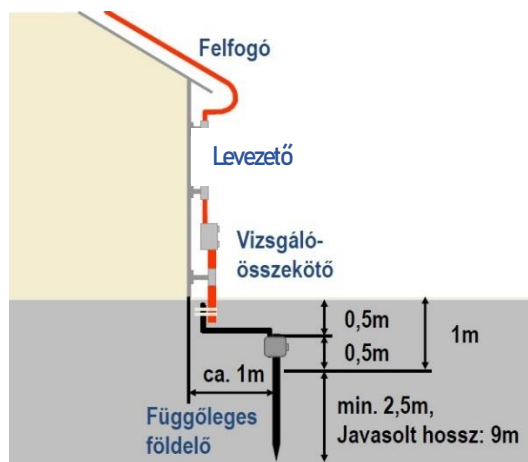
A villámvédelem kialakítását a kezdetben a MSZ 274 szabvány szabályozta, ami jogszabályokba olvadva, többszöri átalakulást követően érte el a jelenlegi állapotát.

A jelenlegi hatályos Miniszteri rendelet a 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet, Hatályos 2020.01.22-től (5.1 OTSZ) és a Villamos TvMI7.4:2020.01.22 Tűzvédelmi Műszaki Irányelvek, illetve szabvány tekintetében az MSZ EN 62305-2:2012. 2012. aug. 1-i, 2-i kiadása szabályozza. [9]

A villámvédelem szerkezeti kialakítását tekintve külső villámvédelemi és belső villámvédelemi elemekre is bontható.

Külső villámvédelemhez a következő elemek tartoznak:

- **Felfogó**, amely lehet felfogó rúd, felfogó vezető vagy felfogó háló. Feladata, hogy becsapási pontot képezzen a villám számára. A villámáram építménybe való behatolásának valószínűségét jelentősen csökkenti. Az egyes felfogórudakat az áramosztás érdekében a tetőszinten ajánlatos egymással összekötni
- **Levezető**: feladata, hogy a felfogót ért villámcsapás áramát levezesse a földelőre. Anyaga jobb vezetőképeségű kell, hogy legyen, mint a környező épület vagy tárgy anyaga. Lehetőleg függőleges legyen, minimális vízszintes szakaszokkal.
- **Földelő**: feladata a villámáram levezetése a föld felé. Nagy felületű földelő csökkenti a villámáram sűrűségét. A többcélből készült földelőket az átütés elkerülése végett össze kell kötni.
- **Veszélyes lépési és lépésfeszültség** elleni védekezés: A veszély akkor elviselhető, ha normál üzemi körülmények között nem tartózkodik személy a levezető 3 m-es környezetében, vagy legalább 10 levezetőből álló rendszer kerül alkalmazásra, a talaj felső rétegének fajlagos ellenállása a levezető 3 m-es környezetében nem kisebb mint 100 kΩ. [8]



7.1 ábra: A típus, függőleges földelő(mélyföldelő) / Forrás: Dr. Kovács Károly előadás jegyzet

Belső villámvédelemhez tartozó elemek (másodlagos kisülés elleni védekezés):

- **veszélyes megközelítés elleni védekezés:** a villámhárító és a vezetőképes fém rész közötti legalább akkora biztonsági távolság betartása, ahol a fémszerkezetek közötti szigetelés (pl. levegő) villamos szilárdsága nagyobb, mint a valószínűsíthető kialakuló térerősség, így a potenciálkülönbségek miatt kialakuló kisülés már nem következik be.
- **potenciál kiegyenlítés (EB, en: lightning equipotential bonding):** amelynek következtében a potenciálkülönbség olyan mértékben csökken, hogy a villámhárító és a fémszerkezet közötti kisülés ne következzen be. (MSZ EN 62305-1:2011)

A villámvédelmi potenciálkiegyenlítés különbözik az áramütés elleni potenciálkiegyenlítéstől (EPH-től), a vezetékek méretében és a csatlakozások helyében is egyaránt. A csatlakozásokat a földhöz minél közelebb kell kialakítani. [8]

Villámvédelmi potenciálkiegyenlítés vezető keresztmetszetek:

| Anyaga                                   | Réz                | Alumínium          | Acél               |
|------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| A földelősíntől a villámhárítóig         | 14 mm <sup>2</sup> | 22 mm <sup>2</sup> | 50 mm <sup>2</sup> |
| A földelősíntől és a fémszerkezet között | 5 mm <sup>2</sup>  | 8 mm <sup>2</sup>  | 16 mm <sup>2</sup> |

7.2 ábra: Vezetőkeresztmetszetek / Forrás: [8]

A napelemes rendszerek tervezésénél mindig az első kérdés, hogy van-e az épületen már meglévő villámvédelem, mivel eszerint kell kialakítanunk a potenciálkiegyenlítést.

Abban az esetben, ha a napelemes rendszer olyan létesítményen található, amelyen külső villámvédelmi rendszer van kialakítva, akkor az érintésvédelmi és üzemi célú

földelési szempontokon kívül a villámvédelmi potenciálkiegyenlítés szempontjait is figyelembe kell venni, és olyan vezetőkeresztmetszeteket kell választani, amelyek a szigorúbb követelményeknek is megfelelnek. [5]

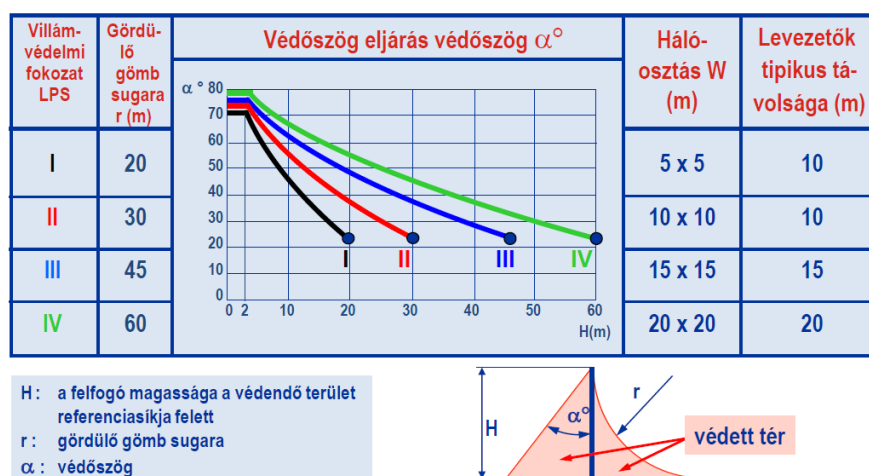
Ha építményen nincs külső villámvédelem a villámvédelmi potenciálkiegyenlítés követelményeit nem kell vizsgálni.

Napelemes modulok védelmére, a felfogók elhelyezésére két módszer alkalmazható a „Gördülőgömbös szerkesztés”, illetve a „Védőszögös szerkesztés”.

**Gördülőgömbös szerkesztés:** Az védendő épületet oly módon látjuk el felfogóval, hogy a villámvédelmi fokozattól függő sugarú képzeletbeli gömböt ne lehessen felülről a védett épülethez érinteni a felfogók érintése nélkül. A gördülőgömb sugara megegyezik a villámvédelmi fokozathoz tartozó, minimális villámáram-értékhez rendelt orientációs értékkel.

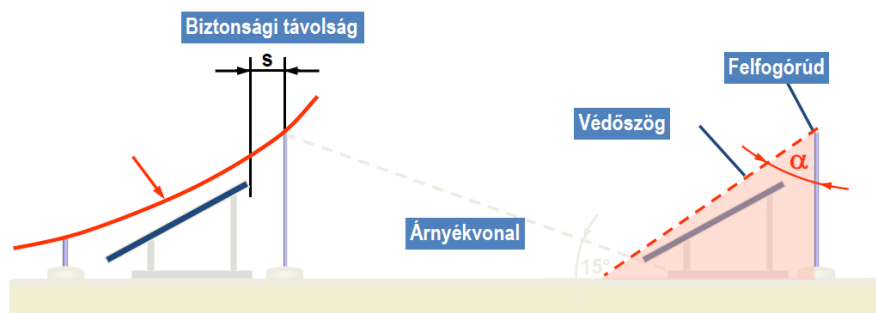
Az eljárást minden esetben lehet alkalmazni. [8]

**Védőszögös szerkesztés:** Egyszerűbb esetekben alkalmazható a védett tér meghatározása. A védett tér határait egy síkra merőleges felfogórúd esetén a felfogórúd csúcsán át adott szöggel szerkesztett kúpállás és vízszintes sík képezi. A két eljárás egymással kombinálható. [8]



7.3 ábra: Gördülőgömbös és Védőszögös szerkesztés összefüggései / Forrás: Dr. Kovács Károly előadás jegyzet

A következő ábra mutat példát mindkét szerkesztési formára.



7.4 ábra: Gördülőgömbös és Védőszöges szerkesztés / Forrás: Dr. Kovács Károly előadás jegyzet

A felfogók elhelyezésében az árnyék vetődése is fontos szerepet játszik, ezért a tervezésnél arra is kiemelt figyelemmel kell lenni. A PV modul, illetve strang beállított munkapontja nagy kihatással van a részlegesen beárnyékolt PV modulok üzemi viszonyaira és teljesítményleadására. Ezért az árnyékképződést a fotovillamos panel felületén a lehető legkisebbre kell korlátozni. Magárnyék kialakulását a szolárcella vagy a PV modul felületén mindenképpen el kell kerülni. Magárnyéknak azt a területet nevezzük, ahová egyáltalán nem jut napsugárzás, tehát teljesen „sötét” marad. Az árnyék külső területét félárnyéknak vagy diffúz árnyéknak nevezzük, ahol a napsugárzás értéke kisebb, hiszen ezen a területen a felfogórúd, illetve felfogóvezeték csak részlegesen takarja el a napot. [5]

A villámvédelem védő funkcióját a fotovillamos energiaellátó berendezés kiépítése nem korlátozhatja.

Abban az esetben, ha a külső villámvédelem és a napelem fémes szerkezetei között az „s” távolság mindenütt be van tartva, a villámvédelmi követelmények miatt kötelező a napelem tartószerkezeteit bekötni a helyi EPH-ba. Az egyes modulsorokat egymással is össze kell kötni. A napelem tartószerkezetét a helyi kiegészítő EPH sínnel összekötő vezetőknek, és az egyes modulsorokat összekötő vezetőknek a keresztmetszete réz esetében min. 16 mm<sup>2</sup> legyen, illetve az ezzel egyenértékű alumínium használata esetében 25 mm<sup>2</sup>, vagy acél esetében 50 mm<sup>2</sup>. [5]

Ezek szerint az építményen elhelyezett napelemek az építmény tartozékai lesznek, és ezért a villámvédelem kialakításánál jelenlétüket figyelembe kell venni. Gyakorlatilag a 20–60 m sugarú gördülő gömbbel szerkesztett felfogórendszer villámhárító védett terébe kell, hogy essenek, így nagy valószínűséggel közvetlen villámcsapás nem éri a napelemtáblákat. [6]

A villámimpulzus veszélyeztetése miatt nemcsak a külső villámvédelem kialakítása szükséges, hanem a belső villámvédelem megfelelő fokozatának létesítése is. A villámcsapás okozta másodlagos túlfeszültségek csak akkor nem okoznak kárt, ha a megközelítési távolságokat betartják és megfelelő potenciálkiegyenlítést, túlfeszültségvédelmet alkalmaznak. A legkisebb megközelítési távolságok betartása a napelem fémkeretének a villámvédelmi felfogótól, illetve levezetőtől mért távolságára

is vonatkozik arra az esetre, ha a fémkeret földpotenciálú, azaz legalább egy pontja megfelelő keresztmetszettel a villámvédelmi földelőrendszerhez csatlakozik. Ez természetesen nem azt jelenti, hogy független földelővezetővel az EPH-csomópontig vagy földelőig haladnak, hanem az egyenpotenciálra hozó vezetővel a lehető legrövidebb úton a villámvédelmi rendszerhez (felfogó, levezető) csatlakoznak. Több ponton való bekötés nem szükséges, sőt több ponton történő potenciálrögzítés esetében párhuzamos villámáramutat alakítanak ki, így megfelelő villámáram-levezetőképességű ( $A \geq 16 \text{ mm}^2$ , Cu) bekötések szükségesek, és fokozott figyelemmel kell lenni a függőlegesen föld felé törekvésre, a minimális vízszintes elhúzásokra, ami a napelemtábla-keretek kialakítását, elhelyezését tekintve szinte lehetetlen. [6]

Ha védő egyenpotenciálra hozást alkalmaznak, akkor az érvényes magyar szabvány (MSZ HD 60364- 7-712:2016 Napelemes (PV) energiaellátó rendszerek) 712.54. szakasza a betartandó követelményeket a következőképpen írja elő: „Védő egyenpotenciálra hozó vezetők alkalmazása esetén azokat az egyenáramú és váltakozó áramú kábelekkkel, vezetékekkel és szerelvényekkel párhuzamosan és amennyire lehet, azokhoz közel kell elhelyezni”. Ez a rendelkezés egyébként összekapcsolja az elektromágneses összeférhetőség követelményét, a szabvány 712.444.4.4. pontja szerinti előírással, miszerint „A villám által indukált feszültségek minimalizálása érdekében a vezetőhurkok területét a lehető legkisebbre kell csökkenteni” és így a követelményeket kiterjeszti az EPH-vezetőre. [6]

## 8. TŰZVÉDELEM

Tűzvédelmi szempontból is fontos a tartószerkezeteket vizsgálni mivel, a szerepük itt is tettenérhető. Magyarországon egyszámjegyű az olyan esetek száma, ahol a napelemek okozták az épület tüzet. Vélhetően az esetek többségében szakszerűtlen kivitelezésből, illetve a panelek hibájából kifolyólag alakulhatott ki a tűz.

Az 54/2014 (XII. 5) BM rendelet (Országos Tűzvédelmi Szabályzat) szerint napelemes rendszerek esetén DC tüzeseti lekapcsoló beépítése szükséges. Az érvényes szabvány 712.536.2.2.5. pontja szintén előírja „A PV-inverter egyenáramú oldalára egy szakaszolókapcsolót kell beépíteni.”

- Amennyiben az inverterek olyan helyre kerülnek felszerelésre, hogy az alapfelszereltségébe tartozó DC oldali leválasztó kapcsoló nem elegendő, úgy tüzeseti távlekapcsoló kerül elhelyezésre a tűzvédelmi irányelvben foglaltaknak megfelelően.
- Amennyiben az inverterek olyan helyre kerülnek felszerelésre, hogy az alapfelszereltségükbe tartozó DC oldali leválasztó kapcsoló elegendő, úgy tüzeseti távlekapcsoló nem kerül elhelyezésre. [26]

A stabil tartószerkezet, a modulok és kábelek megfelelő rögzítése nemcsak az időjárás miatt fontos, hanem azért is, hogy a szerkezet tűz esetén se rogyjon össze, ne mozduljon el, ne csússzon le stb. A hibásan rögzített modulokban mechanikai feszültségek ébredhetnek, ami repedéseket, sérüléseket okozhat. Az így bejutó víz zárlatot és „hot spot-tok” kialakulását eredményezheti, ami szélsőséges esetben tűzhez vezethet. A tetőre szerelt tartószerkezet tetőhöz viszonyított magassága nemcsak a megfelelő szellőzés és így a panelek hűtése miatt fontos, hanem azért is, mert a kellő távolság jelentősen csökkenti annak a lehetőségét, hogy a modulok alatt falevelek szennyeződés összegyűlön, ami egy szikra vagy hot spot esetén tűzfészekké alakulhat. Ugyanígy az ereszcatornáktól való távolság is ezért fontos, mivel az abban felgyűlő falevelek a modul alatt és felett azonnal hot spotok kialakulásához vezethet.

Még fontosabb szerepe van a DC kábelek megfelelő rögzítésének, illetve csatlakozások gondos kialakításának. Egy lengő, folyamatosan igénybe vett kábel kidörzsölődhet, szigetelése megtöredezhet és így szikra képződhet. A kábelek ne feszüljenek rá éles fém sarkokra, lemez élekre, tetőhorogokhoz szerelősínekhez csavarkötésekhez, ami a kábel szigetelését felsértheti.

A szerkezetgyártók komplett rendszereiben tetőátvezetések, az időjárásálló kábelrögzítő elemek is helyet kapnak. Érdemes ezeket az elemeket is alkalmazni a szerelés során, mivel egy klasszikus kábelkötegelő nem képes 25 évig teljesíteni feladatát. A hibák bárhol felléphetnek ezért, a kábelek helyes elhelyezése egyaránt fontos épületre szerelt, szabadföldi és akár úszó napelemrendszereknél.

Különösen fontos a tűzterjedési gátak és tűzszakaszhatárok gondos létesítése és karbantartása.

A jogszabály napelemes rendszerek meglétére figyelmeztető felirat elhelyezését is megköveteli. A napelem elhelyezésére utaló figyelmeztető táblát a tűzoltók és a szerelők számára célszerű a közcélú hálózatra csatlakozó szekrényen, a fogyasztásmérő szekrényen és az elosztószekrényeken elhelyezni.[26]



8.1 ábra: Napelemek elhelyezésére figyelmeztető tábla/ Forrás: Tűzoltóság.info.hu

## 9. TARTÓSZERKEZET ELLENÖRZÉSE

A tartószerkezetek ellenőrzését egy, a jövőben Magyarországon várhatóan gyakran szerelt HMKE tartószerkezetén szeretném bemutatni.

A HMKE kiindulási adatai:

- Egyszintes családiház, gerincmagasság 5,0 m, déli tájolású 30°-os dőlésű félnyeregtető, napelemek a széltámadta oldalon, falusias beépített környezet, nyugat felől magas fa (árnyékot vethet), szarufa kiosztás 1,0 m.
- 4,8 kWp rendszer teljesítmény, 12db JinkoTiger Pro 54HC modul, kétsorban fektetve szerelve. Soronként egy stringben.
- 35x40-es szerelősín, tetőhorgok cserépfedéshez.

### Terhelések számítása

**Szélteher:** III. Alacsony beépítés: külvárosi vagy ipari övezetek; erdők, félnyereg tető

$$w_e = q_p(z) \cdot c_{pe}$$

$$w_e = 0,446 \times 0,46 = 0,2 \text{ kN/m}^2$$

$$F_{\text{szél}} = w_e \cdot A_{\text{ref}} = q_p(z) \cdot c_{pe} \cdot A_{\text{ref}}$$

$$F_{\text{szél modul}} = 0,2 \times 1,94 = 0,388 \text{ kN/m}^2 \rightarrow 12\text{db modulra } 4,65 \text{ kN/m}^2$$

**Hóteher:**

$$A = a \times b = 1,72 \times 1,13 = 1,94 \text{ m}^2 \rightarrow 12\text{db} \times 1,94 \text{ m}^2 = 23,28 \text{ m}^2$$

A felület szorozva a karakterisztikus értékkel és az alaki tényezővel

$$F_{\text{hó modul}} = A \times s_k \times 0,8 = 1,94 \times 1,25 \times 0,8 = 1,94 \text{ kN/m}^2$$

$$F_{\text{hó panel}} = 1,94 \times 12 = 23,28 \text{ kN/m}^2$$

Egy modul felületére ható hóteher 30°-os dőlés esetén  $F_{\text{hó}} = 23,28 \text{ kN/m}^2/\text{panel}$ , ebből következik, hogy az  $1 \text{ m}^2$ -re ható terhelés  $1 \text{ kN/m}^2$ , azaz  $100 \text{ kg/m}^2$ .

**Önsúly:**

Modulok:

$$F_{\text{ön}} = 12 \times 22 = 264 \text{ kg} \rightarrow 2,64 \text{ kN}$$

Szerelősín hossza, súlya:

$$L = (X \times S + (X - 1) \times 20 + 2 \times 50) \times 2$$

$$L = (6 \times 1722 + (6 - 1) \times 20 + 2 \times 50) \times 4 = 42128 \text{ mm} \rightarrow 42,28 \text{ m}$$

$$42,28 \text{ m} / 6,1 \text{ m} = 6,9 \rightarrow 7 \text{ db } 6,1 \text{ m-es sínre van szükség (3,8 kg/sín)}.$$

$$42,28 \text{ m} \times 0,62 \text{ kg/m} = 26,3 \text{ kg} \rightarrow 2,63 \text{ kN}$$

A szerelősínekre ható erő:

Egy modult egypár sín tart, feltételezem, hogy egyenlően oszlik meg a terhelés a sínek közt. A sínre ható terhelés a meteorológiai terhek + a modul önsúlya + a leszorítók (a 28 db leszorítók súlyát esetünkben 1 kg-ra felkerekíttem).

A terhelések egy modulra számítva:

$$F_{\text{össz modul}} = F_{\text{hó}} + F_{\text{szél}} + F_{\text{ön}} + F_{\text{le}}$$

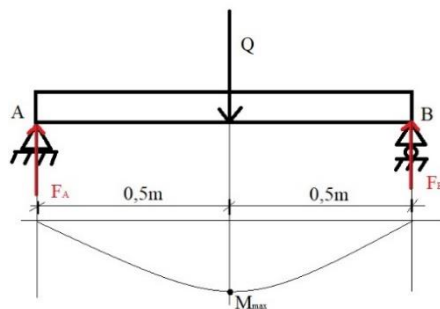
$$F_{\text{össz modul}} = 1,94 + 0,388 + 0,22 + 0,01 = 2,56 \text{ kN}$$

szerelősínenként:

$$F_{\text{össz}} = \frac{2,56}{2} = 1,28 \text{ kN}$$

Szerelősín ellenőrzése kihajlásra:

A két tetőhorgot közrefogó sínben ébredő nyomaték a sínen lévő megoszló terhelés által. A tetőhorgok 1 m távolságra egymástól.



$$Q = 1,28 \text{ kN}$$

$$M^{(A)} = 0 = F_B \times 1 - 1,28 \times 0,5$$

$$F_B = 0,64 \text{ kN}$$

$$F_A = 0,64 \text{ kN}$$

$$M_{\text{max}} = \frac{Q}{2} \times 0,25 - F_A \times 0,5$$

$$M_{\text{max}} = 0,64 \times 0,25 - 0,64 \times 0,5 = -0,16 \text{ kN}$$

$$M_{\text{max}} = 0,16 \text{ kNm}$$

Alumínium  $\sigma_h$  folyási határfeszültsége: 400 Mpa

$$\sigma_h = \frac{M}{I_x} \times y = \frac{M}{W_x} \rightarrow W_x = \frac{M}{\sigma_h}$$

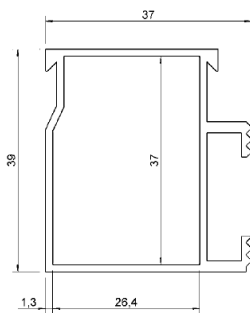
Mértékadó keresztmetszeti tényező:

$$W_x = \frac{0,16 \text{ kN}}{400 \text{ Mpa}} = \frac{0,16 \times 10^6 \text{ Nmm}}{400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 400 \text{ mm}^3 \rightarrow 0,4 \text{ cm}^3$$

Tehát a mértékadó terheléshez a választandó szerelősín  $W_x$  keresztmetszeti tényezője nagyobb kell legyen, mint a számított  $0,4 \text{ cm}^3$ . A keresztmetszeti tényező segítségével gyártói katalógusból lehet a megfelelő teherbírású szelvényt kiválasztani.

$$W_x \leq W_{x \text{ sín}}$$

Katalógusból az ábrán látható legkisebb méretű szerelősín adatai:



Max. keresztmetszeti tényező ( $W_x$ ): 2,501 cm<sup>3</sup>

Max. keresztmetszeti tényező ( $W_y$ ): 2,048 cm<sup>3</sup>

$$0,4 \text{ cm}^3 \leq 2,501 \text{ cm}^3$$

A szerelősín több mint **6-szoros** terhelést képes viselni.

**A napelem tartószerkezete megfelel!**

## ÖSSZEFOGLALÁS

Dolgozatomban sorra vettem a különböző tartószerkezetek fajtáit, kialakításukat és bemutattam őket elhelyezkedésük szerint. A napelemeket, mint az épület részét képező villamosberendezést, áramütés elleni és villámvédelmi szempontból is megvizsgáltam és igyekeztem bemutatni azokat a fontos előírásokat, amiket a napelemek telepítésekor szükséges betartani. Elkészítettem egy számítást, a napelemeket és így a tartószerkezetet érő terhekről. A számítás eredményeiből meghatároztam a kiválasztott tartószerkezet dimenzióit és mennyiségeit. A meghatározott terhek és a kiválasztott tartó gyári terhelési határértékeit összehasonlítva jól látszik, hogy a tartószerkezetek többszörösen túltervezettek. Ez az eredmény megerősíti kezdeti feltételezésemet miszerint, a tartók nemcsak, képesek viselni a terheket, hanem messze túlteljesítik a határértékeket. A tartósság titka sokszor a túltervezés. Megnyugtató látni, hogy a napelemek tartószerkezetei rendelkeznek a hosszú élethez szükséges tartalékokkal.

## ZUSAMMENFASSUNG

In meiner Diplomarbeit habe ich eine Reihe verschiedener Arten von Tragwerkskonstruktion genommen und sie nach ihrem Nutzung Ort vorgestellt. Ich habe die Solaranlagen, als elektrische Anlage, die Teil des Gebäudes ist, unter dem Aspekt des Elektrischen Schlag und Blitzschutzes untersucht, und ich versuchte die wichtigen Vorschriften darzustellen, die bei der Installation von Fotovoltaikanlagen eingehalten werden müssen. Ich habe eine Berechnung, von Belastungen auf Solarmodule und damit auch auf dem Tragwerk zubereitet. Aus den Ergebnissen der Berechnung habe ich die Abmessungen und Mengen der ausgewählten Treger ermittelt. Vergleicht man die werkseitigen Belastungsgrenzen der spezifizierten Lasten mit dem gewählten Treger, wird deutlich, dass die Tragwerkskonstruktionen mehrfach überdimensioniert sind. Dieses Ergebnis bestätigt meine ursprüngliche Annahme, dass die Treger die Last nicht nur tragen, sondern auch die Grenzwerte weit überschreiten werden. Das Geheimnis der Langlebigkeit ist oft eine Überplanung. Es ist beruhigend zu sehen, dass die PV Tragwerkskonstruktionen haben die notwendigen Reserven für das Langlebigkeit.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

1. K2 Systems GmbH., 2021. *Technische Informationen*, [online] Elérhető: <https://k2-systems.com/de/technische-informationen>, [Hozzáférés dátuma: 2021.október]
2. SL Rack GmbH., 2021. *DACHSYSTEME-ÜBERSICHT 10/21* [online] Elérhető: [https://www.sl-rack.com/wp-content/uploads/2021/08/SL\\_Rack\\_Uebersicht\\_Dachsysteme\\_DE.pdf](https://www.sl-rack.com/wp-content/uploads/2021/08/SL_Rack_Uebersicht_Dachsysteme_DE.pdf), [Hozzáférés dátuma: 2021.október]
3. Otto Lehmann GmbH., 2021. *Produktkatalog Aufdachmodulhalter* [online] Elérhető: <https://www.otto-lehmann-gmbh.de/pdf/Produktkatalog2017.pdf>, [Hozzáférés dátuma: 2021.október]
4. Würth Szereléstechika Kft., *Solar Rögzítő rendszerek*, [online] Elérhető: [https://media.witglobal.net/bkmedia/wuerth/3132/hu/Solar2019/#page\\_1](https://media.witglobal.net/bkmedia/wuerth/3132/hu/Solar2019/#page_1), [Hozzáférés dátuma: 2021.október]
5. Dr. Kovács Károly, 2016. Napelemes rendszerek villám- és túlfeszültség-védeme I. Külső villámvédelem, *Magyar Mérnöki Kamara Elektrotechnika tagozat*, [online], Elérhető: [http://kemmik.hu/sites/default/files/dokumentumok/4.\\_napelemes\\_rendszerek\\_villam-es\\_tulfeszultseg-vedeme\\_i.pdf](http://kemmik.hu/sites/default/files/dokumentumok/4._napelemes_rendszerek_villam-es_tulfeszultseg-vedeme_i.pdf), [Hozzáférés dátuma: 2021.október]
6. Dr. Novothny Ferenc, 2009. PV-panelek (napelemtáblák) földelése és egyenpotenciálra hozása, *Elektroinstallateur magazin*, [online] 2009/8–9, Elérhető: <https://elektroinstallateur.hu/archivum/3/> [Hozzáférés dátuma: 2021.október]
7. Dr. Novothny Ferenc, 2011. Napelemek és a tűzvédelem, *Elektroinstallateur magazin*, [online] 2011/8–9, Elérhető: <https://elektroinstallateur.hu/archivum/3/> [Hozzáférés dátuma: 2021.október]
8. Dr. Novothny Ferenc, 2011. *Villamosenergia-ellátás II.*, Budapest: ÓE Nyomda ÓE KVK2079/I. [Hozzáférés dátuma: 2021.október]
9. Dr. Kovács Károly, 2021. *MSZ EN 62305-3 Földelőrendszerek*, Villám és hibavédelem tantárgy Előadásjegyzet. [Hozzáférés dátuma: 2021.október]
10. Terrán Tetőcserép Gyártó Kft., *Beépítési útmutató Terrán Generon napelemes tetőcseréphez* [online] Elérhető: <https://terran-generon.hu/technikai-adatok/>, [Hozzáférés dátuma: 2021.október]
11. Ernst Schweizer AG., *Photovoltaik-Montagesystem Indach Solrif*, [online], Elérhető: <https://www.solrif.com/>, [Hozzáférés dátuma: 2021.október.]
12. AEROCOMPACT® Europe GmbH, *Intelligent solar recking*, [online], Elérhető: <https://www.aerocompact.com/loesungen/flachdaecher/>, [Hozzáférés dátuma: 2021.október]

13. Naplopó Kft., *Tervezési segédlet 2008/1*, [online], Elérhető: <http://www.naplopo.hu/letoltes/naplopo-tervezesi-segedlet.pdf>, [Hozzáférés dátuma: 2021.október]
14. Besenyei István, Bihari Zoltán 2021., *Napkövető napelem mozgató szerkezet tervezése*, [online], Elérhető: <https://ojs.uni-miskolc.hu/index.php/multi/article/view/694>, [Hozzáférés dátuma: 2021.október]
15. Krinner Schraubfundamente GmbH., Drevotta József E.V., *Produktkatalog*, [online], Elérhető: <https://talajcsavar.hu/letoltesek> [Hozzáférés dátuma: 2021.október]
16. Magyar Mérnöki Kamara, Mészáros Lajos, Schottner Károly, 2015., *Megújuló energiatermelő rendszerek Napelemes erőművek*, [online] Elérhető: [https://www.e-villamos.hu/files/cikk4924\\_MMK\\_ELT\\_FAP\\_5\\_1\\_2014\\_MEGUJULO\\_ENERGIA\\_NAPELEMES\\_RENDSZEREK.PDF](https://www.e-villamos.hu/files/cikk4924_MMK_ELT_FAP_5_1_2014_MEGUJULO_ENERGIA_NAPELEMES_RENDSZEREK.PDF), [Hozzáférés dátuma: 2021.október]
17. Erdélyi Tamás, Dr. Visnovitz György, 2006. *A tartószerkezeti méretezés alapjai terhek és hatások*, Budapest: BME Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék [Hozzáférés dátuma: 2021.október]
18. Wintech Solar, 2021., *Tervezési és szerelési segédlet* [online], Elérhető: <https://docplayer.hu/207667695-Tervezesi-es-szerelési-segedlet-a-wintech-solar-rendszer-osszeszeresehez.html>, [Hozzáférés dátuma: 2021.október]
19. Solar Kit Hungary Kft., 2021., *Napelemes tetőcserép*, [online], Elérhető: <https://solar-kit.hu/napelemestetocserep/>, [Hozzáférés dátuma: 2021.október]
20. Jáni Józsefné, 2013., *Napelemes rendszerek létesítése és üzeme III.*, Budapest: ÓE Nyomda ÓE KVK 2086/III. [Hozzáférés dátuma: 2021.december]
21. de.solar-energy.technology, 2021., *Was ist ein Solartracker und wofür? Vorteile und Typen*, [online], Elérhető: [de.solar-energy.technology](https://www.de.solar-energy.technology/), [Hozzáférés dátuma: 2021.október]
22. Nextracker Inc., 2021., *TrueCapture*, [online], Elérhető: <https://www.nextracker.com/truecapture>, [Hozzáférés dátuma: 2021.október]
23. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, 2021., *AGRIVOLTAICS: OPPORTUNITIES FOR AGRICULTURE AND THE ENERGY TRANSITION*, [online], Elérhető: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/APV-Guideline.pdf>, [Hozzáférés dátuma: 2021.október]
24. Ciel & Terre International, 2021., *HYDRELIO®: THE PATENTED FLOATING PV SYSTEM*, [online], Elérhető: <https://www.ciel-et-terre.net/hydrelio-technology/our-hydrelio-solutions/>, [Hozzáférés dátuma: 2021.október.]
25. M-12/B Kft., 2021, *A szolár kábelekről*, *Villanyszerelők lapja* [online], Elérhető: <https://www.villanylap.hu/lapszamok/2013/oktober/2586-a-szolar-kabelekr/>, [Hozzáférés dátuma: 2021.október]
26. Dr. Novothny Ferenc, 2009. *Napelemek tüzesetben*, *Elektroinstallateur magazin*, [online] 2009/10, Elérhető: <https://elektroinstallateur.hu/archivum/3/> [Hozzáférés dátuma: 2021.október]