

NAPELEMEK VIZSGÁLATA PILÓTA NÉLKÜLI LÉGIJÁRMŰRE INTEGRÁLT KOMPAKT HŐKAMERA SEGÍTSÉGÉVEL

MEASUREMENTS ON SOLAR PANELS WITH DRONE MOUNTED COMPACT THERMAL CAMERA

Kun Krisztián^{1*}, Léder Dávid¹

¹ Innovatív Járművek és Anyagok Tanszék, GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Neumann János Egyetem,
Magyarország

<https://doi.org/10.47833/2021.1.ENG.009>

Kulcsszavak:

Szolár panelek
Hőkamerás felvételek
Napelemek
Drón
UAV

Keywords:

Solar panels
Thermal camera recordings
Photovoltaics
Drone
UAV

Cikktörténet:

Beérkezett 2021. Január 4.
Átdolgozva 2021. március 10.
Elfogadva 2021. április 15.

Összefoglalás

Az ipari drónokat széles körben használjuk különböző feladatok végrehajtására. Fejlett szenzortechnika és repülésirányító rendszerek segítségével a drónok alkalmazása több iparágak új perspektívát kínál. Cél lehet az emberi életet veszélyeztető feladatok ellátása, vagy telemetriai adatok alapján egyéb automatizálható tevékenységek végzése. Gyakori alkalmazás a napelemparkok monitorozása. A hőfelvételek segítségével megtalálhatóak hibás panelek, mechanikai sérülések. Kutatásunkban célunk egy kompakt hőkamera integrálása ipari drónra. A tervezés eredményességét a gyakorlatban alkalmazzuk, földi állomásról készített felvételekkel szemléltetjük.

Abstract

Industrial drones are widely used to perform various tasks. With advanced sensor technology and flight control systems, the application of drones offers a new perspective for several industries. The goal can be to perform tasks that endanger human life, or to perform other automated activities based on telemetry data. A common application is the monitoring of solar parks. With the help of thermal images, faulty panels and mechanical damage can be found. In our research, our goal is to integrate a compact thermal camera into an industrial drone. Applying the effectiveness of the design in practice, we illustrate it with recordings made from a ground station.

1. Bevezetés

Modern világunk napról-napra növekvő energiaigényének kielégítése igen nagy feladat az energiaipar számára. A globális felmelegedés hatásai megkérdőjelezhetetlenek, így az energia forrása elsődleges szemponttá vált. Ezen energiaproblémák ellátásában jelentős részt képviselnek a megújuló energiaforrások úgy, mint a napenergia és a szélenergia. Hatékony hasznosításuk összetett feladat, azonban a komplexitás számos hibaforráshoz vezethet. Kutatásunkban napelem rendszerek, naperőművek meghibásodásait feltáró rendszer kifejlesztésén dolgozunk, melynek

* Kapcsolattartó szerző. E-mail cím: kun.krisztian@gamf.uni-neumann.hu

² POI – Points of Interest: Globális Helyzetmeghatározó Rendszer (GPS) segítségével kijelölt lokációk.

segítségével a keletkező hibák gyorsabban detektálhatók, beazonosíthatók és javíthatók lehetnek. [2]

2. Hőkamerával felszerelt ipari drónok lehetséges felhasználásai

Az ipari drónokat széles körben használjuk különböző feladatok végrehajtására, ahol emberi élet kockáztatása nem megengedett vagy lehetőségeit tekintve ez a legideálisabb megoldás az adott szituációra. Számos kiegészítő elem közül kiemelt a hőkamera alkalmazása.

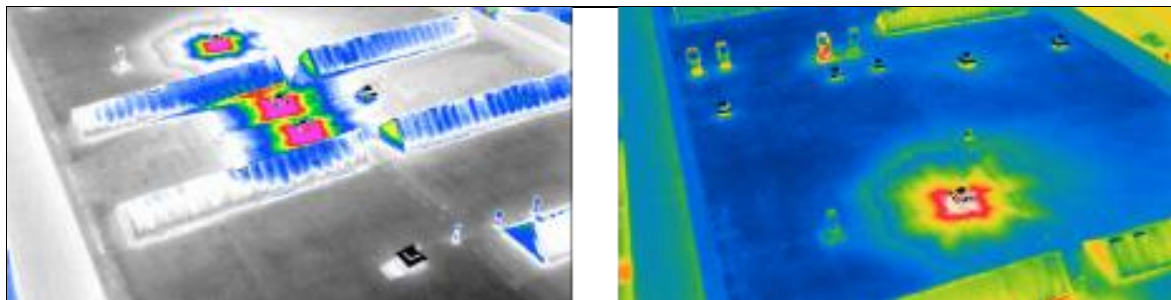
Pilóta nélküli légi járműveknél a hőkamera integrációjának elengedhetetlen tényezője, hogy egy adott típus rendelkezzen a kamera teljes szerelt egységének felemeléséhez szükséges emelő erővel, valamint az egység a lehető legkevesbé befolyásolja a repülési karakterisztikát. Fontos megjegyezni, hogy egy ilyen ún. payload (hasznos teher) szállítása a repülési idő csökkenését okozza. A drón méreteit tekintve, a gép stabilitásával ellentétben az egység tehetetlensége. Instabil légitársaság esetén a kamerarendszer kevésbé alkalmas gyors korrekciókra, a gép manőverező képessége csökken. [3] [4] [5]

2.1. Hőkamerával felszerelt drónok alkalmazása a vadgazdálkodásban

A modern vadgazdálkodás előszeretettel alkalmaz hőkamerával integrált drónokat a vadállomány megfigyelésére. Az élőlények számlálása madártávlatból jellemző felhasználási mód. Egyszerűbb esetekben a drón „kézzel”, egy földi állomásról irányított, de automatizálva, alakfelismerő rendszerrel és POI² adatok segítségével egy előre beállított útvonalon haladva még praktikusabb megoldást jelent.

2.2. Hőkamerával felszerelt drónok alkalmazása az építőiparban

Igen elterjedt vizsgálati módszer a hőkamerával felszerelt drónok alkalmazása épületek hőszigetelésének vizsgálatára (1. ábra). A drón rugalmasságát ötvözve hőkamerával egy gyorsan mozgó szigetelési hibakereső egységet kapunk, amellyel olyan helyeket is fel lehet térképezni, amiket máshogy nem vagy csak nagyon körülményesen lehetne. Továbbá egy ipari baleset bekövetkezésekor hatalmas előny lehet, hogy emberi élet kockáztatása nélkül tudunk légi hőkamerás felvételeket készíteni.



1. ábra. Hűtőházak tetejéről készült hőfelvétel [1]

2.3. Hőkamerával felszerelt drónok alkalmazása a határvédelemben

A hőkamerával felszerelt drónok felhasználhatóak az országhatárok védelmére is. A kamera hőképén rossz látási körülmények között is látszódnak határsértő tevékenység, hiszen a kamera a test által kibocsátott hőképet jeleníti meg, amely észlelhetően nagyobb, mint a környezeti hőmérséklet. Csökkenthető az országhatáron a várakozási idő, ha teher-, tranzitforgalom sorban állása alatt drón a járműszerelvénnyel felett repülve hőfelvételt biztosít, segítve a rendfenntartó szervek munkáját.

2.4. Hőkamerával felszerelt drónok alkalmazása napelemparkok vizsgálatára

Gyakran alkalmaznak ipari drónokat hőfelvételek készítése alkalmas kamerákkal felszerelve a naperőművek vizsgálata/karbantartása során (1. táblázat). Ilyenkor a hőfelvételek vizsgálatával

² POI – Points of Interest: Globális Helyzetmeghatározó Rendszer (GPS) segítségével kijelölt lokációk.

keresik meg az esetleges hibás, sérült paneleket. A hibás panel koordinátái a repülési napló segítségével rögzíthetők, segítve a karbantartó csapat hasznos munkáját.

1. Táblázat. Napelemek vizsgálatának módszerei és azok tulajdonságai. [6]

Vizsgált szempont	Vizsgálati eljárás				
	Belső ellenállás mérése	PSMFM ³	Sorba kapcsolt panelek kimeneti feszültsége	Hőkamera	Hőkamerával felszerelt drón
Észlelhető hiba	Panel hiba	Panel hiba	Több panel meghibásodása ^{II}	Panel hiba, több panel meghibásodása	Panel hiba, több panel meghibásodása
Pontosság	Jó	Kiváló	Rossz ^{III}	Jó	Jó
Rugalmasság	Rossz	Rossz	Jó	Rossz	Jó
Hatékonyság^I	Rossz	Rossz	Jó	Rossz	Jó
Automatizálhatóság	Jó	Nagyon Rossz	Kiváló	Rossz	Jó

- I. időegység alatt megvizsgált terület [$m^2/óra$]
- II. lehetséges szakadás vagy alacsony kimeneti feszültség
- III. számos befolyásoló faktor miatt nem mindig alkalmazható, nem ad pontos eredményt

3. Napelem-rendszerek vizsgálata drónra integrált hőkamera segítségével

A kutatásban a rendelkezésre álló erőforrásokat felhasználva kompakt módon egy mobil hőkamerát integráltunk egy ipari drónra. Célunk napelemrendszerek vizsgálata, építési hibáinak feltárása, hőképanalízis, továbbá a mérési eredményeket felhasználva következtetések levonása a vizsgált rendszerre vonatkozólag. [5] [6]

3.1. A mérésekhez használt drón és egyéb eszközök

Méréseinkhez egy DJI S900 típusú ipari drónt használtunk, amelyet DJI A2 típusú repülés irányító egységgel láttunk el, amit egy Spektrum DX18 típusú szatelit rádióval vezéreltünk.

A rendelkezésre álló felszerelések a következők voltak:

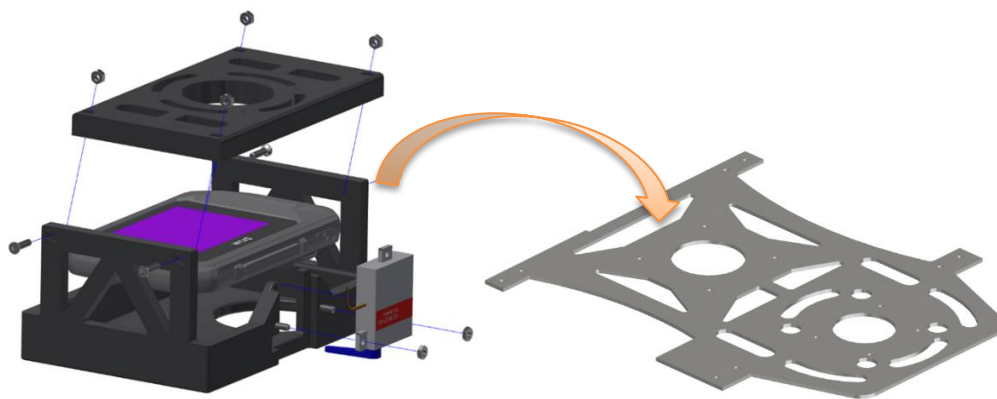
- DJI Spreading Wings S900 ipari drón, A2 repülésirányító rendszerrel,
- Zenmuse H4-3D kamera stabilizátor (gimbal),
- GoPro Hero 4 akciókamera (FPV⁴ nézethez),
- Spektrum DX18 távirányító,
- Tattu 16000mAh 6 cellás akkumulátor.

Utólagosan beépített egységek: (2. ábra)

- A drón vázára szerelt alumínium tartólemez,
- 3D nyomtatott egyedi kameratartó, szervómotorral szerelve a képrögzítéshez,
- Flir C2 kompakt hőkamera, felbontás: 320x240 pixel.

³ PSMFM – Panel Surface Magnetic Field Measurement: Elektromágneses tér erősségének vizsgálata

⁴ FPV – First-person view: Lehetővé teszi rádió vezérelt járművek pilóta szemszögéből való irányítását.

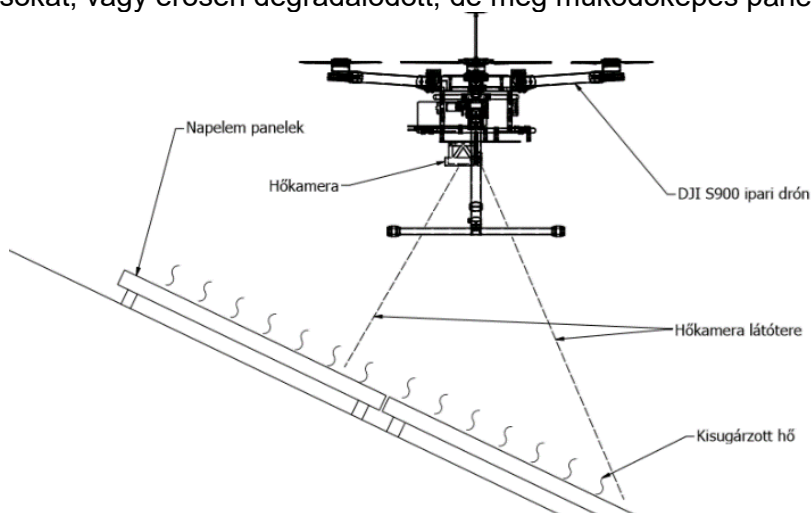


2. ábra. 3D nyomtatással készült kameratartó a szervomotorral és az alumínium tartólemez.

A drón gyári felépítéséhez képest a payload miatt megváltozott súlyponthoz igazodóan az akkumulátor egységet áthelyeztük. Miután meggyőződünk a konstrukció helyességéről a drónhoz terveztünk egyedi kamera tartó konzolt, mely képes fogadni a gyári kamerát és vele egyidőben egy speciális kamera egységet esetünkben egy Flir C2 típusú kompakt hőkamerát. Az egyedi tervezésű kamera tartó konzolt alumínium lapból lézervágással gyártottuk le és a drón gyári felfogató helyére rögzítettük. A hőkamera felfogásához 3D nyomtatással készítettünk kameratartót, amely képes a hőkamerát biztonságosan rögzíteni, továbbá gyors fel- és leszerelhetőséget biztosít. A hőkamerát távirányítással a drón gyári rádióvevője segítségével tudtuk kezelni. A távirányító egyik gombjára felprogramozott szervomotor segítségével készítettük a hőfelvételeket mely megnyomta a kamera fénykép készítő gombját.

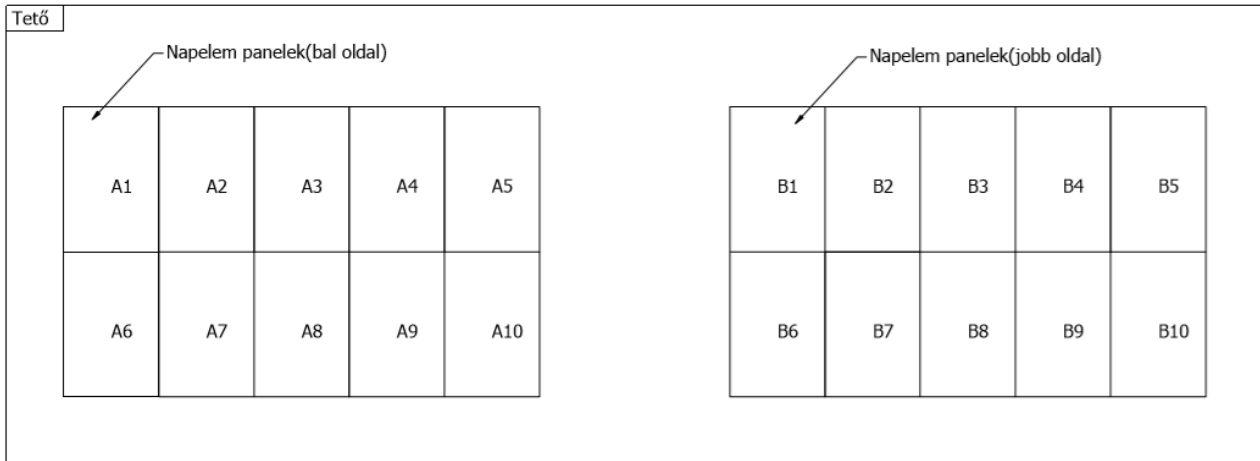
3.2. A mérés módszere és menete

A méréseket egy családi ház 5 kW összteljesítményű napelemrendszerén végeztük el. A felvételkészítések folyamatát elvi vázlaton szemlélteti a 3. ábra. A mérés célja a napelem panelek hőmérsékleti eltérésének vizsgálata. A nagymértékű hőmérsékleti eltérések jelenlévő panel meghibásodásokat, vagy erősen degradálódott, de még működőképes paneleket jelezhetnek.



3. ábra. A mérés elvi vázlata

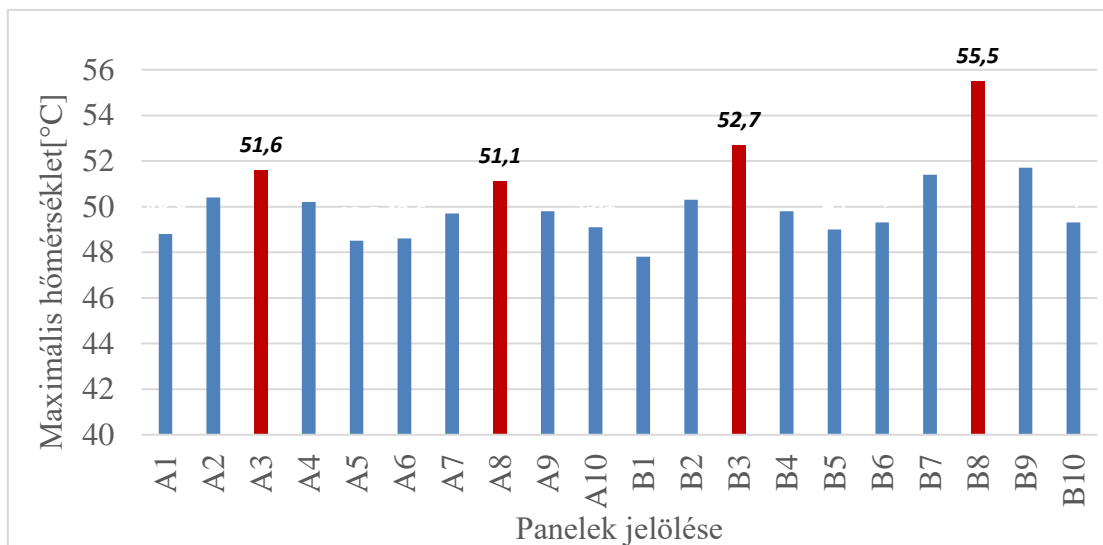
Ez a jelenség a napelemek felépítéséből ered, hiszen ha a panel a hasznosítható fénytartomány energiáját nem képes átalakítani elektromos energiává, akkor ez az energia hővé alakul. Mivel a panelek belső felépítésüket tekintve rossz hővezetésű anyagból készülnek ezért az ilyen típusú meghibásodások az alkalmazott módszer segítségével detektálhatók. A mérés során paneleket "A" és "B", illetve egy sorszám jelöléssel azonosítottuk, amely a 4. ábrán látható. [7] [5]



4. ábra. A vizsgált napelem panelek jelölései, elhelyezkedésük

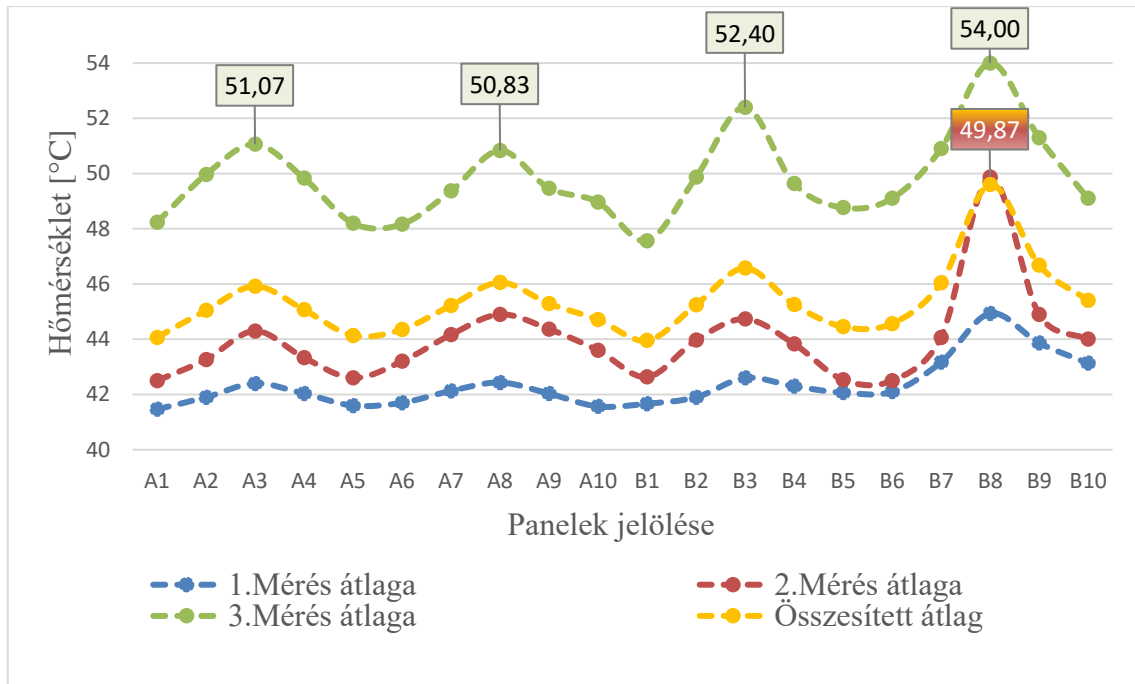
4. Eredmények

A készített hőfelvételeket Flir Tools Pro szoftverrel és Excel táblázat segítségével értékeltük ki. A mérést háromszor ismételtük meg így jött létre 3, részben eltérő adatsor. Minden mérés alkalmával 20 db hőfotó készült, majd ezek átlaga lett felhasználva. Az adatsorokat panelekre osztva értékeltünk ki. Mivel 3 különböző időszámban mértünk (egy-egy óra különbséggel), így 3 hőmérsékleti adatsor keletkezett minden panel esetében. Ezekből az adatokból diagramokat készítve ábrázolhatók a mérési eredmények. Az 5. ábrán látható a vizsgált panelek maximális hőmérséklete, amely a 3 mérési ciklus során volt megfigyelhető. [7] [8]



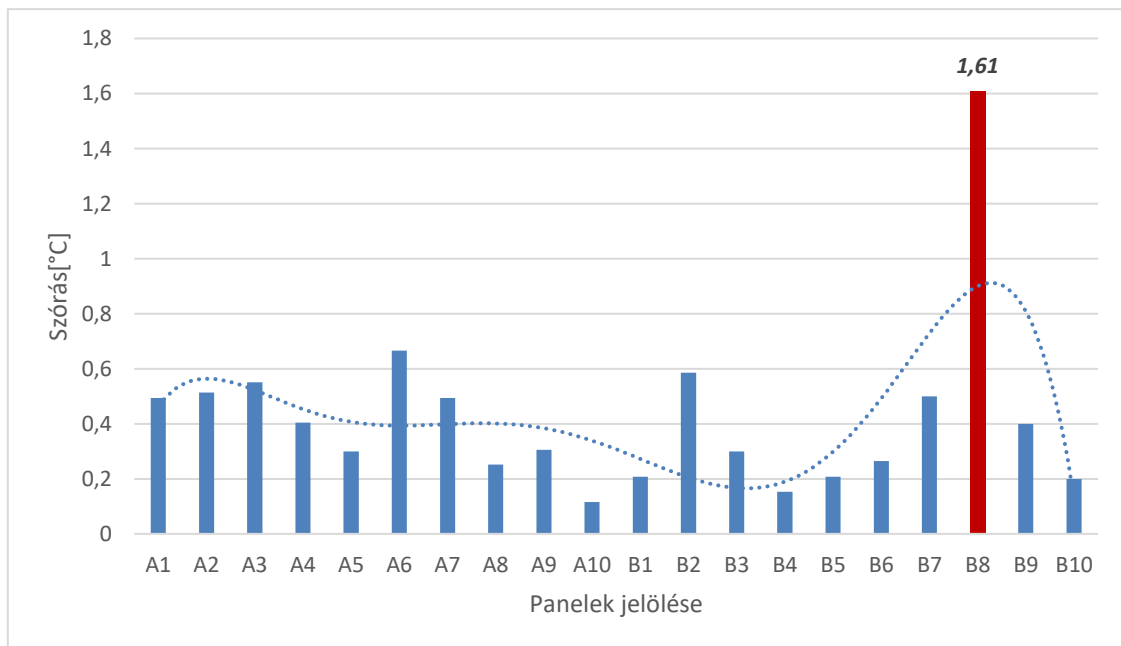
5. ábra A paneleken mért maximális hőmérsékletek a 3 mérési ciklus során.

A diagramból jól kivehető, hogy a 3. és 8. számú panelek jelentősen eltérő hőmérsékleti értékekkel rendelkeznek, mint az összes többi. Ennek oka, hogy ezek a többi panel között, pontosan középen helyezkednek el. A "B8" jelű panel azonban még ezek között is kiugró értékkel rendelkezik. Ez az 6. ábrán szemléltetett átlaghőmérséklet-változás diagrammon is szembetűnő.



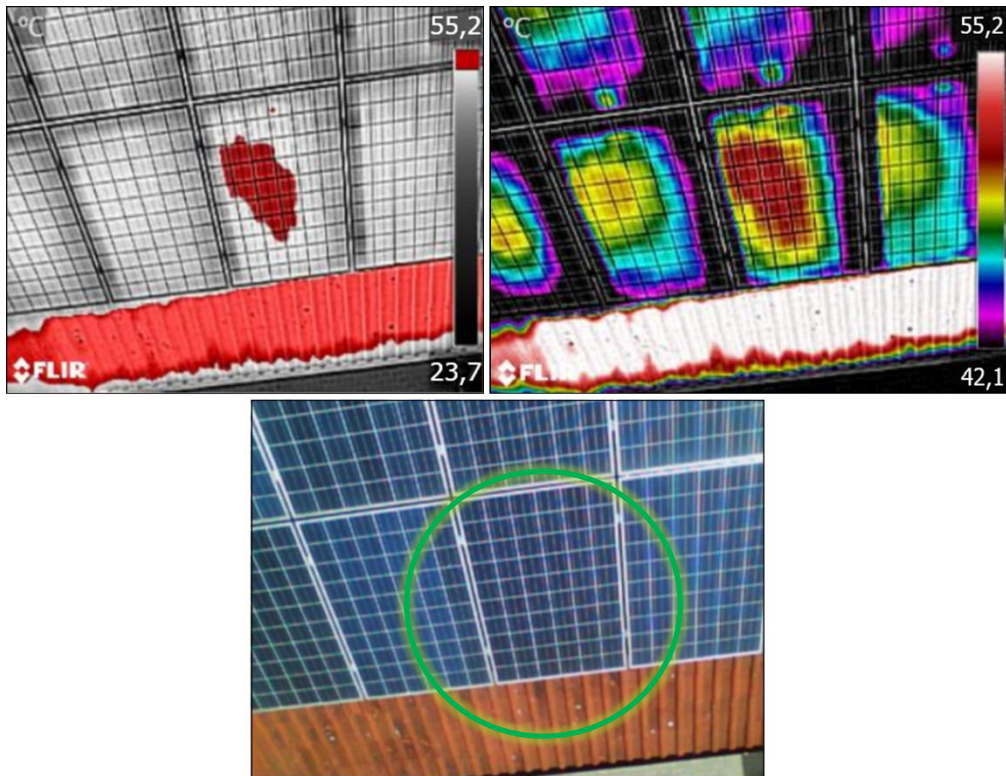
6. ábra Napelem panelek átlaghőmérsékletének változása és az összesített átlaghőmérséklet-változás

Az elkészített szórás diagrammok alapján egyértelműen kiderült, hogy a napelemről készült fotókon a szoftver segítségével kijelölhető ún. "Probe pontok" (mérési pontok) között igen nagyok az eltérések. A leginkább kimagasló, 3. mérés adataiból készült szórásdiagram a 7. ábrán látható.



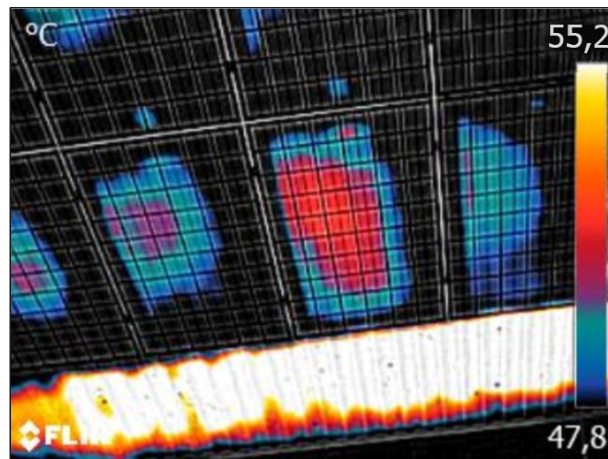
7. ábra. A harmadik mérés hőmérséklet szórás diagramja, polinomiális trendvonalal közelítve

A „B8” jelű panelről az előzetes méréseken megállapított jelentős eltérés miatt részletes hőképanalízist végeztünk. A magas szintű termográfiához nem csak egy modern, nagy felbontású hőkamera szükséges. Egy komplex elemző szoftver is elengedhetetlen a hőképek részletes vizsgálatához, dokumentáláshoz. Az általunk alkalmazott Flir Tools Pro rendszerben mindegyre lehetőség nyílik, melyet a 8. ábra szemléltet.



8. ábra. A „B8” jelű hibás napelem „heat-centrum” filterrel (BF) és „Rainbow HC” színskálával (JF).

Az ábrákból jól leolvasható, hogy a „B8” jelű panelnél valamilyen meghibásodás következtében nagy hőmérséklet-különbség tapasztalható. A harmadik méréskor készült hőfelvétel is ezt igazolja, melyen egy forrópont ún. „hotspot” figyelhető meg (9. ábra).



9. ábra. A hibás „B8” jelű panelről készült hőfelvétel „Lava” színskálával

A hőfelvételtől tisztán kivehető a hiba kiterjedése, melyről későbbi vizsgálat alkalmával kiderült, hogy egy fólia réteg elválás. Ennek következtében romlott a panel hatásfoka, így generálva magasabb hőmérsékleti adatokat.

5. Összegzés

A mérési adatok illetve tapasztalatok alapján megállapítható, hogy a módszer létjogosultsága a jövőben indokolt. Tapasztalataink szerint az alkalmazott módszerrel igen rövid idő alatt képesek lehetünk detektálni a panelhibákat és azok pontos helyét akár egy nagyobb napelemparkban is. A pontos hiba helykoordinátái a repülési koordináták szerint rögzíthetők. A repülési tervet előre definiálva a rendszer automatizálható.

Jövőbeli célkitűzéseink:

- Nagyobb felbontású hőkamera alkalmazása élőképfelvételek rögzítésével.
- Automatizálás a repülésirányító rendszer fejlesztésével.
- Kiértékelési módszerek egyéb variánsainak megismerése, illetve az alkalmazott módszerek automatizálási lehetőségeinek vizsgálata.

Irodalomjegyzék

- [1] <https://www.flir.ca/globalassets/discover/industrial/airvision-2.png> (Megtekintve: 2020.11.28.)
- [2] Rahnuma Siddiqui, Usha Bajpai, "Deviation in the Performance of Solar Module Under Climatic Parameter as Ambient Temperature and Wind Velocity in Composite Climate" International Journal of Renewable Energy Research, Vol. 2, No. 3, (2012.)
- [3] Badreddine Boutaghriout, Châabane Hamoud, Hacene Smadi, Ali Malek "Theoretical and experimental investigation of solar heat potential at low temperatures: Towards large scale integration in the agro food sector," International Journal of Renewable Energy Research, Vol. 6, No. 1, (2016.)
- [4] Kazuhiko Kato, "Operation Experience of 'AIST MegaSolartown' for the First Decade" Proceedings of JSES/JWEA Joint Conference 2014, 41–44, (2014.)
- [5] Yuji Higuchi, Tadatoshi Babasaki, "Fault detection of solar power generation system," IEICE Tech. Rep. vol. 118, no. 91, IN2018-11, pp. 63–68, June (2018.)
- [6] T. Babasaki, Yuji Higuchi, "Using PV string data to diagnose failure of solar panels in a solar power plant" IEEE International Telecommunications Energy Conference (INTELEC) (2018.)
DOI: [10.1109/INTLEC.2018.8612400](https://doi.org/10.1109/INTLEC.2018.8612400)
- [7] S. Lee, K. E. An, B. D. Jeon, K. Y. Cho, S. J. Lee and D. Seo, "Detecting faulty solar panels based on thermal image processing," 2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), Las Vegas, NV, 2018, pp. 1-2, DOI: [10.1109/ICCE.2018.8326228](https://doi.org/10.1109/ICCE.2018.8326228)
- [8] H. Kayan, R. Eslampanah, F. Yeganli and M. Askar, "Heat leakage detection and surveillance using aerial thermography drone," 2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Izmir, (2018.) pp. 1-4, DOI: [10.1109/SIU.2018.8404366](https://doi.org/10.1109/SIU.2018.8404366)