

A napelemes rendszerek környezetében történő tűzoltási és műszaki mentési feladatok biztonságának növelése, különös tekintettel a feszültség csökkentés lehetőségére – I. rész

Increasing the safety of firefighting rescue tasks in the environment of solar system with particular regard to the possibility of voltage reduction – Part I.

Kalocsa Mórió tű. őrmester
Fővárosi Katasztrófavédelmi Igazgatóság
VIII. Kerületi Hivatásos Tűzoltó-parancsnokság
Email: kalocsa.mario@gmail.com
ORCID: 0009 0003 5859 0840 

Absztrakt:

A napelemes rendszerek környezetében történő beavatkozások során a legnagyobb veszélyforrást a Nap folytonos besugárzásából adódó feszültségtermelő folyamat jelenti. A téma megfelelő megértése érdekében röviden ismertetem a napelemes rendszerek részegységeit, azok feladatát és a különböző rendszerek fajtáit.

Megvizsgáltam hazánkban és más külföldi országokban lefolytatott napelemes kísérleteket, melyek között nagy hangsúlyt fektettem egy újonnan kifejlesztett anyag és megoldás bemutatására is. Tanulmányommal 2022. évben a Katasztrófavédelmi Tudományos Tanács interdiszciplináris pályázatán III. helyezést értem el.

Kulcsszavak: napelem, feszültség, biztonság, PV Stop

Abstract:

During interventions in the environment of solar energy systems the greatest source of danger is the voltage-generating process resulting from the continuous irradiation of the Sun. In order to properly understand the topic I will briefly describe the parts of solar systems their tasks and the different types of systems.

I examined the solar cell experiments conducted in our country and other foreign countries among which I placed great emphasis on the presentation of a newly developed material and solution. With my study I participated in the tender of the Scientific Council for Disaster Management in 2022 when I was the third.

Keywords solar panel, voltage, safety, PV Stop

1. BEVEZETÉS

A XX. században a fosszilis energiahordozók nagy mennyiségű felhasználása megteremtette a modern élet alapjait. A fejlődésnek nagy ára volt, ugyanis napjainkban már együtt kell élnünk olyan új fogalmakkal, mint az ózonlyuk, az üvegházhatás és az energiaválság. Gyakran a napelemet, szél- és vízenergia megújuló energiának hívjuk, de a megállapítás téves, ugyanis a megújuló energia - a példánknál maradva – nem más, mint a nap, a szél és a víz. A napelem nem megújuló, ugyanis az előállításához energiabefektetés szükséges, amely más energiátartalmak felhasználását eredményezi. Hazánk, és más külföldi országok tűzoltóságai nagy hangsúlyt fektetnek az egyre jobban elterjedő napelemek környezetében történő beavatkozások biztonságának növelésére. Tesztek és gyakorlatok zajlanak a legfontosabb taktikai kérdéskörrel: a feszültségmentesítésről. Számos hagyományos, illetve innovatív megoldás megbukott a biztonságos alkalmazhatóság kérdéskörét illetően, amelyek kísérleti körülmények közt használhatóak, de a káresetek felszámolásakor inkább jelentenek veszélyt, mint megoldást. Kutatásom során ezeket a módszereket vizsgáltam meg, és megtörekedtem a használhatóság, a hatékonyság és a hazai tűzoltás taktikába történő könnyű integrálhatóság elérésére.

2. A NAPELEMES RENDSZEREK FELÉPÍTÉSE, RÉSZEGYSÉGEI

2.1 Tartószerkezet

A tartószerkezet legfőbb feladata, hogy a panelek súlyát eloszlassa és megfelelő technológiai rést biztosítson a héjazat és a panelek közt a határfok csökkenésének elkerülése érdekében. A legideálisabb teljesítmény eléréséhez a napelemek elhelyezése történhet tetőre, homlokzatra vagy talajra. Legtöbb esetben a nyeregtetőre történő telepítéssel találkozhatunk. A lapos tetőre történő telepítés esetén nem a tető, hanem a tartószerkezet dőlésszöge biztosítja a panelek megfelelő benapozottságát. Mivel a panel és a tető közt jelentős hézag is előfordulhat, ezért szükséges a tartóállvány súlyokkal, vagy csavarokkal történő „lehorgonyzása”. A homlokzatra épített napelemek esetén a funkció és az esztétika szoros, elválaszthatatlan egységet alkot. Ennél a megoldásnál a leglényegesebb, amiről beszélni kell, hogy mind a napelem, mind pedig a tartószerkezet nem befolyásolhatja közvetlenül a homlokzati tűzterjedés elleni védelmet. [1]

2.2 Panelek

A napelem panelek olyan fotovoltaiikus szilárdtest eszközök, amely a Napból érkező elektromágneses sugárzást alakítják át egyenárammá. Két főbb csoportjuk ismert: a kristályos elemek (monokristályos vagy polikristályos) és a vékonyfilm elemek. A mono és polikristályos napelemek nagy tisztaságú szilícium cellákból épülnek fel, amelyeket általában többrétegű műanyag hátlap és edzett üveg közé rögzítenek. A félvezető szilícium panelekben a negatív és a pozitív töltések semlegesítik egymást, ugyanakkor a Napból érkező fény, illetve a bennük található fotonok hatására feszültség, elektromos mező jön létre közöttük. Ez az úgynevezett fényelnyelés jelensége, amitől a panelben lévő elektronok gerjesztett állapotba kerülnek. Ekkor jön a töltésszétválasztás jelensége, amikor a napfény által gerjesztett elektronok pozitív-negatív átmenete állandó elektromos teret hoz létre: ez szétválasztja egymástól a pozitív és negatív töltésű részecskéket, amelyek mozogni kezdenek [2]. A két típus megjelenésében is könnyen megkülönböztethető, ugyanis a polikristályos cellái kékes, míg a monokristályosé szürkés, feketés árnyalatúak. A vékonyfilm elem lényege, hogy a félvezető réteget gőzöléses technikával viszik fel a hordozórétre, amely lehet műanyag, üveg, acél, stb. Jellemzőjük, hogy vékonyak, tagolatlan megjelenésük, rugalmasak és egységes fekete színük van. Hatásfokuk elmarad a kristályos elemektől (6-8%-kal), de ezek a napelemek képesek a legszélesebb fény spektrumot hasznosítani. A magas hőhatással szemben érzékenyek, alacsony hőmérséklet esetén pedig romlik a hatékonyságuk.

Mivel a kristályos napelem panelek jellemzően robusztusabb, a tetőhéjazat külső megjelenését uraló elemek, ezért a gyártók próbálták a napelem paneleket beintegrálni a tetőhéjazatba, aminek egyik eredménye a napelemmel ellátott tetőcserepek lettek. A cserepekbe ágyazott napelemes rendszer hátránya a könnyű felforrósodás és teljesítmény csökkenés, ami a hagyományos kialakítással ellentétesen a nehéz szellőzés eredménye. Amennyiben a létjogosultságát az elkövetkezendő időszak beigazolja, akkor a műemlékvédelem alatt álló épületek felújítása, korszerűsítése után, jelentősen több ilyen rendszerrel találkozhatunk.

2.3 Inverterek

A Napban végbemenő magfúziós folyamatok energiát hoznak létre, amelyek elektromágneses hullámok formájában éri el bolygónkat. A panelek az energiát begyűjtik és egyenárammá (direct current = DC) alakítják át. Annak érdekében, hogy ezt a villamos energiát a fogyasztói hálózatban fel tudjuk használni, váltakozó árammá (alternating current = AC) kell transzformálni. Ezt a transzformálást végzi az úgynevezett inverter. Az átalakítás mellett az inverter másik feladata a napelemből kinyerhető teljesítmény maximalizálása, azaz folyamatosan a lehető legtöbb energiát kell kinyernie a napelem panelekből. Üzem mód szerint megkülönböztetünk: hálózatra kapcsolt, sziget üzemű (akkumulátorost), és hibrid kivitelűt. A *hálózatra kapcsolt inverter* (mint ahogy a neve is mutatja) összeköttetésben van az elektromos közműhálózattal. Mivel a napelemből a Nap járása, valamint az időjárási viszonyok (elsődlegesen a felhőzet mértéke) miatt változó erősségű és feszültségű elektromosság érkezik, ezért szükséges a hálózat szenzoros figyelése, valamint folyamatos módosítása. A *sziget üzemű inverter* lényege, hogy a hálózatról lekapcsolódva, attól függetlenül tudjon működni. Erre úgy képes, hogy a napelemek által termelt elektromosságot energiataroló egységben tartalékolja. Ez alatt általában egy 24 V-os akkumulátort értünk. Jellemzően olyan helyeken kerül telepítésre, ahol nincs kiépítve elektromos közműhálózat, például hétvégi házak, nyaralók esetében. A *hibrid inverter* az akkumulátorok mellett képes a hálózati feszültségről is működni és egyben tölteni az akkumulátorokat is.



1. kép: A rendszer működésére utaló piktogramok az épület bejáratánál (Forrás: ld. [3])

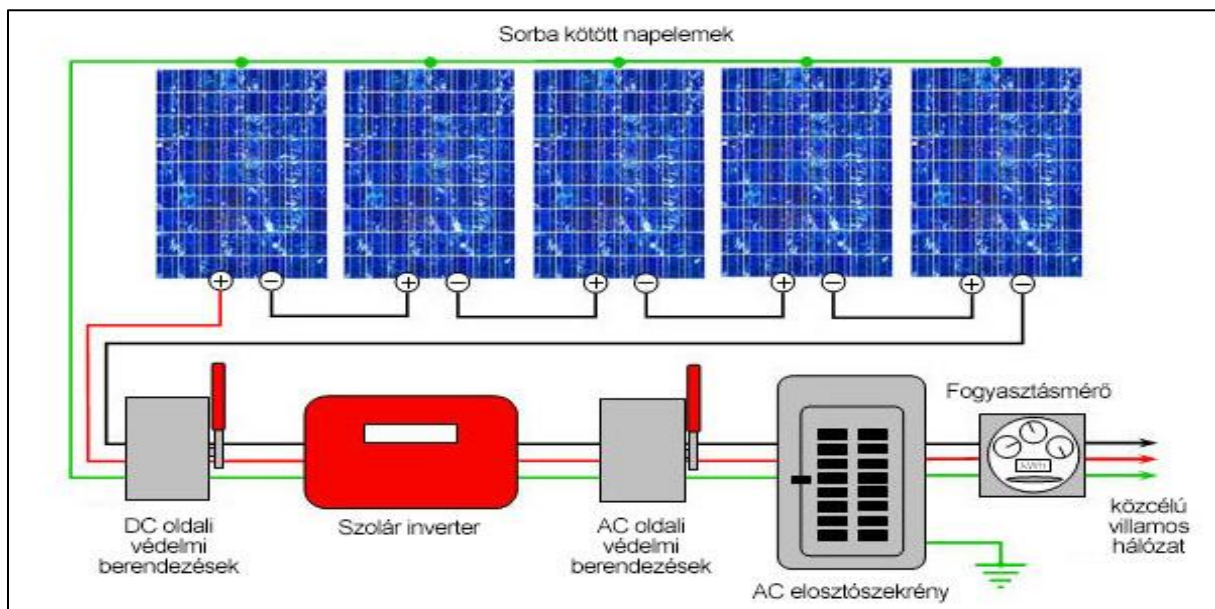
2.4 Teljesítmény optimalizálók

A hagyományos rendszerek paneljei sorban vannak kötve, amelyek egy „napelem fűzért” (sztringet) alkotnak. A sztringen belül a modulok nem függetlenek egymástól, vagyis a legkisebb teljesítményű napelem befolyásolni tudja a hatékonyságot. A teljesítmény csökkenése azokban az esetekben fordul elő, ahol a napelemet árnyék éri, vagy a felülete bekoszolódik. Az egyes napelem modulok közötti teljesítménykülönbségek kiküszöbölésének egyik formája az, hogy minden napelemhez tartozik egy DC oldali optimalizáló, amely önálló kapcsolatban áll az inverterrel [4]. A teljesítményoptimalizáló nem más, mint egy egyenáram-egyenáram oldali átalakító elektronika, amely elhelyezkedhet a napelem tartószerkezetén, vagy közvetlenül a panelek hátulján is.

Napelem parkok esetén előfordulhat, hogy nem minden napelemre, hanem minden másodikra szerelnek optimalizálót, amely a nagy léptéknek tudható be. A teljesítmény optimalizáló tulajdonságai közé tartozik a fokozott biztonság megőrzése, amely abban nyilvánul meg, hogy amennyiben a rendszer anomáliát észlel (rendszerhiba, magas hőmérséklet, stb.), akkor az eszköz 1 V-ra redukálja a feszültséget. Ez nagyban segíti a panel cseréjét, vagy a kárelhárítási munkákat. A rendszer szerelésénél szintén hasonló a helyzet, ugyanis az optimalizálók az inverterrel kommunikálnak, azaz az inverter kikapcsolásával szintén csökkenthető a feszültség. Jelenleg a tűzvédelmi szabályozások nem engedik meg az eszköz önálló tűzeseti lekapcsolóként történő alkalmazását [5]

2.5 AC és DC oldali védelmi berendezések

A napelem rendszer biztonsági berendezései az inverter előtt (DC oldalon) és az inverter után (AC oldalon) helyezkednek el. A védelem kettős célú, amely szolgálja a villámvédelmet és a túlfeszültség elleni védelmet is. Az inverter és a hálózat közé túlfeszültségvédelmet és kismegszakítót kell telepíteni, amellyel a hálózat védve van a napelemes rendszer esetleges meghibásodásától. Emellett a karbantartás ideje alatt, de a hálózatban esetlegesen fellépő hibák, zárlatok sem tehetnek kárt a napelemes rendszerben.



2. kép: Az inverter előtt és után elhelyezett védelmi berendezések (Forrás: ld. [6])

Néhány újabb generációs inverterbe már beépítésre került egy DC teljesítménykapcsoló, valamint opcióban létezik még a DC túláram elleni védelem is [7]. Az egyenáram oldali vezetékek lekapcsolására vonatkozó követelményének kielégítésére elfogadható műszaki megoldás az inverterbe épített DC oldali leválasztás, ha az adott egyenáram kábel épületbe való belépési pontjától indulva 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. Ha ebből bármelyik feltétel nem teljesül, akkor a DC kábelszakaszon leválasztás elhelyezése szükséges. A leválasztás elhelyezése lehetséges az épületen kívüli és az épületen belüli kábelszakaszon is [8]. Ha ebből bármelyik feltétel nem teljesül, akkor a DC kábelszakaszon leválasztás elhelyezése szükséges. A leválasztás elhelyezése lehetséges az épületen kívüli és az épületen belüli kábelszakaszon is [9].

2.6 Szolár kábelek

A rendszer többnyire láthatatlan és jelentéktelennek tűnő részét a kábelezés adja. Főbb jellemzőik a teljesség igénye nélkül a kinti és benti alkalmazhatóság, halogénmentesség, lángállóság, kettős szigetelés, tág hőmérséklet tűrési tartomány, mechanikai szilárdság, vegyszerállóság [10]. A tüzeseteket gyakori okozói a rossz minőségű csatlakozók (MC4) és a kábelek, amik a tűz teljes tetőszerkezetre történő áttéréjét is segíthetik. A silány minőségű és hanyag kivitelezés miatt életveszélyes helyzet is kialakulhat, valamint jelentős anyagi kár keletkezhet.

3. AZ ÁRAMÜTÉS EMBERI SZERVEZETRE GYAKOROLT HATÁSA

A beavatkozások során a legnagyobb veszélyforrást az áramütés jelenti. Annak érdekében, hogy a későbbiek során vizsgált kísérleti eredményeket megérthessük, számszerűsíteni kell azon feszültségi értéket, amely az emberi szervezetre súlyos, vagy akár halálos veszélyt jelent. Itt kell külön választanunk az egyenáram és a váltakozó áram okozta élettani hatásokat. Mivel a beavatkozó állományra a napelem panelből kilépő egyenáram jelenti a legnagyobb veszélyt, ezért az egyenáram hatásait vizsgáltam.

ÉLETTANI HATÁS	ÁRAMERŐSSÉG (mA)
gyenge rázás érzése	2 - 6
mozgást nem akadályozó rázás érzése	8 - 10
fájdalmas izomgörcs, a személy a vezetőt még el tudja engedni	60 - 70
erős fájdalom, szabálytalan szívműködés, légzőizmok görcse	80 - 90
eszméletvesztés	110 - 140
szívbénulás (azonnali halál)	300 - 500

1. táblázat Az egyenáram során fellépő áramerősség élettani hatásai (Forrás: ld. [11])

Véleményem szerint azt az értéket kell alapul venni, amelynél kisebb fájdalmak és izomgörcsök árán, **de a személy még el tudja engedni a vezetőt**. Ezt a fenti táblázatban pirossal jelöltem, amelynek értékét a biztonság javára az alsó határértékként feltüntetett 60 mA (0,06 A) értékben határozom meg. Ha az áramerősség ismeretében meg akarjuk tudni, hogy a váltakozó áramot tekintve mely feszültségi érték veszélyes az emberi szervezetre, akkor Ohm törvényéből kell kiindulni, amely az alábbi:

$$R = \frac{U}{I}$$

ahol :

R = ellenállás (mértékegysége: Ω),

U = feszültség (mértékegysége: V),

I = áramerősség (mértékegysége: A).

Az egyenletet átrendezve a feszültséget megkapjuk:

$$U = R * I$$

Ha az emberi test ellenállását, a számítások során is alkalmazott 1000Ω –nak feltételezzük, akkor:

$$U = 1000 * 0,06 = 60 V$$

Természetesen ez a szám nem egy pontos érték. Egyértelműen nem jelenthető ki, hogy 60 V felett illetve alatt veszélyes vagy nem veszélyes a feszültség.

A számítás csak egy iránymutatás, annak megértésére, hogy a napelemes rendszerben mért középfeszültség hogyan viszonyul az emberi testhez, ezáltal könnyen beláthatóak a jelentkező veszélyek súlyosságai.

4. A NAPELEMEK FESZÜLTSGMENTESÍTÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI

Az alábbiakban megvizsgálom, hogy az elvégzett kísérletek és a hazai beavatkozások tapasztalatai alapján milyen módszert tartok hatékonynak a feszültség csökkentésének elvégzésére. Dolgozatom során felhasználtam a Mátrai Erőmű visontai telephelyén 2021. június 17-én lezajlott, majd a későbbiekben publikált vizsgálati tapasztalatokat [12], több külföldi ország tűzoltósága által szervezett, valamint saját magam által elvégzett kísérleteket.

4.1. Takarás fóliával

A visontai tesztek végzése során a napelemek takarását elsősorban fóliával végezték. Ez a fólia egy fényvédő fólia, amely a tűzoltó takarókkal ellentétben hőálló tulajdonságokkal nem rendelkezik. A vizsgálat előtt a napelem kivezető kapcsainál **23,5 V**-ot, míg a letakarás után **5 V** feszültséget mértek. A takarót emberi erő, vagy különleges szerek alkalmazásának a segítségével vagyunk képesek a felhasználási helyre juttatni. A magasból mentő szerek daruzási képességeiket kihasználva a takarás megoldható, abban az esetben, ha a daruzáshoz és a rögzítéshez szükséges megfelelő kialakítású fülek állnak rendelkezésünkre.

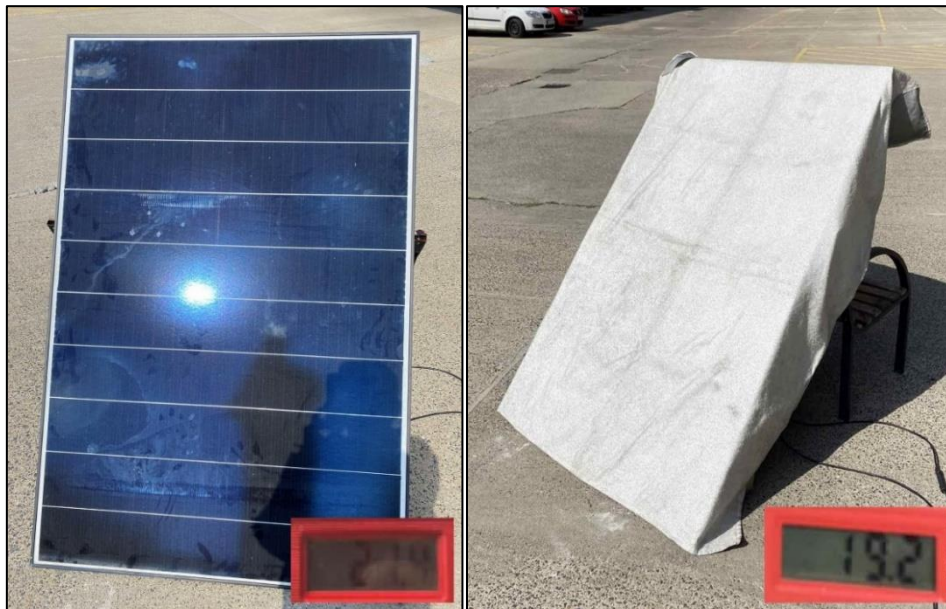


3. kép: Takarófólia daruzása létraszer segítségével (Forrás: ld. [13])

Amennyiben a tetőre kézi erővel szeretnénk feljuttatni, figyelniük kell a tető héjazatának anyagára. A bádoggal, illetve lemez fedésű tetők nem csak az áramütés veszélyét növelik, hanem sérülésük esetén megvágják a tűzoltó takarót, amelynek ezáltal csökken a hatékonysága. Jelentős veszélyt képez az a körülmény, ha a fóliába belekap a szél és vitorlaként viselkedve lesodorja a tetőn tartózkodókat. Véleményem szerint nagyon szűk körben alkalmazható, azon belül is csak a napelemekkel kapcsolatos műszaki mentéseknél.

4.2. Takarás takaróval

A hazai gépjárműfecskenedőkön elhelyezésre kerültek egyszerű háztartási felhasználású takarók, melyeknek céljuk, hogy a közúti balesetben a roncsolódott karosszériába szorult személyek mentésénél letakarással lehessen védeni a sérültet a további veszélyektől, ami a kimentés során érheti (pl.: éles felületek, stb.). Fontosnak tartottam kipróbálni, hogy ezekkel a takarókkal történő letakarás is ugyanolyan hatékonysággal rendelkezik-e mint, a kísérletek során felhasznált fóliák. A gyakorlat során a napelem kivezető kapcsain **21,4 V**-ot, míg a takarást követően **19,2 V** feszültséget mértem.



4. kép: Takarófólia daruzása létraszer segítségével (készítette: a szerző)

A kísérlet megfigyelései jelentősek, ugyanis bizonyítást nyert, hogy a takarásra csak a magas fénykizáró képességű takarók/fóliák alkalmasak. Az általam használt takarók szövete között a napfény ugyanúgy elérte az energiatermelő felületet, aminek köszönhetően a feszültség csökkenése minimális volt. **Fontosnak tartom felhívni az állomány figyelmét, hogy a takaróval, pokróccal történő letakarás hatékonysága csekély.**

4.3. Takarás oltóhabbal

A nehézhabbal történő „lefedés” szintén olyan módszer, amelyet számos országban megpróbáltak alkalmazni szimulációs környezetben. A Visontán végzett tesztek előtt a napelemek kapcsain **24,2 V**-ot, a takarás végén pedig **20 V** feszültséget mértek. A feszültség csökkenése minimális volt, ami azzal magyarázható, hogy a nehézhab a napelemek dőlésszöge miatt lecsúszott a felületről, valamint a hab nem homogén szerkezete miatt fényáteresztő.

A tapasztaltakat kiegészítve a napelem panelek vízzel történő reakcióját is vizsgálták. A teszt alkalmával a napelem kapcsain **23,5 V**-ot mértek, majd a vízsugárral történő beavatkozás után a feszültség **25,2 V**-ra emelkedett. A történetek magyarázata a hőmérséklet-feszültség kapcsolatából eredeztethető, ugyanis a hőmérséklet növekedésével a napelem panelek felforrósodnak, ezáltal teljesítményük visszaesik. Amennyiben a panelek lehűlnek (vízzel való locsolás) a teljesítményük megnövekszik. Nagyon fontosnak tartom, hogy ezzel a ténnyel tisztába legyünk, ugyanis befolyásolhatja, hogy a káreset felszámolásának mely szakaszában használjuk a vizet, mint oltóanyagot.

4.4. Takarás festékszóróval

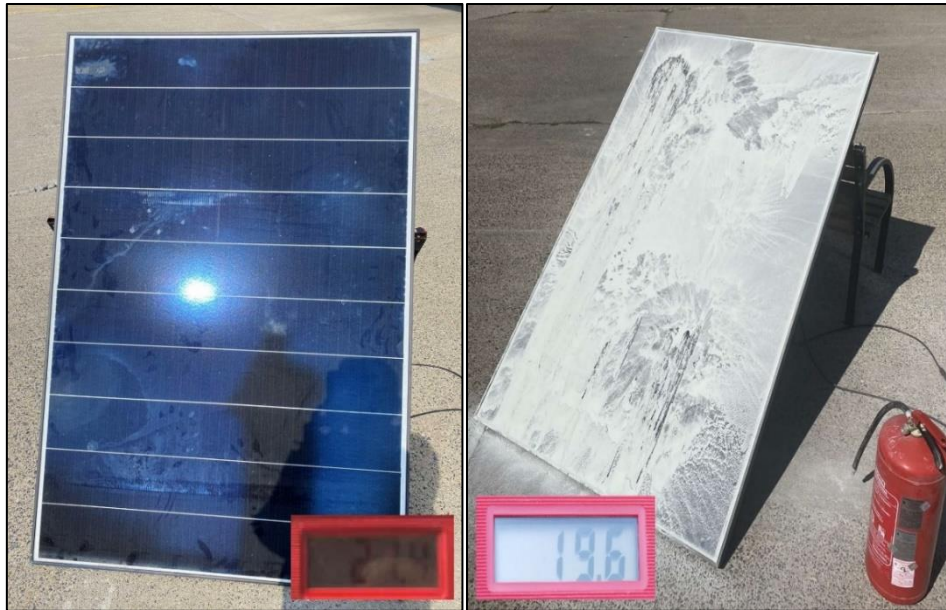
A feladathoz egy egyszerű, háztartási használatra árusított fekete színű festékszórót használtam. A teszt előtt a panelekből **21,4 V**-t, majd a felület szisztematikus lefújása után **18,5 V**-t feszültséget mértem. A várakozásokkal ellentétben meglepő eredmény született, ugyanis a festék nem eredményezett magas feszültségcsökkenést. További tapasztalatom az volt, hogy a festék száradásával párhuzamosan a feszültség értéke csökkent, de jelentős idő (20-30 perc) kellett hozzá. Vélhetően, ha vastagabb rétegben visszük fel a festéket a felületre, a csökkenés már jobban érzékelhetőbb, de a száradási idő jelentősebb. A kísérlet során bebizonyosodott, hogy gyenge szélmozgás esetén is a festék jelentős része nem jut el a felületig. Meglátásom szerint a festékek gyúlékony tulajdonságuk miatt egyáltalán nem alkalmasak, használatukat káreseti felhasználásra nem javaslom.



5. kép: Feszültségmérés a napelemek festékekkel történő lefújását követően (készítette: a szerző)

4.5. Takarás oltóporral

A napelem hatékonyságát nagyban csökkenti, ha a felület szennyezett, amit a felületre lerakódott finom szemcsés por eredményez. Ezt a megfigyelést felhasználva saját magam végeztem el azt a kísérletet, amelyben kézi tűzoltó készülékről oltóport juttattam a panelek felületére. Előrejelzésem a kísérlettel kapcsolatban az volt, hogy a por finom szemcséinek köszönhetően leperreg az üveg felületről, ezáltal minimális feszültség csökkenés érhető el. A teszt előtt a napelemen mért feszültség **21,4 V**, majd a beavatkozás után ez **19,6 V**-ra csökkent. A várakozásokkal ellentétben a por nem teljesen pergett le a felületről, de hatékonysága valóban csekélynek mondható.



6. kép Feszültségmérés a napelemekre fújó oltóport követően (készítette: a szerző)

További nehézség a megtapadt oltópor felületen tartása, ugyanis már közepes szélereősségnél is számolni kell azzal, hogy a finom szemcsés bevonat vastagsága csökken. A por tapadását vizes felületen is vizsgáltam, számítva a por összecsomósodására. A teszt során a kezdeti **21,4 V** pár másodperc elteltével **19,6 V**-ra csökkent. Ez a feszültség magasabb, mint az előzően mért érték, ami a már említett hőmérséklet-feszültség kapcsolatnak miatt jöhetett létre.

4.6. Mechanikai roncsolás

A napelemes rendszerek környezetében történő beavatkozások során számtalan esetben hallani azt a tévhitet, hogy ha a sorba kötött panelek egyikét mechanikus módszerrel roncsoljuk, akkor a feszültség is megszűnik. Ezt az állítást az említett gyakorlaton sikeresen megcáfolták, amikor a panelt roncsolásos módon tették tönkre. A sérülés előtt és után is a feszültség változatlan maradt (**23,5 V**). Ennek magyarázata az, hogy nem csak a panelek vannak sorba kötve, hanem a panelokat alkotó cellák is. Ezáltal több cella sérülése sem okozza a teljes panel leállítását.

4.7. PV Stop eszköz használata

Több innovatív találmány és fejlesztés került előtérbe az elmúlt években a napelemek tűzeseti feszültségmentesítését illetően. Az általam vizsgált termék nem más, mint az úgynevezett „PV STOP” eszköz, amely megjelenését és működési elvét tekintve megegyezik a jól bevált kézi tűzoltó készülékekkel. Az eszköz lényege, hogy a napelemek takarására szolgáló folyékony polimer anyagot egy nyomástartó edényben tároljuk, amit hajtógáz segítségével, fúvókán keresztül juttatunk a felületre. A gyártói információk alapján 5-10 méterről biztonságosan használható, valamint időjárásálló polimer felületet hoz létre. A nyomástartó edény jellemzően 9 literes kivitelben készül, de el tudom képzelni azt is, hogy a termék elterjedésével nagyobb kiserelésben is találkozhatunk vele. Használat után lehetőség van az anyag eltávolítására, amely a felületről könnyen lefejthető, ezáltal minimalizálja a keletkezett károkat. Tulajdonságai: tűzállóság, nem vezetőképes, gyorsan szárad, környezetbarát anyagú [14]



7. kép A PV Stop gyártói bemutatója egy angliai gyakorlaton (Forrás: ld. [15])

A gyártó kísérletet végzett az eszköz feszültség mentesítő hatásának bemutatása érdekében, amelyről készült videót [16] magam is felhasználtam. A 6 db napelem panel **195 V** feszültséget hozott létre (**1 panel esetén = 32,5V**), majd az anyag felületre történő kijuttatását követően **6,7 V**-ra csökkent (**1 panel esetén = 1,11 V**). Ez egy nagyon jelentős eredmény, amely mutatja az eszköz kiváló hatékonyságát. Több gyakorlati kérdés felmerül a termék használatával kapcsolatban, amelyeket az alábbiakban szeretnék tisztázni.

Mekkora felület letakarására elég 1 db palack?

PV STOP töltetet adó polimer hasonló sűrűségi értékkel rendelkezik, mint a víz (1,02 g/m³), valamint a gyártó megadta, hogy kilogrammonként 5 m² felület lefedésére képes [18], ami a 9 literes kiszerelésnél 45 m²-t jelent. Ez ideális esetnek tekinthető, ahol a szélmozgás alacsony, a kezelő képzett, és a polimer felület mindenhol egyenletes. Véleményem szerint, egy családi ház napelemes rendszerének letakarásához maximum 2 db palack felhasználása szükséges.

Milyen gyorsan szárad meg az anyag, és fejtí ki a hatását?

Száradásához 25°C esetén 4-5 perc szükséges, magasabb környezeti hőmérséklet esetén ez az idő csökkenhet. Ez az adat nem keverendő össze azzal, hogy a feszültség mentesítés 4-5 perc alatt valósul meg, ugyanis a feszültséget másodpercek alatt lecsökkenti. További előnye, hogy a nedves felületen is megtapad, ezáltal a vízzel való oltást követően is alkalmas a felület betakarására.

Káros-e a beavatkozást végzőkre vagy a környezetére az anyag?

A gyártó megjelölése szerint az anyag pH értéke 7 és 8 között van, ami azt jelenti, hogy az anyag semleges, enyhén lúgos (hasonlóan a tengervízhez). Továbbá a Nemzetközi Szabványügyi Szervezet (ISO) által megfelel az ISO 14034:2016 Környezeti Technológia Ellenőrzési szabványnak.

Mennyi időt vesz igénybe az eszköz biztonságos alkalmazásának edukálása?

A PV STOP alkalmazásának és a hazai tűzoltás taktikába történő integrálásának előnye, hogy a kézi tűzoltó készülékekhez hasonló kialakításúak, valamint alkalmazásuk sem tér el jelentősen a megszokott mozdulatoktól. Ezáltal jelentősen csökkenthető az a képzési idő, ami az eszköz kezelésének elsajátítására szükséges, valamint a gépjárműfecskenedőkön történő tárolása a többi kísérletben szereplő eszközhöz képest helytakarékosabb.

5. EREDMÉNYEK ÖSSZEGRZÉSE

A kutatásaimhoz felhasznált, a fentiekben tárgyalt kísérletek eredményeit az átláthatóság érdekében az alábbi egységes táblázatban ábrázoltam. A táblázatban az egyes beavatkozásokat hatékonyságuk szerint csökkenő sorrendben jelenítettem meg. Azokat a módszereket, ahol a beavatkozást követően a feszültség csökkent zölddel, ahol változatlan maradt azt sárgával, ahol pedig nőtt azt pirossal jelöltem.

MÓDSZER	FESZÜLTÉG (V)		HATÉKONYSÁG
	ELŐTTE	UTÁNNA	
PV STOP	32,5	1,11	96,62 %
TAKARÁS FÓLIÁVAL	23,5	5	78,72 %
TAKARÁS HABBAL	24,2	20	16,67 %
TAKARÁS FESTÉKKEL	21,4	18,5	13,55 %
TAKARÁS TAKARÓVAL	21,4	19,2	10,28 %
TAKARÁS OLTÓPORRAL	21,4	19,6	8,41 %
TAKARÁS POR + VÍZ	21,4	19,9	7,01 %
RONCSOLÁS	23,5	23,5	0 %
BEAVATKOZÁS VÍZZEL	23,5	25,2	- 8,62 %

2. táblázat Az egyes beavatkozási módok hatékonyságának összegzése (készítette a szerző)

Meglátásom szerint a tűzoltási és műszaki mentési feladatok során azt a módszert érdemes alkalmazni, amely:

- hatékonysága magas,
- alkalmazása biztonságos,
- könnyen integrálható a hazai tűzoltás taktikába,
- használatához szükséges képzési idő alacsony (1-2 alkalom).

A fenti szempontokat figyelembe véve a fóliára és a PV STOP eszközre szűkítettem a kört. A fólia hátránya a telepítésben rejlik, ugyanis a tetőre juttatása és megfelelő rögzítése a biztonság csökkenését eredményezi. A PV STOP eszköz hatékonysága igen jelentős (96,62 %), a palackban lévő hajtógáz segítségével akár 5-10 méterről is használható. Használata nem különbözik a már megszokott kézi tűzoltó készülékektől, valamint a gépjármű fecskendőkön már kialakított helyen tárolható. Az elmúlt években a napelemes rendszerek környezetében bekövetkezett tüzek és műszaki mentések tapasztalatait figyelembe véve a káresetek felszámolhatók a jelenlegi tudásunkkal és eszközeinkkel. Amiben véleményem szerint változtatnunk érdemes, az a biztonság növelése és a károk csökkentése.

6. KÖVETKEZTETÉS

A napelemes rendszerek környezetében történő tűzoltói feladatok biztonságát növelni szükséges. Ezen feladat globálisan érinti minden ország tűzoltóságát, ezért meglátásom szerint a külföldi tapasztalatok és fejlesztések figyelemmel kísérésére nagy hangsúlyt kell fektetni most és a jövőben is egyaránt. Cikkem első részében célt volt a napelemes rendszer felépítésének, típusainak rövid bemutatása. A tűzoltói beavatkozások során (legyenek azok tűzesetek, vagy műszaki mentések) nagy figyelmet kell fordítani a legnagyobb veszély, a feszültség csökkentésére. A cél elérése érdekében megvizsgáltam, valamint elvégeztem minden olyan lehetőséget, amely egy káreset során rendelkezésünkre állhat. A kísérletek eredményének könnyebb megértése érdekében táblázatba szedtem és sorrendbe állítottam azok hatékonyságukat figyelembe véve. Megállapításra került, hogy a fóliával történő letakarás, valamint az újonnan kifejlesztett „PV STOP” eszköz hatékonysága ér el olyan értéket, amelyekkel érdemes foglalkozni. Mivel a fóliával történő letakarás veszélyes és nem is életszerű, ezért a továbbiakban érdemesnek tartom a „PV STOP” eszközt, vagy a hozzá hasonló elven működő megoldások vizsgálatát. Cikkem következő részében nagy hangsúlyt fogok fektetni az eszköz alkalmazhatóságának bemutatására, valamint beavatkozási javaslatokat teszek az egyes káreseti típusok „PV STOP”-al történő kezelésére, a riasztástól egészen a káreset teljes felszámolásáig.

7. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] *Az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról szóló 54/2014 (XII. 5.) BM rendelet.*
<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1400054.bm> [Online]. Elérhetőség: (2024.06.24.)
- [2] Solar Zone Magyarország Kft. "A napelem Működéséről Érthetően" [Online]. Elérhetőség:
<https://solarzone.hu/a-napelem-mukodeserol-erthetoen/> (2024.03.01.)
- [3] BM OKF Tűzvédelmi Műszaki Irányelv, *Villamos berendezések, villámvédelem és elektrosztatikus feltöltődés elleni védelem (TvMI 7.5:2022.06.13.)* [Online]. Elérhetőség:
<https://www.katasztrofavedelem.hu/application/uploads/documents/2022-04/78644.pdf>
(2024.03.01.)
- [4] Naplopó Kft. "SolarEdge napelemenkénti munkapont-optimalizálók alkalmazása" [Online].
Elérhetőség: <https://www.naplopo.hu/tudastar/szakcikkeink-hasznos-irasaink/napelemes-aramtermeles-2/solaredge-napelemenkenti-munkapont-optimalizalok-alkalmazasa> (2024.06.21.)
- [5] BM OKF Tűzvédelmi Műszaki Irányelv, *Villamos berendezések, villámvédelem és elektrosztatikus feltöltődés elleni védelem (TvMI 7.5:2022.06.13.) 6.4.2. pontja* [Online]. Elérhetőség:
<https://www.katasztrofavedelem.hu/application/uploads/documents/2022-04/78644.pdf>
(2024.06.21.)
- [6] Fotovoltaico. "Come funziona" [Online]. Elérhetőség:
<https://www.fotovoltaiconorditalia.it/idee/fotovoltaico-come-funziona-linstallazione> (2024.06.01.)
- [7] M. Debreczeni, „Fotovillamos energia ismertetése és alkalmazása kompetens partnerrel; Alapismeretek,” 2012.
- [8] BM OKF Tűzvédelmi Műszaki Irányelv, *Villamos berendezések, villámvédelem és elektrosztatikus feltöltődés elleni védelem (TvMI 7.5:2022.06.13.) 6.2.2.2. pontja* [Online]. Elérhetőség:
<https://www.katasztrofavedelem.hu/application/uploads/documents/2022-04/78644.pdf>
(2024.06.01.)
- [9] BM OKF Tűzvédelmi Műszaki Irányelv, [Online]. Elérhetőség: *Villamos berendezések, villámvédelem és elektrosztatikus feltöltődés elleni védelem (TvMI 7.5:2022.06.13.) 6.2.2.3. pontja*

- [10] Balogh Á. " A szolár kábelekről" Villanyszerelők lapja 2013/10. lapszám, [Online] Elérhetőség: <https://www.villanylap.hu/lapszamok/2013/oktober/2586-a-szolar-kabelekr> (2022.03.01.)
- [11] Mészáros G. *okleveles villamosmérnök, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem tanárának előadása alapján a szerző ábrája.*
- [12] Balogi B., Papp Zs. „Gyakorlat egy fotovoltaiikus erőműben –Milyen veszélyek rejtene a napelempanelek?” *Katasztrófavédelmi Szemle*, 2022. 29. évfolyam, 1. szám
- [13] J. Foran "A shock to safety: solar panel risks" 2019. [Online]. Elérhetőség: <https://www.afac.com.au/auxiliary/publications/newsletter/article/a-shock-to-safety-solar-panel-risks> (2022.03.01.)
- [14] User manual PVSTOP for FIRST RESPONDERS, ELECTRICAL TECHNICIANS, PV SYSTEM OWNERS, PV SYSTEM OPERATORS [Online]. Elérhetőség: https://www.pvstop.com.au/wp-content/uploads/2016/03/PVStop-User-Manual-2020_compressed.pdf (2022.03.01.)
- [15] PV STOP "Demonstration Day with the London Fire Brigade at Dagenham Fire Station" [Online]. Elérhetőség: www.facebook.com/pvstop/photos/pcb.5435374979858578/5435374469858629/ (2022.03.01.)
- [16] PV STOP "PVStop Overview & Demonstration video; panel covering and light bulb demonstration" [Online]. Elérhetőség: <https://www.youtube.com/watch?v=wc-qRISs7fo> (2022.03.01.)