https://doi.org/10.31852/EMF.36.2024.011.018

A MAGYARORSZÁGI NAPELEM-SÉRÜLÉSEK LEGGYAKORIBB OKAI ÉS KÖVETKEZMÉNYEI

Fejes Lilian[1, 2], Molnár Szabolcs[3], Czira Tamás[2], Pongrácz Rita[1], Talamon Attila[4]

[1] ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A
[2] EnviAdapt Klíma-és Környezetkutató Intézet Kft., 1145 Budapest, Emília u. 46.
[3] Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület, 1091 Budapest, Üllői út 25. IV/414.
[4] Óbudai Egyetem, Ybl Miklós Építéstudományi Kar, 1146 Budapest, Thököly út 74.
e-mail: fejeslilian@gmail.com

Bevezetés

A napelemsérülések bekövetkezéseinek egyik legfőbb, és legalapvetőbb oka, hogy kültéri objektumokról van szó. Vagyis a napelem működésének sajátosságai miatt a környezeti hatásokkal érintkeznie szükséges, mert a szoláris sugárzás energiáját így tudja hasznosítani, átalakítani. Ezért nem lehetséges, hogy épületbe vagy zárt helyre – a környezeti külső hatásoktól megvédve – telepítsük a paneleket. Kültéri elhelyezkedéseinek tulajdonságaiból következik az is, hogy nincs állandó személyzet a napelem-parkoknál, így a napelemtáblák állandó felügyelete, karbantartása, ellenőrzése időszakosan tud csak megvalósulni, vagyis egy esetleges sérülés – akár rongálás – nem rögtön azonosítható be. Az előfordult – és beazonosított – hibákhoz vezető okokat a következőkben mutatjuk be.

Tervezésből fakadó és telepítéskori rendszereket érintő meghibásodások

Az árnyékolási hatások komoly meghibásodási lehetőségeket gerjeszthetnek a paneleknél. Gyakran előfordulnak nem megfelelő tervezésre visszavezethető hibák is. Azt is figyelembe kell venni, hogy a PV technológia viszonylag új energiaátalakítási technológia Magyarországon és az elsők között létesített PV parkoknál, még nem állt elegendő tervezési tapasztalat a rendelkezésre a hazai szakembereknek. Az egyik ilyen – korábban nem ismert – probléma, a napelem-sorok önárnyékoló hatása. A megfelelő sortávolság megválasztásánál az optimumra kell törekedni. Figyelembe kell venni, hogy december 21-én a legalacsonyabb a napállás Magyarországon. Nem megfelelő méretezés – nem megfelelő sortávolság megválasztása – esetén előfordulhat, hogy maga a napelem-sor árnyékolja le önmagát. Ez a napelem modul felületén heterogén hőmérsékleti eloszláshoz vezethet, amely cellarepedést és a modul tönkremenetelét okozhatja. Az ún. bypass dióda segít rövidzárlat esetén, de az önárnyékolási hibák odáig vezethetnek, hogy a tervezett élettartam előtt tönkremennek a panelek.

Védelmi okokra visszavezethető hibák

Sajnálatosan előforduló károsodási források lehetnek a szándékos rongálásból bekövetkezett sérülések. Alapvetően ezek a sérülések az erőművi környezetben található napelem-parkokban következnek be. A háztartási méretű kiserőművi rendszereknél (HMKE-nél) ilyen jellegű sérülések viszonylag ritkák, illetve csak azok derülnek ki, amelyeket rendőrségi feljelentés követ. Alapvetően – védelmi szempontból – erőművi környezetnek kell minősíteni a napelem-parkokat. Ráadásul a fizikai védelem szervezésének szempontjából nehézség, hogy nincs élőerős személyzet, így az esetleges védelmi beavatkozásokat kivonuló szolgálat

biztosítja. Ezen védelmi feladatok megszervezését bonyolítja, hogy nagyon kevés a külföldi referencia, kisszámú külföldi példa áll rendelkezésre. A naperőműveket külterületi objektumként kell védeni, ami önmagában nagyon nehéz és bonyolult feladat. Alapvetően az a koncepció Magyarországon, hogy a naperőművi telephelyek fizikai védelmét kerítésvédelem és a hozzá kapcsolódó kamerarendszer védi. A kamerarendszer mozgásérzékelőkkel van ellátva, amely esemény hatására aktiválódik. A kamerák forogni is tudnak a tengelyük körül, tehát az erőművi környezetet be tudják látni. Az érvényes GDPR szabályozás miatt azonban a kamerákat úgy kell beállítani, hogy a periféria ne látszódjon. Vagyis egy esetleges szándékos rongálás során – például, ha egy követ behajítanak a kerítés felett, a modulokat célozva – akkor nem látszik az a kamerán, hogy ki dobja a követ, csak maga a sérülés. Kéttípusú kamerarendszer működhet. Az egyik rendszer a látható fényű kamera, amely minden időjárási körülmény között – hóban, esőben, ködben – képes felvételeket készíteni. Ennek a típusú rendszernek előnye, hogy relatíve olcsó. Hátránya viszont, hogy ahhoz, hogy megfelelő felbontású képeket készítsen, túl nagy adatforgalommal dolgozik. A másik típusú kamerarendszer a termokamera. Ez technikailag kedvezőbb megoldás, azonban ennek a beruházási költsége lényegesen magasabb, mint a látható fényű kamerának. A mozgásérzékelős kamerarendszernek nagy hátránya, hogy bármilyen mozgásra riasztást ad. Vagyis, ha például a szél egy nejlonzacskót arra fúj, akkor azt már mozgásnak érzékeli a kamera, és riasztási jelet ad. Ezenkívül, ha bizonyos időjárási események miatt bekövetkező téves eseményeket ki szeretnénk szűrni, akkor megfelelően stabil, merevtáblás kerítésre lenne szükség. A nagyobb szél bemozgatja a gyenge, nem megfelelő alapokkal rendelkező kerítéseket és ezzel együtt mozog a kamera, amely sok esetben téves riasztást mutat. A merevtáblás kerítés csökkentené a téves riasztások számát, azonban az ilyen típusú kerítéseknek lényegesen magasabb a beruházási költségük. A fenti problémák kiküszöbölésére alkalmazhatók a hőkamerás rendszerek, amelyek az időjárási hatásoknak kevésbé vannak kitéve, azonban hátrányuk, hogy lényegesen drágábbak is.

Hazai viszonylatban az illetéktelen behatolás és a lopás nem jellemző esemény, a rongálási események száma gyakoribb. A napelemparkok jelenleg ún. proaktív védelemmel vannak ellátva, amely azt jelenti, hogy ha rongálás van, akkor kivonuló szolgálat látja el a napelempark ellenőrzését. Nagyobb biztonságot jelent(ene) a reaktív védelem kialakítása. Ez azt jelenti, hogy ha például egy park kapujának nyitásérzékelője bejelez, akkor ad le riasztást a rendszer. Ehhez viszont felügyeleti szoftver társítása is szükséges, melyek biztosítják a folyamatos ellenőrzés lehetőségét. Amennyiben nincs kialakítva felügyeleti szoftver, és csak egy helyi rögzítő épül ki, ha az meghibásodik, akkor nem is szerzünk tudomást arról, hogy tönkrement a rögzítő, és nem lesz információnk a parkban történő eseményekről sem. A napelemparkok magasabb szintű védelmét jelenti az infrasorompós védelem. E rendszer hátránya, hogy a telek kihasználtságát csökkenti, mert az infrasorompó a kerítéstől 2-3 méteres sávnyi terület üresen hagyását igényli. Vagyis a telekből területet venne el, és így kisebb területre lehetne napelemeket telepíteni. Hazai sajátosság, hogy sok, széttagolt naperőművi park van, így ez a védelem szempontjából nem költséghatékony. Külterületi objektumokról és nagyszámú parkokról lévén szó, védelmi szempontból nehéz hatékony kivonuló szolgálatot megszervezni.

Gondatlanságból bekövetkező sérülések

Magyarországon az egyik leggyakoribb panelkárosodási ok a zöldterület karbantartására visszavezethető sérülések, vagyis a fűnyírásból eredő meghibásodások. Ráadásul ezen okból keletkező károsodások nagy része gondos karbantartói magatartással elkerülhető. A fűnyírási karbantartási tevékenység – sok esetben – elkerülhetetlen eleme a napelemparkok üzemeltetésének. A magasra növő fű, a magas növényzet részleges árnyékolást okozhat a

napelem modulokon, ami heterogén hőmérsékleti eloszláshoz vezethet. Tehát a füvet meghatározott időközönként le kell vágni.

A zöldfelület-karbantartási tevékenységek folyamán a géppel – elsősorban a fűkaszákkal – történő fűnyírás során a felverődő kövek betörhetik a napelem modulok első üvegeit. Úgy lehet megkülönböztetni a kőfelverődésből származó károkat a jégesőből adódó sérülésektől, hogy a fűnyírásból eredő rongálódások egyrészt csak pár modult érintenek – a jégesőből bekövetkező káresemény során több panelt érintene a károsodás –, másrészt a fűnyírásból felverődő kövek elsősorban az alsó sorokban elhelyezkedő modulokat érintik. A zöldterület karbantartásából adódó hibák nem csak a felverődő köveket jelentik (King et al., 2000). Előfordulnak olyan napelem-sérülések is, amelyek a fűnyíró eszköz napelempanelnak történő ütközéséből adódnak. Vagyis nekitolják a fűnyírót a panelnek, és ebből következik be törés, vagy esetleg a napelem modul elülső üvegének karcossága azonosítható be. A fűnyírásból eredő károkat – amennyiben az egyértelműen bizonyítható, hogy a zöldfelület karbantartási tevékenységéből következett be – legtöbb esetben a fűnyírást végző vállalkozó megtéríteni köteles. Több esetben vezethető vissza gondatlanságra a zöldfelület karbantartásból eredő sérülés. A fűnyírást végző vállalkozó(k) nem a megfelelő eszközzel végzi(k) a munkálatokat. Hiába áll rendelkezésükre a megfelelő fűnyíró eszköz a zöldfelület karbantartási tevékenységhez, gyakran nem a megfelelő szerszámokat választják a vállalkozók, mert a másik eszközzel esetleg gyorsabban elvégezhető a munka, még annak ellenére is, hogy azzal nagyobb a sérülés kockázata.

Fűnyírásra visszavezethető hibák lehetnek még a tartószerkezeti lábak felületén okozott sérülések, amelyeket a fűnyíró kaszák okoznak. Ezzel – ha nem is azonnal bekövetkező, szemrevételezéssel megállapítható sérüléseket okoznak –, a tevékenységet követően, időben később jelentkező sérüléseket okozhatnak a tartószerkezeteken. Így a tartószerkezet állékonyságának az elvesztése, gyengülése nem vezethető vissza közvetlen a fűnyírásra. Míg egy felverődő kő okozta sérülés könnyen igazolható – előtte/utána állapot összehasonlításával –, addig az időben később jelentkező (akár évekkel későbbi) meghibásodás nem vezethető vissza a fűnyírásra utaló károsodást kiváltó eredetre.

Külön meghibásodási forrásnak kell megemlíteni a szállítási, szerelési és a kivitelezési hibákat. Magyarországon is többször előfordult, hogy az említett tevékenységek közben megfeszülnek a panelek. Ezek a feszültségek olyan mikrorepedéseket okozhatnak, amelyek szemrevételezéssel nem észlelhetők. Jellemzően a mikrorepedések a téli hónapokban tovább repedhetnek, és a napelemek tönkremeneteléhez vezethetnek.

Külön kell említsük a kivitelezési hibákból eredő sérüléseket és meghibásodásokat. Ugyanakkor arra is figyelemmel kell legyünk, hogy ezek a meghibásodások – a legtöbb esetben – nem az üzemeltetőt terhelik. Vagyis az ilyen irányú károkat a kivitelezőnek, a szerelőnek kell megtéríteni. Ezek közül – bár első olvasásra talán furcsának tűnik –, az egyszerűbb csoportba tartoznak az azonnal jelentkező hibák. Ilyenre példa, ha a kivitelezés során elejtenek egy szerszámot és az betöri a panel üvegét. Ezek a hibák azonnal beazonosíthatók, és ilyen esetben elkerülhetők a későbbi jogviták. Természetesen ebben az esetben sérülten nem veszi át a panelt az üzemeltető. Gyakori eset, hogy nem azonnal beazonosítható módon következik be a panel sérülése, mert például „csak” mikrorepedés keletkezik a cellában. Ezen esetben a panel teljesítménycsökkenéssel járó meghibásodása, végső esetben tönkremenetele csak később következik be. Ilyenkor nehéz a sérüléshez vezető okot pontosan beazonosítani.

A természeti környezet és a meteorológiai jelenségek által okozott meghibásodások

Fontos kiemelnünk azt is, hogy nemcsak közvetlenül a napelem modulok sérülhetnek meg, hanem például a tartószerkezetek is. A hordozó szerkezet sérülése és meghibásodásai

ugyanúgy a napelemek teljesítménycsökkenéséhez és akár a napelem modulok tönkremeneteléhez is vezethetnek. Gyakran előforduló hiba, hogy a tartószerkezet sínszerkezeteiben télen a pára kondenzálódhat. Ezt úgy lehet kiküszöbölni, hogy a sínszerkezetet műanyag kupakokkal le kell zárni. Ezzel nemcsak az akadályozható meg, hogy cseppfolyós halmazállapotú közeg kerüljön be a sínszerkezetbe, hanem a rovarok ellen is védeni tudjuk a sínt. Megakadályozható az, hogy rovarok költözzenek be a sínbe, és ott bármilyen károsodást okozzanak. A sínszerkezetbe bejutó víz, pangó víz formájában, tartósan a szerkezetben maradhat, amely télen, alacsonyabb külső környezeti hőmérséklet esetén megfagyhat, és szétfeszítheti a tartószerkezetet. Meg kell említeni azt is, hogy a piacon található tartószerkezetek között jelentős minőségi különbségek vannak.

A tartószerkezet integritásához kapcsolható további közvetett meghibásodási lehetőségek a csapadékos időszak utáni talajintegritási problémák. A vízmosások kimoshatják a tartószerkezetet, ha az nem megfelelően lett megtervezve. A tartószerkezet állékonyságának csökkenése a napelemcella sérülékenységét növeli kifejezetten akkor, ha egy felázott talaj esetén gyengült a tartószerkezet állékonysága, és ezt egy nagyobb erejű szél terhelő hatása követi. A megmaradó, pangó víz olyan problémákat is okozhat, hogy a feszültség alatt álló berendezések víz alá kerülhetnek. Ez előfordulhat úgy is, hogy nem csak kifejezetten a napelem modulok, illetve azok közvetlenül kapcsolódó alkatrészei kerülnek víz alá, hanem transzformátor-állomásoknál nem megfelelő tervezés esetén a transzformátorba befolyik a víz. Kiemelten kell kezelni az esetleges jégkár, illetve a tapadó csapadékok terheléséből bekövetkező sérüléseket. Ezen okból bekövetkező sérülések azért kiemelten fontosak, mert egy intenzív jégeső nem csak egy-egy panelban okoz egyedi sérülést, hanem a napelempark jelentős részében kárt okoz. Amennyiben jégeső következtében olyan károsodási esemény következik be, hogy egy több ezer panelből álló parkban pár darab modul sérül csak meg, akkor a megsérült paneleknél valószínűsíthetően már korábban a cellákban mikrorepedések voltak, amelyek addig nem kerültek beazonosításra (Herrmann & Bogdanski, 2011). Hazánkban ezidáig sem jégkárból származó, sem hóterhelésből származó meghibásodást nem azonosítottak be. A hóterhelés azért sem okoz nagy problémákat hazánkban, mert viszonylag nagy dőlésszöggel vannak telepítve a panelek. Tehát viszonylag rövid ideig okoz tapadó csapadék formájában terhelést a hó, ugyanis hamar lecsúszik a panelekről. A jégesőből adódó – erőművi méretű – káresemény nem volt jellemző eddig hazánkban. Ennek oka, hogy a paneleket elsősorban a szél- és jégeső terheléseknek való ellenállása miatt megfelelő külső hatásoknak való ellenállás szempontjából méretezik. Vagyis meghatározott külső terhelésnek ellen kell álljanak, amelyet az *1. táblázat* mutat be. A táblázatban bemutatott terhelési értékeknek való megfelelést, a gyártás során kivétel nélkül tesztelik is a paneleknél.

1. táblázat: Az ASTM E1830-15 szerinti ellenállási teszt paraméterek [1 – ASTM].

Modul oldala	**Ellenállás nyomása [Pa]**
Első oldal	5400
Hátsó oldal	2400

Gyakran előforduló hiba a por, állati ürülék szennyezettségéből bekövetkező sérülés. Ezen hibák gyakorlatilag árnyékolási problémáknak azonosíthatók be, amelyek következtében az árnyékolás rövidre tudja zárni a cellákat. Az állati ürülékek közül gyakori a madárpiszok okozta lokális árnyékoló hatás, amelyek következtében zárlat következik be, és ez cellahibához vezet. Az árnyékoló hatás olyan súlyos mértékű is lehet, hogy akár zárlatot és tűzveszélyt is okozhat. Emiatt a parkok folyamatos ellenőrzéséről gondoskodni szükséges.

Magyarországon a súlyos aszályos időszakok jelentenek problémát, amikor tartósan nincs eső, és nem tudja a csapadék lemosni a paneleket. Az átlaghőmérséklet emelkedése hosszú távon nem előnyös a napelemparkok működési stabilitását tekintve. Az inverterek gyakran

passzív hűtésű inverterek, és a melegebb környezet hatására csökken a teljesítményük. A magasabb átlaghőmérséklet csökkenti az élettartalmát az invertereknek.

Gyakori hibaforrás, hogy a rögzítő bilincsek a hőtágulás és szélnyomás hatására meglazulnak. A napelem a legtöbb esetben hazánkban ún. C sínre vannak felszerelve. Ideális esetben a napelem típusához adott C sínt és rögzítő elemeket alkalmaznak. Sajnos került már beazonosításra olyan eset is, amikor elsősorban gazdasági okból az olcsóbb (és gyengébb minőségű) rögzítést alkalmazták a telepítéskor. A napelem rögzítésekor megfelelő nyomatékkal kell meghúzni a csavarokat és rendszeresen – 6 havonta, 12 havonta – ellenőrizni kell, hogy megfelelően meg vannak-e húzva a csavarok. A nem megfelelően meghúzott modulok a szél hatására kipattanhatnak a rögzítő bilincsből. Ez a hiba elsősorban télen következhet be a hőtágulás miatt. Az alacsony külső hőmérséklet hatására a zsugorodások, valamint a szél terhelő hatása miatt télen tud kimozdulni a panel a rögzítésből.

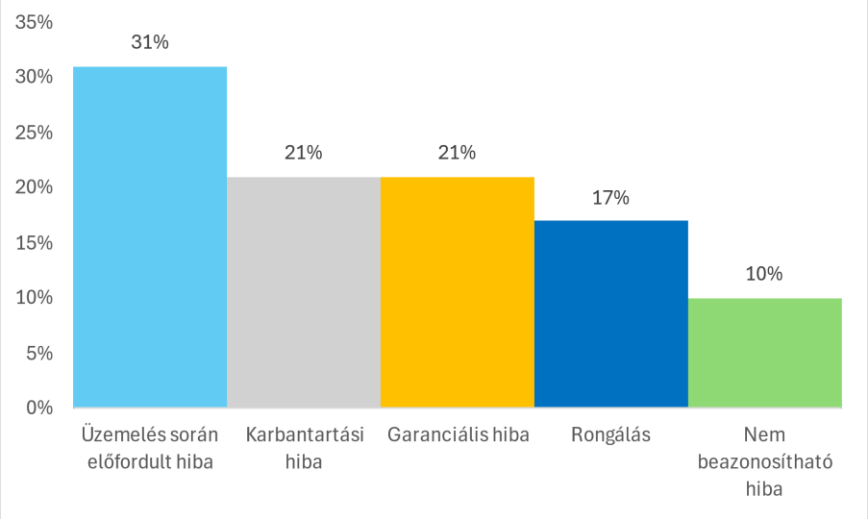
Azt fontos megemlíteni, hogy a legtöbb naperőmű park meteorológiai állomással van felszerelve, ahol több időjárási paramétert mérnek, és a mérési eredményeket archiválják. Az egyik ilyen – számunkra nagyon fontos – paraméter a szél sebessége. Amennyiben egy határértéket meghalad a szél sebessége, akkor utána helyszíni ellenőrzésre van szükség. Vagyis a nagy szélsebességgel terhelt parkot a szél elmúltával helyszíni bejárás során ellenőrizni kell. Ez egyben garanciális feltételként is sok esetben megjelenik a napelem modul szállítója részéről. Azért is fontos a szél terhelése után ellenőrizni a paneleket, mert nem csak attól kell tartani, hogy a szél hatására leszakadnak a panelek, hanem a szél rezonancia hatása is károsodási eseményekhez vezethet. Előfordulhat olyan sérülési esemény bekövetkezése is, hogy a panel nem jól van rögzítve, és a szél berezegteti a paneleket, ami végső esetben a panel kimozdulásához vezethet. Magyarországon még nincs bevezetve a gyakorlatba ilyen jellegű mérés, de értékes információkhoz juttathat minket a napelem panelsorok két átellenes sarokpontjának referencia ponthoz képesti elmozdulásának mérése. Kifejezetten előnyös lenne ilyen jellegű mérést végezni egy nagymértékű szél után. Mivel a panel sátorszerű szerkezet – nem áttört szerkezet –, ezért a szél vitorlavászonként fújhatja a panelsorokat, és így rezonancia hatásként terhelheti a paneleket. Ezért fontos lenne a panelsorok helyzetét megállapítani és mérni.

A hazai meghibásodások összefoglalása

Magyarországon dinamikusan növekszik a naperőmű parkok száma, és egyben a beépített naperőművi kapacitás is. A magyar napenergia termelési portfólióban elsősorban HMKE és naperőművi termelési megoldások vannak. (Naphőerőművek – elsősorban az ország földrajzi adottságai miatt – nincsenek.) Elenyésző számban vannak ugyan még napkollektorok – melegvíz előállítási célt szolgáló berendezések –, de úgy gondoljuk, hogy ezek jövőbeni szerepe csökkenni fog, ezért az ilyen rendszerek sérüléseivel nem foglalkozunk külön. A növekvő portfólió nagyon heterogén összetételű panelparkokat tartalmaz. Vagyis sokféle típusú és sokféle rendszerű panelek vannak üzemben Magyarországon. A beruházás megtérülése szempontjából előnyös, ha minél tovább tudnak üzemelni – hozzávetőleg legalább 25 évig – a telepített modulok. Tehát mindenkinek az az érdeke, hogy ezen üzemelési időszak alatt kevés sérülés következzen be. Kiemelt fontosságúak az időjárási hatások, mivel a napelemparkok tervezési innovációi, fejlődései a jövőnek szólnak. Feladatunk fontosságát és szerepének szükségességét alátámasztja, hogy a napelemparkokat utólagos beruházással nagyon nehéz felkészíteni az időjárási változások okozta növekvő terheléseknek. Ez nemcsak pénzügyi nehézségeket, hanem műszaki korlátokat is jelent. Az eddig bekövetkezett káresemények és az ezekből eredő meghibásodások kis száma olyan alacsony volt, hogy az eddigi események kezelhetők voltak. Ráadásul a beazonosított hibák

okai ellen a napelemparkok nagy része biztosítva is volt, és biztosítási kárrendezéssel az érintett paneleket lecserélték.

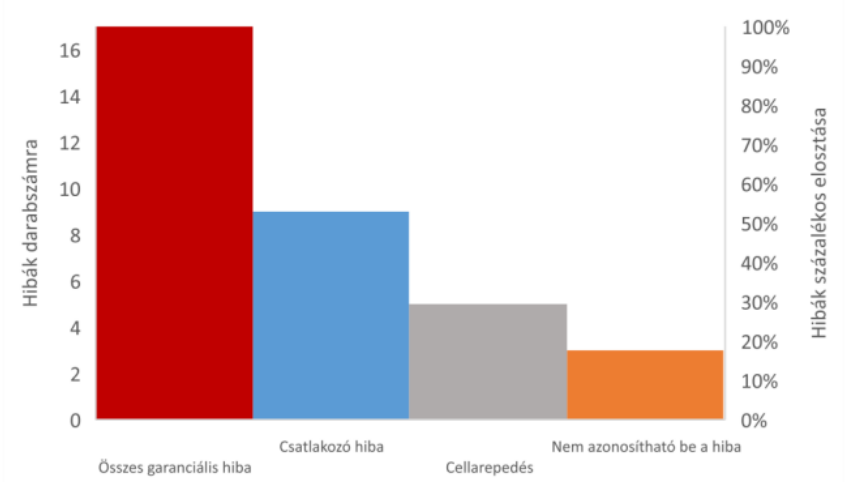
A megvizsgált káreseményeknél azt tudni kell, hogy az erőművek üzemeltetői a műszaki átadás során csak az elvben 100%-ig hibátlan, működőképes paneleket veszik át (*1. ábra*). Vagyis például a kivitelezés során megsérült paneleket – ráejtett szerszám, a kivitelező rálép a panelra stb. – a későbbi üzemeltető nem veszi át, vagyis üzemeltetési oldalról a szerelés, kivitelezés során megsérült panelek nem számítanak sérülésnek. Ugyanakkor azzal a ténnyel is tisztában kell legyünk, hogy a szerelést követő panelállapotok és az üzem kezdetekori panel állapota között áthatás van. Amennyiben például a szerelés vagy a szállítás során a cellában mikrorepedés keletkezik, ami az üzemeltető számára rejtve marad, az a későbbiekben okozhat üzemviteli problémát, sérülést. Magyarországi viszonylatban, általánosságban elmondható, hogy egy naperőmű üzembevétele utáni három évben viszonylag sok hibás panel kerül beazonosításra egy-egy naperőműben. Ezen sérülések nagy része gyártási sérülésből származó panelhiba. Ilyen tipikus sérülés, amikor a frontoldali üveg összetörik a mechanikai feszültségek miatt, ami vagy a fémkeretek hőmérsékletváltozásából – hőtágulásából – adódó mozgásból, vagy az üvegben a gyártás során maradó feszültségből származik.



1. ábra: Beazonosított naperőművi panelsérülések és azok megoszlásainak átlagos értékei.

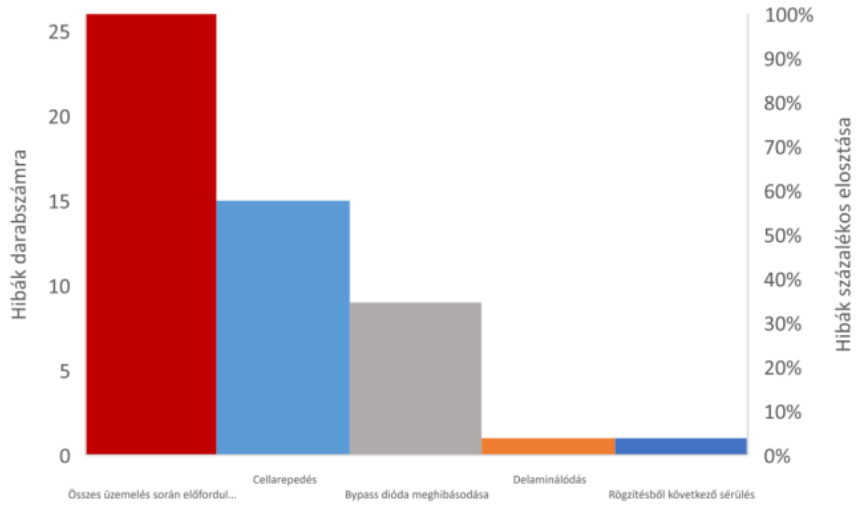
Az egyik legnagyobb magyarországi naperőműben – az üzemvitel kezdetét követő első három évben – évente ~20 hibás panelt azonosítottak be, gyakorlatilag gyártásból visszamaradó hibákra visszavezethető okokból. Az említett naperőmű park több mint 62.000 darab panelből áll, és az első három évben ilyen jellegű hibából összesen 60 darab sérült panelt találtak. Ez a telepített paneleknek mindösszesen a 0,09%-a, ami – bár minden költség csökkenti a megtérülést, de – elenyészőnek mondható. Bizonyítottan garanciális hibának – azaz a gyártási hibából visszamaradó meghibásodásnak – beazonosított 17 darab panel hibáinak megoszlását a *2. ábra* mutatja (Fejes & Molnár, 2023).

A működő parkokban előfordulnak cellahibás panelek, ahol a vezető szál megszakad a panelen belül. Ennek bevett ellenőrző módszere a hőkamerás drónos vizsgálat. Ilyen jellegű hibából egy nemrégi ellenőrzés során ~10 darab hibás panelt találtak 20 MW beépített teljesítménynél, hozzávetőleg 64.000 panelből álló naperőműparknál. Általánosságban elmondható, hogy a bypass dióda meghibásodás nagyon minimális számú. Egy-két bypass dióda megy tönkre évente, 60-70 ezer panelre vetítve. Az üzemelés során előforduló meghibásodásokat és arányukat a *3. ábra* mutatja be.



2. ábra: A 17 beazonosított garanciális hiba megoszlása.

A drónos hőkamerás vizsgálat egy új típusú üzemviteli vizsgálat, amely kiemelkedő hatékonysággal tárja fel a hibás paneleket. Elsősorban a diódahibákat és a panelen belüli szakadt vezetőket lehet nagy hatékonysággal beazonosítani ezeknél a paneleknél. Emiatt napjainkban egyre jobban elterjedt – terjedőben van – a drónos hőkamerás vizsgálat. Bevett üzemviteli szokás, hogy a törött üvegű paneleket addig nem cserélik, ameddig az inverter szigetelés ellenállása nem csökken. A gyakorlatban mértek már törött üvegnél is megfelelő U-I görbét, de a beszivárgó víz okozhat gondot a szilícium lapkákon lévő hajszálvékony vezetőknél. Továbbá tűzvédelmi gyakorlati tapasztalat támasztja alá, hogy a törött üvegű panel 150 °C-nál égett át, az ép üvegű pedig 500 °C-nál (IEA, 2014). Az első három év utáni üzemet követően, a negyedik évtől jelentősen lecsökken az üzemi meghibásodások száma. Több tízezer panelt tartalmazó parkoknál is évente csak 1-2 hibás panelt azonosítanak be. Ilyen alacsony hibás panelszámnál nem éri meg kockáztatni és repedt – esetleg törött – üveggel tovább üzemelni, érdemes kicserélni a sérült paneleket.



3. ábra: Az üzemelés során előforduló meghibásodások.

Hivatkozások

Fejes L., *Molnár Sz.,* 2023: Üzemviteli tapasztalatok alapján beazonosított meghibásodások. Naperőművi infrastruktúrák vizsgálata, Underground Kiadó, Budapest. 152-164. ISBN: 9789635744688.

Herrmann,W., Bogdanski, N., 2011: Outdoor weathering of PV modules — Effects of various climates and comparison with accelerated laboratory testing. *37th PVSC,* IEEE, Seattle, USA, 2305–2311. https://doi.org/10.1109/PVSC.2011.6186415

IEA (International Energy Agency), 2014: Review of Failures of Photovoltaic Modules. Performance and Reliability of Photovoltaic Systems. Report IEA-PVPS T13-01:2014. ISBN 978-3-906042-16-9

King, D.L., Quintana, M.A., Kratochvil, J.A., Ellibee, D.E., Hansen, B.R., 2000: Photovoltaic module performance and durability following long-term field exposure. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications,* 8(2): 241–256. https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-159X(200003/04)8:2<241::AID-PIP290>3.0.CO;2-D

Internetes hivatkozások

[1 – ASTM] https://www.astm.org/e1830-01.html

ORCID

Fejes L. https://orcid.org/0000-0003-2770-3550
Pongrácz R. https://orcid.org/0000-0001-7591-7989
Talamon A. https://orcid.org/0000-0001-9783-0913