

Monitorovanie degradácie fotovoltických panelov infračervenou metódou

Zdeněk Dostál¹, Miroslav Ďulík, Marcela Koščová a Pavel Šimon²

Monitoring of degradation of photovoltaic panels using infrared method

Monitoring of solar panels is important in order to ensure optimal performance of solar panels. Their properties are subject to change due to aging, weather effects and exposure to environment. Infrared camera provides monitoring of degradation of solar panels. Similarly, thermal camera can detect errors in panels, which occurred during production or assembly.

Key words: monitoring, photovoltaic panels, infrared method, solar panels

Úvod

Neobvyklé teplotné rozdelenie je často indikáciou atypického správania v zariadenia solárnej energetiky. Prenosné infračervené zobrazovacie systémy poskytujú možnosti na odmeranie teplotného rozdelenia na malých aj veľkých zariadeniach s vysokým stupňom teplotného a priestorového rozlíšenia. Tento nástroj na diagnostiku môže byť aplikovaný počas vývoja, výroby, monitorovania, a opravy solárnych článkov a systémov [2].

Tento článok ilustruje možnosti monitorovania degradácie fotovoltických solárnych panelov.

Teoretický rozbor

Všetky materiály vyžarujú infračervené žiarenie, ktorých rozsah vlnových dĺžok závisí na teplote materiálu. Infračervené teplo emitované materiálom je kvantifikované Stefan - Boltzmann zákonom, a spektrálne rozloženie emitovanej energie je vyjadrené Planckovým zákonom vyžarovania. Komerčne dostupné infračervené kamery môžu byť zakúpené s objektívmi a detektormi upravenými podľa prania zákazníka pre materiály s odlišnými vlnovými dĺžkami svetla. Nakoľko sa predpokladá, že prípadná teplota fotovoltických článkov nepresiahne 100 °C, v extrémnych prípadoch sa môže pohybovať tesne nad 100 °C, bola použitá termovizná kamera FLUKE Ti20 [1].

Hlavné technické parametre tohto typu termokamery sú: rozsah teplôt -10 až +350 °C, rozlišovacia schopnosť 0,1 °C, kapacita pamäte 50 termosnímkov, doba nepretržitej prevádzky 3 hodiny pri nových akumulátoroch. Softvérové vybavenie umožňuje základné analýzy a úpravy termosnímkov pre potreby technickej praxe. Digitalizovaný infračervený obraz objektu je možné priamo uložiť a použiť pre spracovanie.

Lokalizácia porúch v solárnych článkoch

S problémom porúch solárnych článkov sa stretávame v dôsledku porúch vo výrobe, alebo ako následok starnutia, vplyvu klimatických zmien, alebo mechanického poškodenia pri nesprávnej montáži. Fotovoltický panel tvorí matica článkov, ktoré sú spájané vodivými spojmi. Články chráni zosposu fólia a zvrchu špeciálne tvrdené sklo. Solárne články sú v radoch modulov spolu zapojené tak, aby sa dosiahlo potrebné napätie a výkon. Počas bežnej prevádzky pri slnečnom žiarení každý solárny článok generuje napätie a prúd, ktoré sa s ostatnými článkami sčítava a tak sa zaisťujú potrebné výstupné elektrické vlastnosti solárneho modulu. Pri výrobe môžu vzniknúť poruchy jednotlivých fotovoltických článkov v dôsledku nečistôt na doštičkách počas difúzie. Starnutie môže mať za následok prenikanie vlhkosti dovnútra modulov s následnou koróziou, ktorá vedie k poškodeniu článkov. Toto poškodenie sa prejaví tvorbou tepla, ktoré spôsobuje straty celého systému. Ak solárny článok nepracuje, alebo nevyrába žiadnu energiu, pretože neabsorbuje žiadne slnečné žiarenie, alebo môže napr. vykazovať opačnú polaritu, prejavuje sa ako spotrebič

¹ doc. Ing. Zdeněk Dostál, CSc., Ing. Miroslav Ďulík, PhD., doc. Ing. Marcela Koščová, CSc., Žilinská univerzita v Žiline, Elektrotechnická fakulta, Detašované pracovisko v Liptovskom Mikuláši, Katedra Experimentálnej elektrotechniky, Ul. kpt. J. Nálepku 1390, 031 01 Liptovský Mikuláš, Slovensko, dostal@lm.uniza.sk, dulik@lm.uniza.sk, mkoscova@lm.uniza.sk

² Ing. Pavel Šimon, CSc., HAKO, a.s., Liptovský Mikuláš, Štefánikova 1361/4, 031 01 Liptovský Mikuláš, Slovensko, simon@hako.sk
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 23.12.2010)

namiesto generátora, takže môže vo zvýšenej miere premieňať energiu na teplo. Vzniknuté teplo môže dosahovať vysoké hodnoty a teda je tu aj riziko možnosti vzniku požiaru [2, 3].

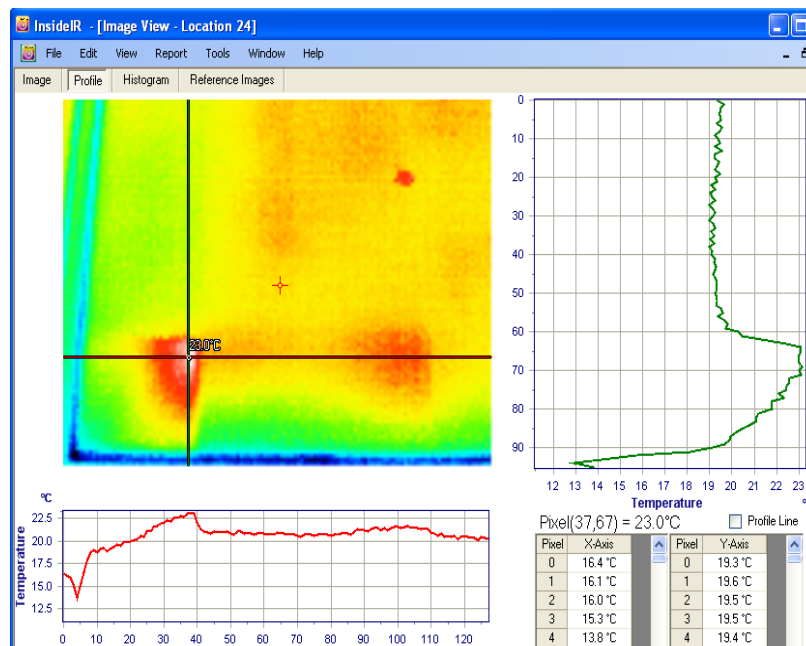
Testovanie kvality solárnych panelov je dôležité pred uvedením solárnej sústavy do prevádzky, aby bolo možné detekovať poškodené články. V prípade rozsiahlych solárnych sústav je potrebné vyhotoviť a vyhodnotiť veľké množstvo snímkov z infračervenej kamery. Preto je vhodné vypracovať automatické vyhodnocovanie získaných snímkov [1, 4].

Experimentálne overenie

Na prácu s kamerou slúži software Inside IR, ktorý je dodávaný ako súčasť kamery. Pomocou neho je možné exportovať dáta ako bitmapu, ktorá znázorňuje tepelné vyžarovanie objektu, alebo aj dátový súbor obsahujúci teploty zaznamenané pre celý obraz. Tento súbor je potrebné následne uložiť a bude slúžiť ďalej na spracovanie v programovom prostredí Matlab.

Pre ukážku je na obrázku 1 zobrazené teplotné rozdelenie pre časť solárneho panelu, získané z programu Inside IR. Samotný program poskytuje komfortné rozhranie, pomocou ktorého je možné získať základné informácie o nasnímanom objekte. Zároveň je možné detailne prejsť a preskúmať celý obraz a objaviť oblasti, ktoré sa výraznejšie líšia teplotou.

Nevýhodou je takmer nemožnosť objaviť malé poruchy (resp. zmeny teploty), lebo tie nie sú na obraze dostatočne indikované, resp. je ich problém vizuálne oddeliť od zvyšku obrazu. Z toho dôvodu bolo zadanie jasné: vyselektovať časti obrazu, ktoré môžu obsahovať poruchy panelov a zobraziť ich pre ďalšie spracovanie.



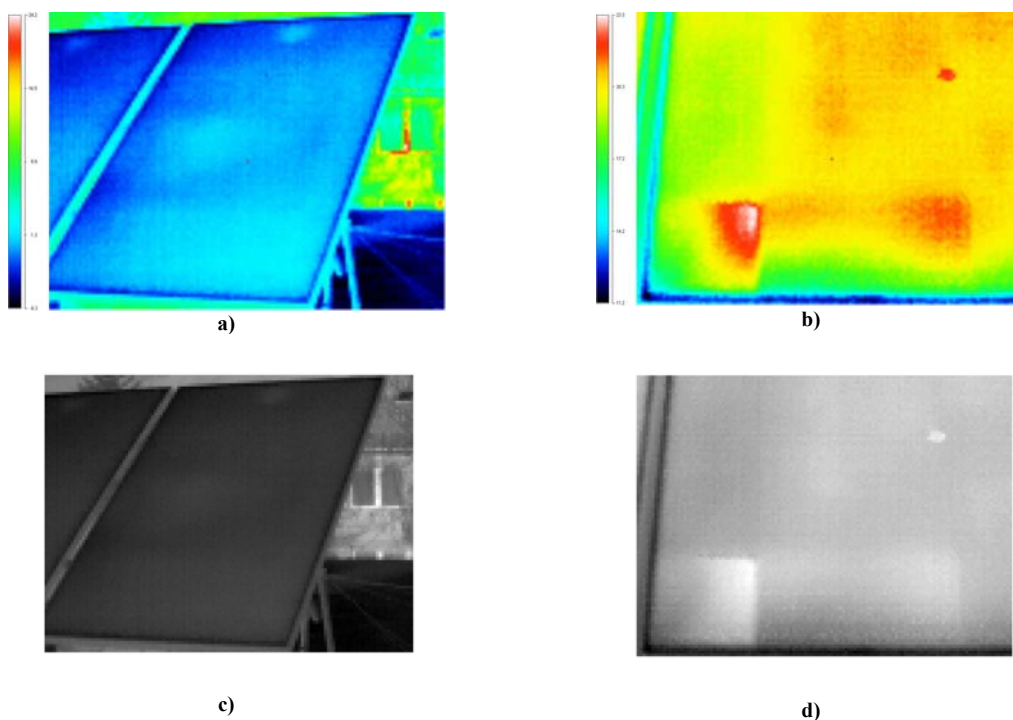
Obr. 1. Priebeh rozloženia teplôt v analyzovanom objekte.
Fig. 1. Temperature distribution in analysed object.

Použitý softvér termovíznej kamery umožňuje zobrazenie grafov teplôt v obidvoch súradniciach podľa zvoleného miesta na snímanom obrázku. Digitalizovanú verziu týchto obrázkov je možné uložiť a transformovať do formátu vhodného na ďalšie spracovanie. Aby bolo možné v nasnímaných objektoch vyselektovať poškodené oblasti, je potrebné použiť prahovanie obrazu. Prahovacie metódy predpokladajú, že objekty v obraze sa dajú odlišiť od pozadia na základe jasovej hodnoty jednotlivých obrazových bodov. Najprv sa zvolí prah T . Podľa tejto prahovej hodnoty sa rozdelia obrazové body na body objektu a body pozadia. Táto metóda sa nazýva globálne prahovanie. Prahovaný obraz $g(x,y)$ získame z pôvodného obrazu $f(x,y)$ pomocou vzťahu:

$$g(x,y) = \begin{cases} 255 & ak & f(x,y) > T \\ 0 & ak & f(x,y) \leq T \end{cases} \quad (1)$$

Pred samotným spracovaním je najskôr získaná matica s teplotami pre všetky body obrazu. Na obrázku 2 sú zobrazené pôvodné snímky a ich prevod na čiernobiely obraz, ktorý je ďalej používaný pri zobrazovaní spracovaných údajov (obr. 2a, 2b sú pôvodné obrázky, na obr. 2c, 2d sú ich čiernobiely verzie získané z matice teplôt). Čiernobiely obraz znázorňuje takisto teplotné pomery na obrázkoch.

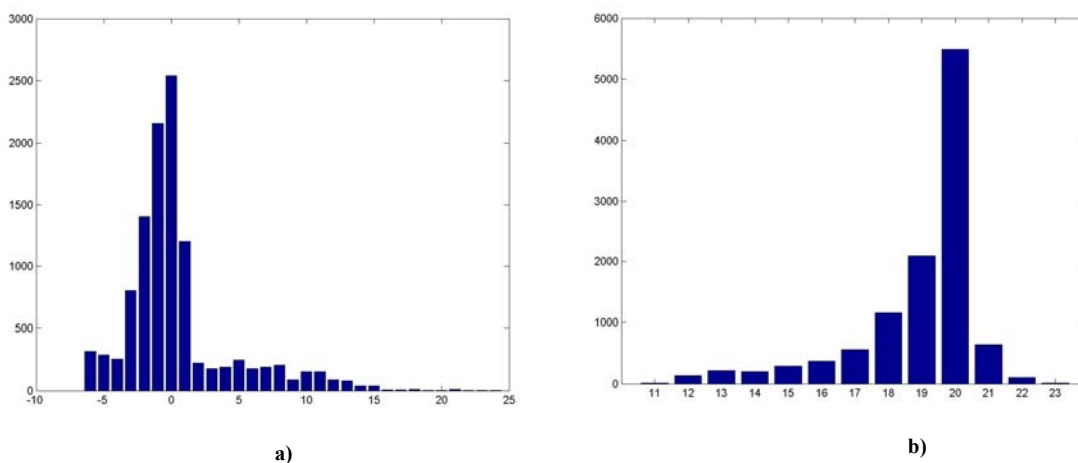
Tieto snímky boli zvolené ako príklad nevhodného snímku (obr. 2a, ktorý zobrazuje solárny panel a pozadie) a vhodného snímku (obr. 2b, ktorý zobrazuje len samotný panel). Preto obrázok 2a budeme brať len ako ukážku údajov, ktoré môžeme získať pri spracovaní, ale pre vyhodnocovanie nie je vhodný.



Obr. 2. Transformácia infračerveného obrazu na čiernobiely.
Fig. 2. Transformation from infrared image to black/white image.

Prahovanie je možné použiť ak je vopred známy prah a nebude sa meniť. Solárne panely pracujú v rôznych poveternostných podmienkach a tým sa mení teplotná škála zosnímaných obrázkov. Je preto potrebné voliť adaptívne prahovanie, ktoré sa prispôsobí klimatickým podmienkam. Na získanie prahovej hodnoty T použijeme histogram, ktorý poskytne informáciu o výskyte teplôt v analyzovanom objekte. Na obrázku 3 je znázornený histogram pre prvý a druhý obrázok.

Z týchto histogramov je možné zistiť, aké je zastúpenie teplôt pre dané snímky a z nich ďalej analyzovať niektoré údaje. Pre prvý snímok je najviac zastúpená teplota 0 stupňov a pre druhý snímok 19 °C.



Obr. 3. Histogram výskytu teplôt v analyzovanom objekte.
Fig. 3. Histogram of temperatures in analysed object.

Presence Na základe histogramu výskytu teplôt možno programovo vypočítať prahovú hodnotu a tým vyselektovať oblasti v obraze, kde je pravdepodobný vznik poruchy solárneho článku.

Ďalším zaujímavým údajom je maximálna teplota. Na základe nej je možné analyzovať, kde sa články prehrievajú. Výsledky spracovania sú zobrazené na obrázku 4a a 4b. Tieto snímky vznikli pri spracovaní údajov, pričom do úvahy bola braná maximálna teplota. Označené bielou boli tie plochy, ktorých teplota sa od maxima líšila maximálne o 2 stupne. Týmto je možné ľahko zistiť, ktoré plochy majú najvyššiu teplotu. Teplota vo zvolenom rozmedzí bola určená na základe výsledkov, ktoré boli získané pri spracovaní.

Ako je ešte možné vidieť, prvý snímok (obr. 4a) je (ako už tiež bolo spomenuté) nevhodný pre takéto spracovanie. Pri jeho spracovaní sme získali len malú oblasť v pravej časti, ktorá navyše nepatriła k panelu. Naopak druhý snímok (obr. 4b) sa ukázal ako vhodný, lebo na ňom boli označené oblasti so zvýšenou teplotou. Tieto oblasti už môžu signalizovať poruchy v paneloch.



Obr. 4. Zobrazenie analyzovaného objektu po prahovaní.
Fig. 4. Presentation of analysed object after thresholding.

V prípade potreby rýchleho spracovania je nutné vyhotoviť vhodné snímky a potom už ich len spracovať. Táto metóda môže napomôcť pri rýchlom testovaní aj vyššieho množstva panelov, pričom je možné rýchlo vyselektovať plochy, kde sa potenciálne poruchy môžu niekedy v budúcnosti prejavovať.

Záver

Detekcia defektov fotovoltaických panelov, ktoré sa prejavujú zmenou teploty, metódou snímania termovíznych snímok pomocou termovíznej kamery je veľmi perspektívna. Termovízny snímok obsahuje potrebné údaje o zmenách teploty v každom plošnom elemente plochy fotovoltaického panelu. Súbor údajov zo všetkých segmentoch plochy fotovoltaického panelu je možné podrobiť softvérovému spracovaniu a podľa algoritmov metódy vyhľadať defektné segmenty a oblasti.

Pod'akovanie: Táto práca bola podporovaná projektom VaV operačného programu, Centrum excelentnosti výkonových elektronických systémov a materiálov pre ich komponenty, kód výzvy 2008/2.1/01-SORO, ITMS 26220120003 a Centrum excelentnosti výkonových elektronických systémov a materiálov pre ich komponenty II., ITMS 26220120046. Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov ES.

Literatúra - References

- [1] Bilko R., Lábus R., Bača, P.: Pracoviště pro měření a testování fotovoltaického systému. In.: Zborník konferencie „30. Nekonenční zdroje elektrické energie“, Býkovice, 9. – 11. 9. 2009, s. 67 – 69. ISBN 978-80-02-02164-3
- [2] King, D. L., Kratochvíl J. A., Quintana, M. A.: Applications for Infrared Imaging Equipment in Photovoltaic Cell, Module, and System testing. In: In: Photovoltaic Specialists Conference, 2000. Conference Record of the Twenty-Eighth IEEE . ISBN 0-7803-5772-8.
- [3] Potthoff T., Bothe K., Eitner U., Hinken D., Kontges M.: Detection of the voltage distribution in photovoltaic modules by electroluminescence imaging. In Wiley InterScience, Prog. Photovolt: Res. Appl. 2010; 18:100–106.
- [4] Veselý A., Vaněk J., Dolenský J.: Teplotní závislost transmisní fotoluminiscence. In.: Zborník konferencie „31. Nekonenční zdroje elektrické energie“, Býkovice, 8. – 10. 9. 2010, s. 162 – 165. ISBN 978-80-02-02243-5