

10. MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK SZERELÉSE

Megújuló energiaforrásnak nevezzük az energiahordozók azon csoportját, amelyek emberi időléptékben képesek megújulni, azaz nem fogynak el, ellentétben például a fosszilis energiahordozókkal. A megújuló energiaforrások közé soroljuk az alábbiakat:

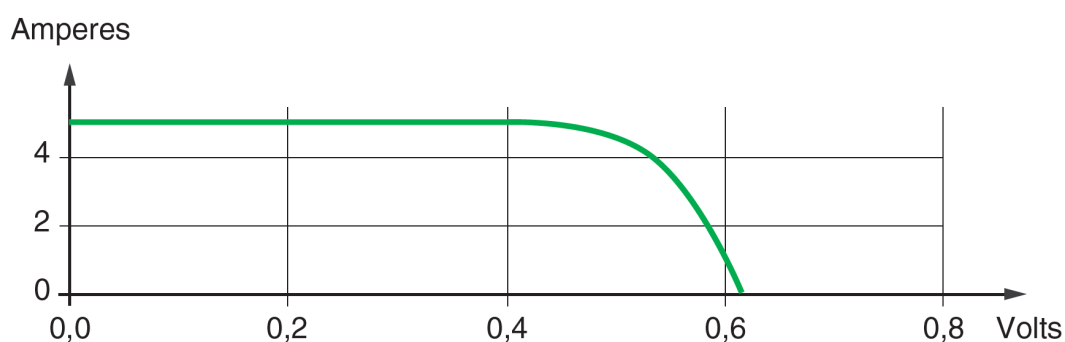
- napenergia;
- geotermikus energia;
- szélenergia;
- vízenergia;
- biomasszából nyert energia.

Ezek közül a napenergia a leginkább elérhető mindenki számára, s hazánk éghajlati viszonyában is jól hasznosítható. Magyarországon a napsütéses órák száma évente átlagban 2000-2500 óra, illetve az ország területére megközelítőleg 1400-1500 kWh/m² energia érkezik.

10.1 Fotovoltaikus áramtermelés (HMKE, KE)

10.1.1 A fotovoltaikus effektus

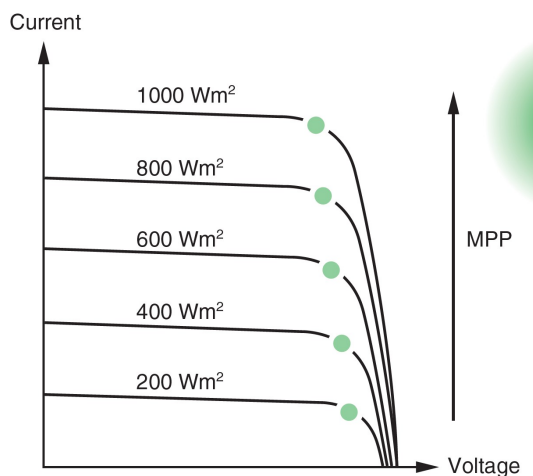
A szolárcellák a Nap sugárzási energiáját képesek közvetlenül villamos energiává alakítani oly módon, hogy a napelem felületén elnyelődő fotonok a félvezető atomjainak elektronjait felszabadítják, mely a töltéshordozók mozgását eredményezi, s így villamos áramként (a napelemek DC áramgenerátorként működnek) hasznosítani tudunk. Egyetlen szolárcella áram-feszültség diagramja látható a 10.1 ábrán. A nyitott kapcsokon mérhető maximális feszültség értékéből visszaköszön a szilíciumdióda nyitóirányú feszültsége.



10.1 ábra Egyetlen PV cella tipikus karakterisztikája

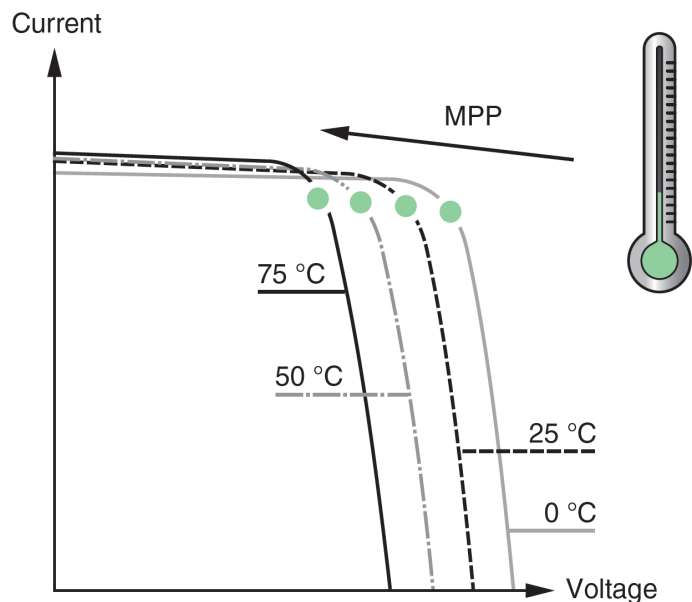
A szolárcella olyan *egyenfeszültségű áramgenerátorként* fogható fel, melynek árama a *besugárzási intenzitásától* függően változik: az intenzívebb napsugárzás növeli a cellákban előállított villamos teljesítményt. Derült időben, szinte ideális körülmények között ez az érték akár az 1000 W/m²-t is elérheti, míg borult égbolt mellett még az 50W/m² értéket sem éri el. Ezek csak a *direkt sugárzási*

értékek, a napelemcellára még teljesen felhőtlen időben is jelentős mennyiségű *szórt sugárzás* érkezik, ami a cella és a körülmények függvényében 10...30%-ot tehet ki a teljes megtermelt energiából.



10.2 ábra A szoláris teljesítmény paraméterezése a besugárzási intenzitással

A szolárcellák – bármely más félvezetőhöz hasonlóan – jelentős hőmérsékletfüggéssel rendelkeznek, amitől a szabadtéri alkalmazásból fakadó állandó kitettségük miatt nem tekinthetünk el, ráadásul a kapocsfeszültségük éppen a *magasabb hőmérséklet* (amit okozhat éppen a közvetlen napsugárzás is) hatására csökken, tehát a megemelkedett cellahőmérséklet hatására a megtermelt villamos teljesítmény csökkenni fog.



10.3 ábra A szolárcellák teljesítményének változása a hőmérséklet függvényében

10.1.2 Napelemes rendszerek általános felépítése

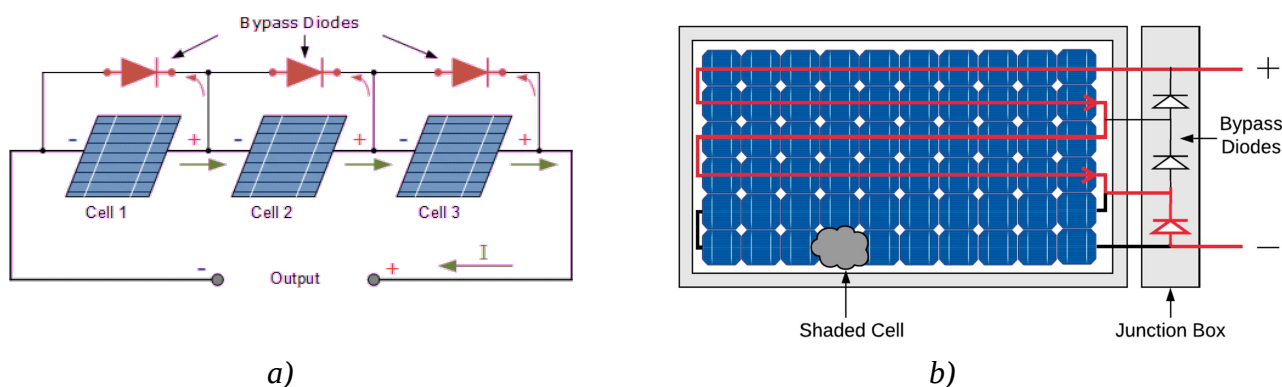
Villamos áram, mint tudjuk, az áramkör zárásával keletkezik, ehhez a cellákból összeálló napelem modulokat össze kell kapcsolni. A sorba kapcsolt modulokat **string**eknek (fűzéseknek) nevezzük.

Az egy stringbe szervezett modulok eredő áramerőssége – az áramgenerátoros működés miatt – a legkisebb modulárammal egyezik meg, míg a kapocsfeszültségüket a modulok feszültségének összege adja:

$$U_{\text{string}} = U_1 + U_2 + \dots U_n$$

$$I_{\text{string}} = I_{\text{modul}}$$

Részleges árnyékhataás esetén a párhuzamosan kapcsolt stringek között kiegyenlítő áramok keletkezhetnek, miközben a sötétbe került cellák áramtermelőkből fogyasztókká válnak, veszélyes helyi túlhevülési pontokat, ún. „hot spot”-okat létrehozva ezzel. Ennek elkerülésére ún. *by-pass diódákat* építenek egy-egy cellához gyárilag, vagy egy-egy string védelmének érdekében a modul kötődobozába szerelve, mellyel igaz, hogy az árnyékba borult cella teljes ágát kikapcsolva az áramtermelésből óvjuk meg a kiegyenlítő áramok okozta károsodástól.



10.4 ábra Napelemek by-pass diódás védelme cellák (a) és a stringek (b) szintjén

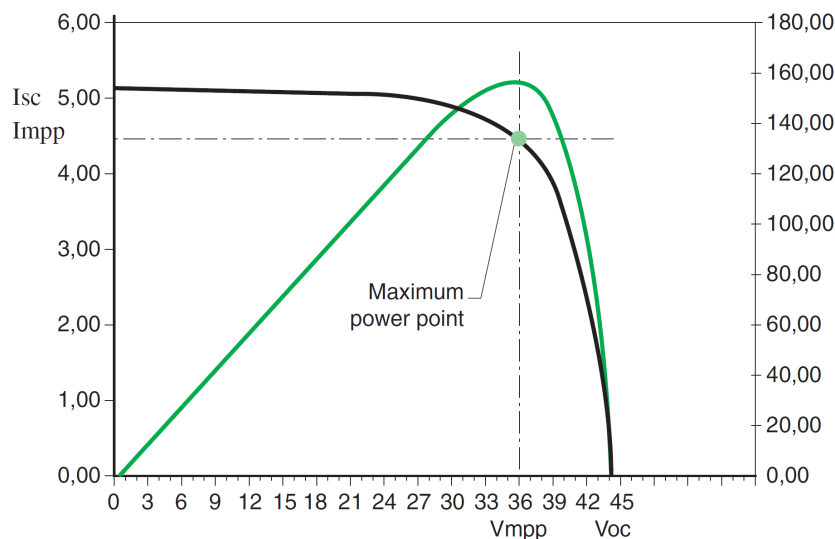
Több napelem-fűzér (tipikusan 2, 10 vagy 15 string) párhuzamos kapcsolása, alkot egy **napelemcsoportot**, amit *tömbként* (array) is neveznek. A csoport feszültségét a legalacsonyabb feszültségű string adja meg, míg eredő árama értelemszerűen összegződni fog.

50-100 kWp teljesítmény feletti tartományokban **napelemmezőket** hoznak létre több napelemcsoport (legtöbbször párhuzamos) összekapcsolásából áll össze. Amennyiben soros kapcsolás nincs a mezőn belül, akkor a rendszerfeszültség azonos a napelemcsoport feszültségével, árama azok összegzésével számítható.

A **napelemes erőmű** (SPP, Solar Power Plant) az a végleges egység, amely a napelemmezőket rendszerszinten összefogja. A közcélú hálózathoz a kapcsolódás csak *hálózati invertereken* keresztül KIF-en, még kiegészítő transzformátoros csatlakozás esetén KÖF-ön is lehetséges – ez esetben a mérési elszámolás is KÖF-ön történik. Szolár erőműből közvetlen DC nagyfeszültségű csatlakozás is lehetséges, amennyiben ilyen átviteli hálózat rendelkezésre áll (ld. 4.1.3 fejezet), de ez Magyarországon még nincs jelen.

A napelemek maximális hatékonyságának kihasználásához az *optimális terhelési viszonyokat* a fent bemutatott áram-feszültség karakterisztikán belüli *munkapont* helyes beállításával tudunk eljutni. A napelemek által elérhető *legmagasabb teljesítményű pontból* származtatható a hozzá tartozó

legmagasabb áram és a feszültség értékek. Ezek metszéspontjában van a maximális teljesítmény pont (Maximum Power Point), melyet a napelemre közvetlenül kapcsolódó inverter vagy töltésvezérlő eszköz automatikusan be tud állítani az adott körülmények (besugárzás, terhelőáram, hőmérséklet) követésével. Ezt a technológiát **MPPT**-nek (Maximum Power Point Tracking), az ilyen funkcióval rendelkező eszközöket *munkapont-követős szabályozóknak* nevezzük. A hálózatra kapcsolható inverterek elvben mindegyike rendelkezik ezzel a funkcióval. Az MPPT egy olyan szabályozási algoritmust követ, amely a körben kialakuló áram-vagy feszültség szabályozásával a lehető leggyorsabban áll rá az adott viszonyok közötti maximális teljesítménypontra.



10.5 ábra Napelemek teljesítménygörbéje az áram-feszültség viszonyok függvényében

Akkumulátorok töltésére használatosak még a **PWM** (Pulse-wide Modulation), azaz *impulzus-szélesség modulációval* szabályozó készülékek is. Kedvező áruk miatt még ma is népszerűek, de mivel a napelemek teljesítmény-optimalizálási munkapontját nem követik, így kevésbé hatékonyak, ezért alkalmazásuk csak kisebb teljesítményű DC fogyasztókhoz ajánlott.

10.1.3 Naperőművek szigetüzeme

Szigetüzemű (Off-Grid) rendszereknél kizárólag a napelemes rendszer által megtermelt villamos energia áll a fogyasztók rendelkezésére. Az energia letárolása akkumulátorban történik. Ezek voltak az első szolár rendszerek, melyeket nem kísérleti üzemben használtak, s a jelentőségük a mai napig jelentős olyan távközlési átjátszóknál vagy olyan távolságban letelepült létesítményekben, ahova a villamos hálózat kiépítése még hosszabb távon sem lenne kifizetődő, főként a minimális fogyasztást figyelembevéve. A magyar tanyavilágban, a nagyobb településektől, s így a közcélú hálózatoktól elzárt helyeken is alkalmaznak ma már szigetüzemű kiserőműveket, valahol csak a minimális világítás biztosítják ilyen módon DC-üzemben, LED-technológiával.

A rendszer megbízhatóságát az akkumulátortöltő és a hozzá tartozó akkumulátorok határozzák meg, hovatovább a megfelelően kiválasztott *töltési karakterisztika*, ami hosszútávon biztosíthatja az akkumulátorok élettartamát. Jelenleg csak a legdrágább Li-ion akkumulátorok tudnak 10 évnél

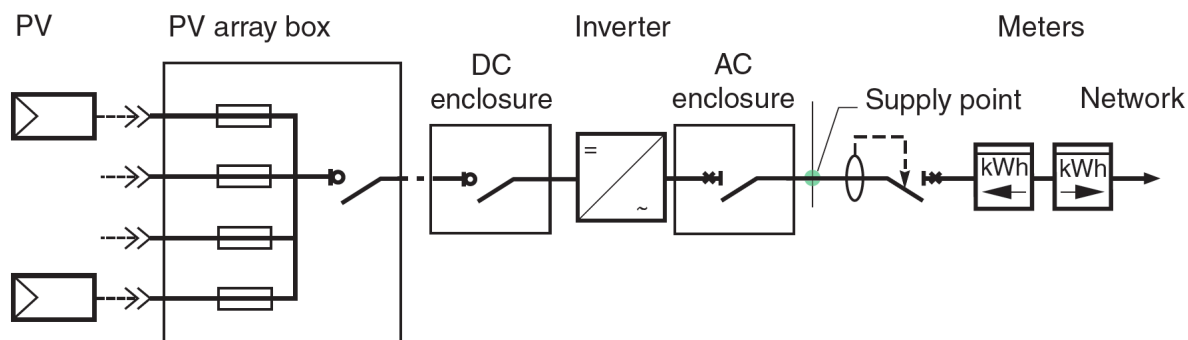
hosszabb élettartamot biztosítani, minden más kémiai energiatároló ennél gyakoribb cserére szorul. A rendszer másik kulcsfontosságú eleme az DC/AC inverter, mellyel a 110 vagy 230V-os váltakozóáramú feszültség biztosítható (3-fázis csak nagyobb teljesítményeken fordul elő), vagy DC hálózatok esetében a *DC/DC konverter*, ami az akkumulátor kapcsairól levett mindekori feszültség szintjét stabilizálja.

A rendszer méretezésénél figyelembe kell vennünk, hogy a folyamatos energiaellátáshoz nem csak a fogyasztóinkat kell elegendő energiával ellátni, de a napsütéses órákban a tárolóakkumulátorok töltéséhez – a „rövidebb” téli napokon is – biztosítani kell a szükséges áramot, ami a szolár felület viszonylagos túlméretezését igényelheti. Ezen túlmenően az akkumulátorok öregedését is figyelembe kell venni (a szünetmentes tápegységekhez hasonlóan) a berendezések folyamatos áramellátásához, hiszen még egy jobb minőségű *savas akkumulátor* is 3-5 év után már csak a névleges kapacitásának 50-80%-át képes leadni. A töltő-és tárolórendszerünket a sötétedéstől pirkadatig megállapítható töltésmentes időszakkal (Magyarországon ez 8-18 óra időtartam lehet), mint *áthidalási idővel* kell számolnunk, beleértve a töltésvezérlő áramkör, a DC/DC vagy DC/AC konverterek nyugalmi áramát is, melyek fogyasztók nélkül is terhelik az áramforrásunkat. A töltésvezérlőtől elvárt az alkalmazott akkumulátor kapacitásához optimalizált *töltési áram* figyelembevétele, illetve a kisülés mértékétől függően beállítani a kezdeti és a következő töltéshez szükséges áramszintet. Ezzel a szigetüzemi akkumulátor(csoport) élettartama nagy mértékben megnövelhető.

Tekintettel arra, hogy megújuló energiaforrások a mind töltési, mind pedig a kisütési ciklusokat csak részben valósítják meg, amikor a villamos energia a napsugárzás vagy a szél jelenlétekor rendelkezésre áll, az akkumulátorok soha sincsenek teljesen feltöltve vagy lemerítve. Mivel ezt az átlagos akkumulátorok csak rövid ideig lennének képesek meghibásodás nélkül elviselni, erre a célra fejlesztettek ki ún. *ciklikus* akkumulátorokat, melyek hosszabb távon is alkalmasak erre a „lebegő töltésre”. Megújuló áramforrásokhoz a felitatott savas rendszerű AGM (Absorbent Glass Mat), vagy a zselés GEL (Gel electrolyte cell technology) akkumulátorok javasoltak. A Li-ion akkumulátorok alkalmazása a fokozott tűzbiztonsági követelmények betartása mellett alkalmazható az energiatárolásban,

10.1.4 Kiserőművek hálózati üzeme

Hazánkban a legnépszerűbb napelemes rendszerek a hálózatra csatlakozó (On-Grid, Grid-tied) 50-500kW-os *kiserőművek* (KE), illetve a *háztartási méretű kiserőművek* (HMKE), melyek 50kW-ig engedélyezhetők. Ez utóbbiak napelemeivel leggyakrabban családi házak tetőszerkezetén találkozhatunk. A hálózati rendszerekben saját energiatárolás nincs, a megtermelt energiát egy részét a belső hálózatunk fogyasztóihoz kerül, míg a megtermelt, de fel nem használt villamos energiát ún. *kétirányú fogyasztásmérő berendezésen* keresztül az inverterek visszatáplálják az áramszolgáltatói hálózatba, amit kvázi így energiatárolóként használunk. Amennyiben a pillanatnyilag megtermelt teljesítmény kevesebb, mint a felhasználó pillanatnyi fogyasztása, akkor a többletigény a hálózathoz pótolható.



10.6 ábra Hálózatra csatlakozó naperőmű sematikus rajza

Amennyiben egyfázisú invertereket használunk, úgy a napelemtömböket „háromfázisú” elrendezésbe csoportosítva csatlakoztathatunk fel a hálózatra. A hálózatra való feltápláláshoz, mint minden erőmű esetében itt is a szinkronfeltételek teljesülése szükséges, azaz a *fázisazonosság*, *frekvenciaazonosság* és az *amplitúdó-vagy feszültségazonosság*. Az inverter a hálózatba saját kapcsolófeszültségének megemelésével tud áramot „pumpálni” egészen a – az inverteren paraméterezhető – maximális hálózati betáplálási feszültség eléréséig (260~270V), azt követően a védelme lekapcsol.

10.1.5 Vegyes üzemű rendszerek

A szigetüzemű és hálózatra csatlakozó rendszerek kombinációjaként működnek a vegyes üzemű (Bimodal) rendszerek, melyeknél a kétirányú fogyasztásmérés nem feltétel, de nem is kizárt – (a hálózatba visszatáplálás tarifafüggő), ha biztosított, a töltésvezérlő prioritásban elsőként a saját tárolókapacitásokat tölti. A vegyes üzem alkalmazását indokolhatják gazdasági számítások (az átvett energia egységára mindig alacsonyabb a vételezési egységárnál), de fontos lehet *ellátásbiztonság* szempontjából is, hogy a hálózati ellátás mellett saját *szünetmentes áramellátási* kapacitással is rendelkezünk. Ilyen rendszer – kellően nagy napelem felület mellett – a nappali (napsütéses) időszakban akár órákig képes lehet egy létesítmény energiaigényét biztosítani a beépített akkumulátor kapacitástól szinte függetlenül.

Tekintettel az országos villamosenergia-rendszer stabil működésére a vegyes üzemű rendszerekben kínálkozik a lehetőség, hogy a nagyerőművek kötött menetrendje mellett igen hektikus, előre szinte kiszámíthatatlan tápforrásként jelenlévő megújuló hálózati instabilitást okozó hatásainak csökkentésére, azaz, hogy a hálózatba „nem várt” napsütéssel táplálendő energia egy részét saját tárolókapacitásaikba elnyeljék. Erre az akkumulátorok technológiai fejlődésével, majd tömeges gyártásával megfizethető termékek megjelenése után látható reális esély, melyre a villamos járművek automatikus okos-hálózati töltésvezérlése, mint új kezdeményezés szolgálhat jó példaként (ld. a 6.4.2 fejezet **Terhelésszabályozók** alpontját).

10.1.6 A napelem modulok katalógus adatai

A napelemek elektromos jellemzőinek leírásához az eredeti angol nyelvű terminológia használatos, azért az értelmezésüket is azon keresztül érdemes taglalni.

Elektromos paraméterek	Értelmezés	Jelölése	Egysége
Maximum Power (Wattpeak)	Néveleges teljesítmény	$P_{\max}$	Wp
Open-circuit voltage	Üresjárási feszültség	V_{OC}	V
Short circuit current	Rövidzárási áram	I_{SC}	A
Voltage at Point of Maximum Power	Maximális teljesítménypont feszültsége	V_{mpp}	V
Current at Point of Maximum Power	Maximális teljesítménypont árama	I_{mpp}	A
Module Efficiency	Modul hatásfok	η_m	%

A paramétereket kétféle vizsgálati körülmények között adják meg:

STC (Standard Test Condition): elektromos paraméterek szabványosított laborkörülmények között, ami 25 °C-os környezeti hőmérsékletet, 1000 W/m² besugárzási intenzitást jelent, AM1.5 (1.5 x Air Mass) *besugárzási spektrum* mellett.

NOCT (Normal Operating Cell Temperature) vagy **NMOT** (Normal Module Operating Temperature), ami névleges cella/modul hőmérsékleti körülményekre utal.

A napelem panelek hőmérsékleti együtthatóját (Temperature Coefficient) [% / °C] egységgel adják meg a *névleges teljesítményhez*, *üresjárási feszültséghez* és a *rövidzárási áramhoz*.

Határértékek	Értelmezés (fordítás)	Egysége
Maximum System Voltage	Az a maximális string-feszültség, amelybe a modul rendszerbe kapcsolható.	VDC
Over-current protection	Túláram védelem megszólalási értéke	A
Temperature range	Hőmérsékleti tartomány	°C
Max. mechanical load (snow/wind)	Legnagyobb mechanikus igénybevétel (hó, szél)	Pa

10.2 Napelem modulok típusai

10.2.1 Monokristályos napelem

Egymáshoz hegesztett szilícium rétegekből áll, tehát több, jól elkülönülő kristályszerkezetet képző cellából épül fel, amelyek fekete színűek. A monokristályos napelemek megfelelő fizikai

paraméterének eléréséhez először egy kristálytömböt készítenek, amit szeletelnek és többször felületeznek. A cellákat a henger alakú tömbből levágják, így jobban el lehet helyezni őket a napelem modulján. Leggazdaságosabb megoldásnak a nyolcszög számít. A **18-25%-os hatásfokát** tekintve jelenleg ez a típus a listavezető, azonban a *tájolásra* és a *dőlésszögre* igen érzékeny, mivel a *szórt napfényt* nem hasznosítja annyira jól, mint a *direkt napsütést*. Éppen ezért a hatásfoka ellenére nem ez a legnépszerűbb modul. A napelemre vonatkozó gyártási garancia 25 év, élettartama legalább 30 év. Ez a típus a gyártási eljárásból adódóan sokkal drágább, de az egységteljesítményük nagyobb a polikristályos napelemekhez képest. Ránézésre is meg lehet különböztetni őket a többi napelemtől, mert a monokristályos napelemek *nyolcszög alakú cellákkal* rendelkeznek.

10.2.2 Polikristályos napelem

Ez a típus is több cellából épül fel, de már nem egy, hanem több kristály alkotja, és kékes-lila a színük, azaz itt nem a homogén kristály növelése a cél. Mivel ez az előállítás kevesebb időbe kerül, kisebb az energiaigény is. Magukat a kristályokat tömbben növesztik, majd vékony szeletekre vágják fel, ezáltal kapják meg a cellákat. Ezeket ónszalaggal forrasztják össze, illetve többretegű védőburokba helyezik el. Mivel az előállítási költségei alacsonyabbak, így a beszerzési áruk is kedvezőbb, ami miatt ma Magyarországon ez a legnépszerűbb napelem típus. A polikristályos napelemek **hatásfoka 15-22%**, de a hőterheléseket nem bírják annyira, mint a monokristályos panel. A tájolásra és dőlésszögre nem annyira érzékeny –, ami nagyban egyszerűsíti a telepítést – de az árnyékhataásra igen. A világon is vezető típusnak számít, ebből épül fel a legtöbb erőmű és háztartási méretű napelemes rendszer. A polikristályos napelemeket a *négyszög alakú celláiról* lehet legkönnyebben felismerni.

A kristályos napelemek várható élettartama 20 év fölött van, eközben teljesítményükből veszítenek valamennyit (<1% -ot évente).

10.2.3 Vékonyréteg napelemek

A *vékonyréteg* vagy *vékonyfilm* napelemek gyártástechnológiája a fent említett két típustól nagyon különböző. Ezen napelemek esetében a szilíciumot felgőzölik a hordozórétegre, ezáltal a gyártási idő jelentősen lerövidül. Magyarországon a napelemek optimális telepítési szöge 45°, azonban a vékonyfilm-rétegű napelemek képesek ettől akár 15°-kal eltérő dőlésszög mellett is leadni a névleges teljesítményüket. Ennek eredményeként a modulokat ennél a típusnál *30-60 fokos dőlésszög tartományban* telepíthetjük, ami építészeti szempontból előnyt jelent. Az előállítási költségük szintén alacsony, viszont hatásfokuk legfeljebb 5-15% lehet.

A vékonyrétegű napelemek gyártása során a hordozórétegre gőzölik fel a félvezető rétegeket, ezáltal akár hordozható, hajlékony napelem is készíthető.

A halvány csíkok utólagos, lézerrel történt bevágások a filmrétegen, ami a kedvezőbb feszültség-áram viszonyok beállítása miatt szükséges. A félvezető filmréteget és az alapanyagot a gyártási technológia határozza meg, jelenleg az alábbi három, már tömeggyártásban is megjelent vékonyréteg technológia ismert:

- **aSi** (amorf szilícium) és **μSi** (mikromorf szilícium);
- **CdTe**, (kadmium-tellurid);

- **CIS** (réz-indium-diszelenid);

A CIS technológián belül három altípussal találkozhatunk, ezek a **CIGS** (réz-indium-gallium-szulfid), a **CIGSe** (réz-indium-gallium-szelenid) és a **CIGSSe** (réz-indium-gallium-szulfid-szelenid). A CIS technológián alapuló gyártás nagy előnye a jelentősen alacsonyabb, mintegy századnyi szilícium mennyiség igénye a kristályos napelemekhez képest.

A vékonyréteg napelemek a világ napelemes piacának 20%-át jelentik, kipróbált és elfogadott megoldásnak tekinthetők. A kisebb hatásfokukból fakadó nagyobb területigényük miatt *háztartási méretű kiserőművekbe*, családi házak tetőszerkezetére nagyon ritkán kerülnek. A vékonyréteg napelemeknek viszont jobb a hőmérsékleti együtthatója, így főként a sivatagos, nagyon meleg környezetben (tehát nem Közép-Európában) van előnyük, mert nagy melege és a környezeti hatásokra kevésbé érzékenyek, mint a kristályos napelemek, hasonlóképpen az árnyékhatás sem befolyásolja a termelésüket olyan kedvezőtlenül.

10.2.4 Amorf napelemek

Ez a ma használt vékonyfilm technológiák közül az egyik legjobban elterjedt. Jelentős számú cég vágott bele az utóbbi években ilyen technológiájú napelemek gyártásba. Ez a fajta napelem nem tagolt, tehát a felületét tekintve egyetlen amorf kristályról beszélhetünk. A félvezető réteg itt is szilícium, mint a kristályos napelemek esetén, azonban nem kristályos tömbökből, hanem szilán gázból (SiH_4) állítják elő: kémiai reakció során a hidrogént leválasztják a szilíciumról, ami így lerakódik az üvegre – vagy más felületre, pl. műanyagra, fémre is akár. Viszonylag kis hatásfokú (4-6%) technológia. Mivel kicsi a hatásfoka, ezért jóval nagyobb felületet igényel az elhelyezése. Leggyakrabban olyan helyeken használják, ahol az épületbe integráltan lehet telepíteni, illetve ahol nagy terület áll rendelkezésre. Az amorf napelem a szórt fényt jobban hasznosítja, mint a közvetlen napfényt. Élettartalma kb. 15 év.

A megfelelő napelem kiválasztása nagyban függ a telepítés helyén adott *földrajzi viszonyoktól*. Az Egyenlítőhöz közelebbi Görögországban és Spanyolországban például több direkt sugárzás éri a berendezést, mint Magyarországon vagy Németországban. Hazánkban nem csak a beszerzési árak miatt érdemesebb a polikristályos rendszert választani; itt Közép-Európában a várható termelést tekintve is közel egy monokristályos rendszer szintjén képes teljesíteni. Ebből adódóan a beszerezhetőség, az ár, a gyártó és a tetőn való elhelyezhetőség alapján célszerű választani.

10.3 Napelemes rendszerek kivitelezése

10.3.1 PV rendszer villamos berendezéseinek kialakítása

Amennyiben a rendszert HMKE-ként engedélyeztetve tervezzük létesíteni, akkor 5kWp teljesítmény felett csak háromfázisú hálózati csatlakozással rendelkező mérőhelyeknél lehetséges, néhány áramszolgáltatónál pedig egyfázisú hálózatokra nem is engedélyezi a hálózatra táplálást. Az

engedélyezéshez szükséges kiviteli terveket a *csatlakozási dokumentációk* beadását megelőzően kell elkészíteni.

A napelem modulok az időjárás állandó kitettségében működnek, melyet a statikus (hó-és jégteher) és dinamikus (szélterhelés) erőhatásai mellett, a tartószerkezettel együtt kell elviselnie. Nemcsak a tartószerkezetnek, hanem a földem-vagy tetőszerkezetnek – az újonnan telepített napelemes rendszer megváltozott körülményei mellett – is megfelelő rögzítéstechnikával kell rendelkeznie a biztonságos létesítés megvalósításához. A kiválasztott rögzítéstechnika kialakítása után a megbontott hő-, víz-és páraszigetelést helyre kell állítani – ez a kivitelező felelőssége!

A modulokat érő szélterhelés kettős: egyrészt a felületet érő *nyomóerő*, illetve a modul alatt felgyorsultan áramló levegő *szívóhatásának* eredőjéből áll össze. Kiterjedt rendszerek aerodinamikai terhelésének modellezése bonyolult feladat lehet. A szélterhelések hatásainak csillapítására a tartószerkezetet valamilyen *ballasztterheléssel* súlyozzák le, melynek következményeként a tető statikai terhelése is megnő, tehát javasolt lehet szakági tervező bevonása.

A PV erőmű optimális működtetéséhez szükség van bizonyos mérések elvégzésére. A mindenkori besugárzási intenzitást *piranometert* vagy *pirheliometert* alkalmaznak, melyet a panelek síkjában kell elhelyezni, de az nem árnyékolhatja be a panel felületét!



10.7 ábra a) Modulhőmérséklet mérő b) Időjárásálló kivitelű piranometer referenciacellákkal

A panelhőmérséklet mérésére téglatest alakú PT-szenzort alkalmaznak, amelyet a napelem modulok hátuljához kell szorosan, hőcsatolásban rögzíteni.

Alternatív megoldásként a szabványos laborkörülményektől való besugárzási és hőmérsékleti eltérést *referencia cellák* segítségével is mérhetjük (10.7 ábra), melyek a szabályozásunkhoz közvetlenül feldolgozható villamos rendelkezőjelet képesek adni. Kizárólagos alkalmazásukat a lassabb válaszadási idejük és műszerként nem kalibrálható kimeneti jelük korlátozza.

10.3.2 Napelem modulok szerelése

A napelemek akkor adják le a legnagyobb teljesítményt, ha a felületüket merőlegesen éri a napfény. Ahhoz, hogy a beesési szög mindig 90° legyen a napelemeknek le kellene követniük a Nap járását, ehhez viszont egy olyan mozgó mechanizmusra lenne szükség, amely nagyban megnöveli és bonyolítja a beruházási költségeket. Kiserőművi méretekben jellemzően az optimális tájolással érjük el a kívánt hatásfokot. A *telepítés helyének* kiválasztása után az alábbi paramétereket kell határozni az adott helyen:

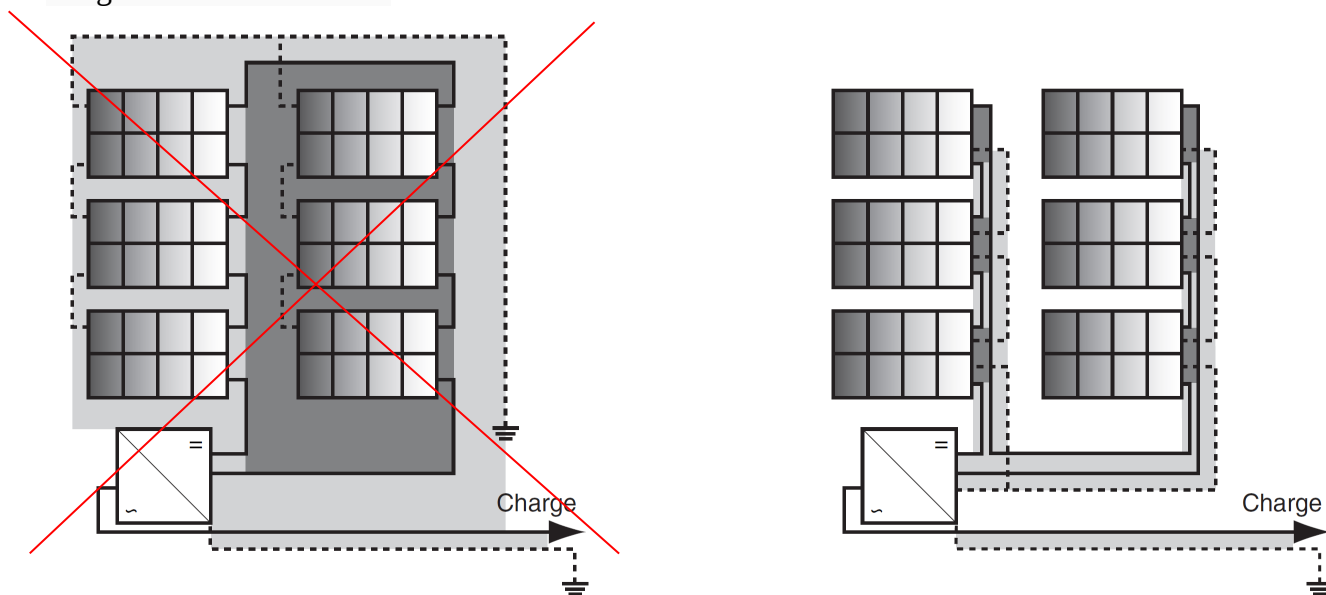
- a napelemek helyzetét, irányítottságát;
- az azimuth szöget (a Déli-irány jelenti az „azimuth nulla” helyzetet) és
- az emelési szöget.

Családi házak esetén a tájolás – és egyben helymeghatározás is – a legkedvezőbb fekvésű tetőfelület(ek) kiválasztását jelenti. Hazánkban ez alapvetően a déli tetőrész beépítésével érhető el, de jó kompromisszumos megoldás a délkeleti vagy délnyugati telepítés, illetve a kettős, *keleti-nyugati* beépítés is, ahol az egyik napelemcsoport a keleti, míg a másik nyugati oldalon helyezkedik el. Más fekvéssel rendelkező tetőszerkezet esetén érdemesebb a földre telepített tartószerkezettel a kedvező tájolást biztosítani.

A letelepített moduloknál figyelembe kell vennünk az esetleges *árnyékhatásokat*, amit a napszakhoz tartozó aktuális besugárzási szög mellett a környező tereptárgyak okozhatnak.

Magyarország égövi elhelyezkedéséből fakadóan déli tájolás esetén **$35^\circ \dots 45^\circ$ -os emelési szög** javasolt a modulok felszerelésére.

A napelemes rendszerek kábelelei egyeres, kettős szigetelésű kábelek, magas üzemi feszültséggel és széles hőmérséklettartománnyal rendelkeznek. Az időjárás-, hajlítás- és UV állósága ellenére javasolt védőcsőben vagy kábeltálcában vezetni, amennyire lehet a modulok takarásában. A villámcsapások másodlagos hatásainak mérséklésére a kábelezésnél kerüljük a nagyobb területet átfogó hurkok kialakítását!



10.8 ábra Napelem-fűzések telepítése nagy (a) és kis (b) területű hurkok kialakításával

A DC oldali csatlakozók minősége kulcsfontosságú, mely hosszútávon meghatározhatja nemcsak a rendszer hatásfokát, de biztonságát is, így kerüljük az olcsó utánzatokat, a szereléseknél csak a valódi minősítéssel rendelkező gyártmányokat alkalmazzuk!

10.3.3 A PV rendszer védelmi eszközei

A **DC leválasztókapcsoló** a szolár erőművek alapvető védelmi tartozéka. Ennek nem csak, mint tűzeseti főkapcsolóként van szerepe a szolár panelek izolálása érdekében, hanem DC tápvezetékek megbontása előtt, mivel ha ezt napsütéses órákban tesszük, amikor a modulok áramot termelnek, a megszakított egyenáramon fennmaradó villamos ív magas hőképződéssel jár, ami a csatlakozó tönkremenetelét okozhatja. A vonatkozó Tűzvédelmi Műszaki Irányelv szerint (TvMI 7.4):

„6.2.2.2. A DC-oldali vezetékek lekapcsolására vonatkozó követelményének kielégítésére elfogadható műszaki megoldás az inverterbe épített DC-oldali leválasztás, ha az adott DC-kábel épületbe való belépési pontjától indult belső DC-nyomvonal teljes hossza nem haladja meg az 5 métert és nem halad át egymás feletti/alatti egynél több szinten, idegen tulajdonon, bérleményen, tűzszakaszon.

Megjegyzés: ebben az esetben a kapcsolás kézzel történhet, ezért elhelyezését a kezelhetőség határozza meg. Lásd a 6.1.2.2. Megjegyzés 1: Kapcsolókészülékek esetében a működtetést lehetővé tevő elhelyezési magasság 1 - 1,5 m közötti. Egyéb kezelőszervek esetében a kezelés módja határozza meg az elhelyezési magasságot.”

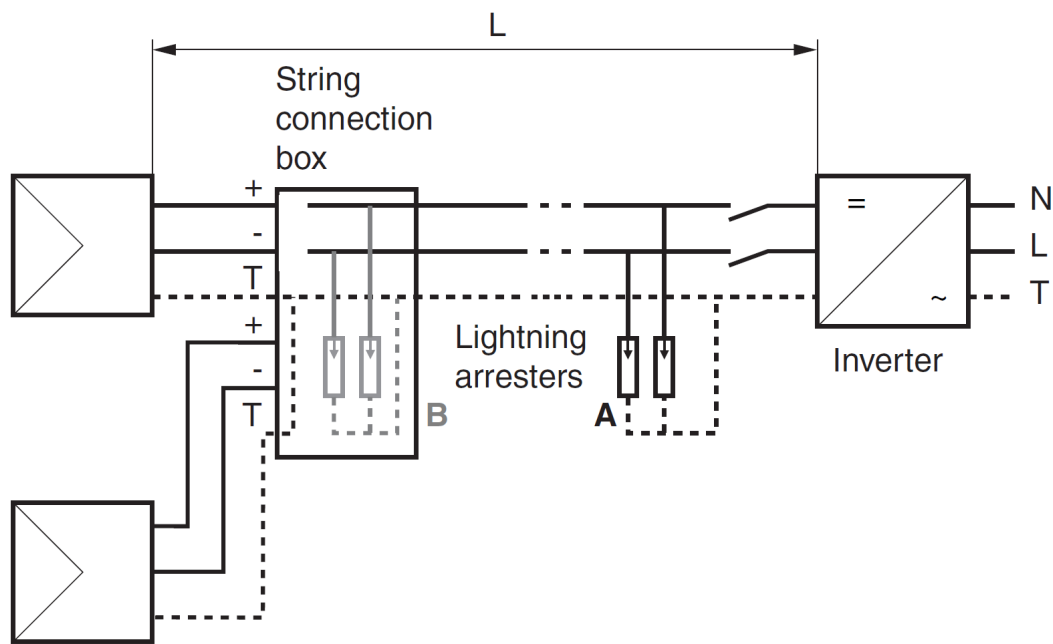
Ez annyit jelent, hogy az inverterbe integrált DC leválasztókapcsoló esetén magára az inverter elhelyezésére is vonatkozik a 1-1.5 méteres *előírt elhelyezési magasság!*

Az AC oldalon is szükséges leválasztókapcsoló és túláramvédelmi eszközt is beépíteni. Áramvédőkapcsolót, nem szabad a kétirányú fogyasztásmérő ágába rakni!

A **túlfeszültség-védelem** alapjaként a legfontosabb, hogy a védő-egyenpotenciálú összekötést a napelemes rendszer minden vezetőképes fémrészére csatlakoztassuk rá minimum 4.0 mm²-es vezetékkel, ha van villámáram levezető, de az nem csatlakozik a földelőrendszerünkre, vagy 10.0 mm²-es köpenyes vezetékkel, ha az épület villámáram-levezetőjéhez csatlakozik. A *DC-oldali túlfeszültség-levezetőknél* az invertertől való távolság függvényében két eset lehetséges:

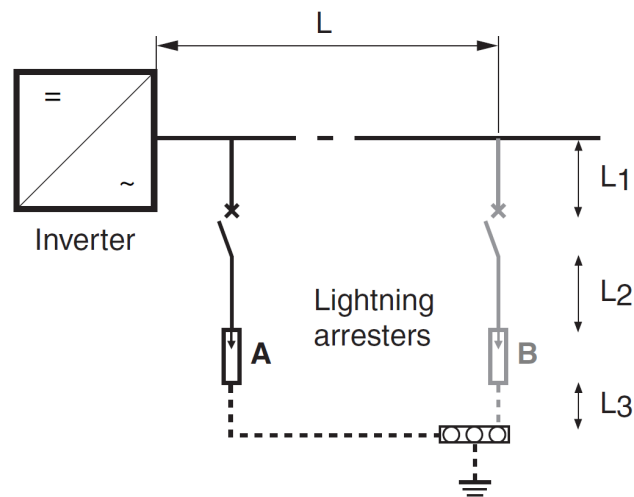
$L \leq 30\text{m} \rightarrow$ csak az **A** jelzésű levezetők beépítése szükséges;

$L > 30\text{m} \rightarrow$ az **A** és a **B** jelzésű levezetők beépítése is szükséges (a B-jelzésű levezetők a string-ek kötődobozában kapnak helyet).



10.8 ábra DC-oldali túlfeszültség-levezetők elhelyezése

Az AC-oldali túlfeszültség-levezetőket a fentiekkel analóg módon kell kialakítani, viszont itt mindössze 10 méter az maximális távolság, amin belül egyetlen inverter-oldali levezető is elégséges.



10.9 ábra AC-oldali túlfeszültség-levezetők elhelyezése

Fontos előírás az invertereknél az **IEC 62116** szabvány által előírt *nem kívánt szigetüzem elleni védelem*. Ez annyit takar, hogy az inverterünk a hálózati feszültség kimaradásakor beszünteti a kitáplálást, ezzel akadályozva meg azt, hogy a hálózaton éppen karbantartást végzők áramütést szenvedjenek el. Majd a hálózati feszültség megléte esetén további biztonsági idő után kapcsol vissza.

10.3.4 A naperőmű segédüzeme

A segédüzem az erőmű működtetéséhez és felügyeletéhez – a vezérlési, védelmi és installációs eszközök számára szükséges energiát biztosítja. Központi inverter esetén a segédüzemű hálózat adja az inverter segédenergiáját. Jellemző megoldásai:

- string inverter esetén saját 0,4 kV-os hálózatról biztosítva;
- Független 0,4 kV-os hálózati betáplálás;
- KÖF mezőről 0,4 kV-os transzformátorral leágazva (4 kVA-ig)
- KÖF segédüzemi transzformátorral (min. 50 kVA)

Segédenergia nélkül az erőművünk nem üzemel, ezért szigetüzemben a segédüzemet akár szünetmentes tápellátással, külön UPS vagy aggregátor egységgel is biztosítani szükséges!

10.4 Naperőművek műszaki átadása

A napelemes rendszerek kialakítására és biztonságára vonatkozó követelményeket az **MSZ EN 60364-7-712:2016** szabvány foglalja össze.

10.4.1 A HMKE csatlakozási dokumentációja

A csatlakozási dokumentáció tartalmazza a rendszer kialakítására, védelmére, üzemeltetésére vonatkozó műszaki információkat. A hálózati engedélyes (áramszolgáltató) ez alapján döntheti el, hogy a tervezett HMKE berendezés csatlakoztatható-e a közcélú hálózatra (működése nem okoz-e problémát a hálózaton). A dokumentációt csak villamos tervezői jogosultsággal rendelkező személy készítheti.

A csatlakozási dokumentáció tartalmi elemei:

- csatlakozási dokumentáció kitöltött adatlapja,
- a telepítendő berendezések (termelőegység) és a kívánt csatlakozási mód leírása,
- az elszámolási mérőrendszer és a mérőhely kialakításának leírása;
- a védelmek beállítási értékeinek táblázata;
- térképszelvényen jelölt telepítési hely, elhelyezési rajz;
- tulajdoni lap, tulajdonosi hozzájárulás (ha a beruházó nem azonos a tulajdonossal);
- egyvonalas kapcsolási rajz a tulajdoni határ és tulajdonosok megjelölésével;
- termelői nyilatkozat.

.3.2 A hálózatra csatlakozás követelményei

Az engedélyezéshez szükséges csatlakozási dokumentáció beadásakor az ügyfél már értékelte a napelemet leszállító és telepítő cégek ajánlatait. Fontos, hogy a megajánlott inverter típusa szerepeljen az áramszolgáltató által engedélyezett gyártmányok között. Olyan eszköz esetén, mely nem szerepel az *engedélyezett inverterek* listáján, kezdeményezni kell annak vizsgálatát a hálózati engedélyesek bármelyikénél.

A HMKE-vel rendelkező felhasználó közcélú hálózatról vételezett, illetve oda visszatáplált

villamosenergia mérése a csatlakozási ponton kialakított kétirányú mérőberendezéssel történik.

Az alkalmazott mérőberendezések (E.ON):

- 3x32A alatti rendelkezésre álló teljesítményig elektronikus, kéttarifás, kétirányú mérő;
- 3x32A – 3x80A rendelkezésre álló teljesítmény esetén un. 4/4-es elektronikus mérő;
- 3x80A felett pedig távmérésre alkalmas un. 4/4-es elektronikus mérő.

10.3.3 AC oldali ellenőrzések

Az üzembehelyezéshez tartozó érintésvédelmi szabványossági vizsgálat során a **MSZ EN 60364-7-712:2016** előírásainak teljesülését is! A működési próbák során az AC-oldali hálózati feszültség megszűnésekor az inverter nem táplálhat szigetüzemben! Visszakapcsolás után az előírt idő leteltét követően szabad és kell újra megkezdenie a hálózatra történő termelést.

10.3.4 Ellenőrző mérések DC oldalon

A váltakozóáramú oldal érintésvédelmi ellenőrzését követően az **MSZ EN 62446-1:2016** szabvány által előírt DC-oldali vizsgálatok elvégzése szükséges:

- védővezető folytonosság-vizsgálata;
- polaritás-vizsgálat (szemrevételes vagy műszeres);
- PV-modulsor üresjárás feszültségmérése;
- PV-modulsor rövidzárási árammérése;
- PV-modulsor működési vizsgálata (lakatfogós árammérés);
- U-I karakterisztika vizsgálata (összekapcsolt modulsorok esetén az eltérés max 5% lehet);
- a rendszerbe épített berendezések funkcionális vizsgálata (inverter működési próbái);
- szigetelési ellenállás mérése.

*Részlet a Magyar Kereskedelmi és Iparkamara gondozásában kidolgozott **Villanyszerelő mesterképzésre felkészítő jegyzet**ből. Szerző: Sumicz Árpád*