

održavanje i eksploatacija

Časopis Hrvatskog društva održavatelja namijenjen stručnjacima koji se bave održavanjem i gospodarenjem tehničkim sustavima
Berislavićeva 6, Zagreb, Hrvatska • www.hdo.hr • hdo@hdo.hr

Broj 01/19 • travanj 2019.

 **HDO**
HRVATSKO DRUŠTVO ODRŽAVATELJA
CROATIAN MAINTENANCE SOCIETY


efnms
European Federation of
National Maintenance
Societies vzw

Poštovani čitatelji, kolege i prijatelji održavanja!

Préd vama je proljetni broj našeg podlistka i u skladu s onom *Nomen est omen* pun je raznolikih sadržaja. Vjerujem da će svatko pronaći za sebe nešto zanimljivo pa krenimo redom.

Svatko od nas ima poneko saznanje pa i iskustvo s infracrvenom termografijom (IC termografija). Naime, IC termografija je beskontaktna metoda mjerenja temperature i njezine raspodjele na površini tijela. Temelji se na mjerenju intenziteta infracrvenog zračenja s površine promatranog tijela. Da bi se temperatura na daljinu uopće mogla mjeriti, potrebna je neka informacija o toj temperaturi. Infracrvena termografija primjenjuje se u skoro svim područjima znanosti i tehnologije (primjerice medicina i veterina, tehnika, industrijska postrojenja, strojarske instalacije, električna postrojenja u kompletu od izvora do potrošača, elektrotehnika, zaštita okoliša, istraživanje i razvoj, posebne namjene, vojne svrhe, graditeljstvo...).

„Najčešće se problemi neodržavanog sustava ne mogu uočiti sve dok ne postanu smetnja uobičajenom pogonu“ – ističu uvažene kolege iz grada Osijeka: Hrvoje Glavaš, Držislav Vidaković, Željko Jeršek i Siniša Maričić koji potpisuju iznimno zanimljivi rad pod naslovom Infracrvena termografija u postupku održavanje fotonaponskih sustava na građevinama. U promatranom slučaju infracrvena termografija predstavlja brzu metodu detekcije toplinskih žarišta uslijed zasjenjenja ili neispravnih elemenata FN modula. Između ostalog, u ovom radu dani su vizualni primjeri toplin-

skih žarišta koji se mogu uočiti tijekom termografskog pregleda FN sustava, ali i osvrt na njihov utjecaj na sustav.

Vjerojatno ne prođe dan a da svatko od nas ne primi barem jedan neželjeni mail marketinškog karaktera, naravno od nepoznatog pošiljatelja. Imamo li pravo na privatnost? Kako se zaštititi? Odgovore na ova i mnoga druga tehnička, zakonska, moralna i etička pitanja pronaći ćete u iznimnom i aktualnom radu koji nosi naslov Zaštita osobnih podataka – etički aspekti, a koji potpisuju dvije cijenjene dame iz Splita: Jadranka Polović i Iva Skejo.

A da naše Hrvatsko društvo održavatelja (HDO) prati EU trendove u procesima održavanja i da pri tome posebno naglašava potrebu za cjeloživotnim obrazovanjem, pokazuje i dokazuje osvrt našega cijenjenog kolege Drage Frkovića.

„Zbog nedostatka specijalističkih usmjerenja na redovnom ili izvanrednom školovanju koje bi profiliralo tehničare specijaliste održavanja, Hrvatsko društvo održavatelja (HDO) je nakon upita nekolicine članova pokrenulo pripreme za obrazovanje i certifikaciju Europskih tehničara specijalista održavanja. U skladu s ubrzanim tehnološkim napretkom program će objediniti potrebna znanja koja zahtijeva suvremeno gospodarstvo te koje zadovoljava specifikaciju zahtjeva za tehničara održavanja prema normi CEN 15628 Održavanje – kvalifikacija osoblja održavanja“ ističe dipl. ing. Frković.

Održavanje, inženjerstvo, iskustvo, znanje, predavanja, susreti, izložbe, umrežavanje, kolege,

MARIJA ŠIŠKO KULIŠ

Glavna urednica



prijatelji, Mediteran, Dubrovnik, Cavtat i Hrvatska ključne su riječi koje upućuju na 25. Savjetovanju HDO-a MeditMaint 2019 koje se održava u Dubrovniku, Hotel Croatia Cavtat, pod znakovitim geslom Maintenance is Development. Uz brojna predavanja domaćih i inozemnih predavača i vrlo vrijednu radionicu iz područja Asset Managementa, koju su uz preporuku „must-see and must-have training“ priredili stručnjaci EFNMS-a.

Da biste bili što bolje informirani o događaju i podneblju donosimo vam Preliminarni program Savjetovanja, a naše zlatno pero kolega Krešimir Brandt je i ovaj put napisao informativan osvrt o četvrt stoljeća Savjetovanja, gradovima domaćinima Dubrovniku i Cavtatu, o Konavlima i Hotelu Croatia... Tękst je u najmanju ruku vrijedan vaše pažnje, a tako je zanimljiv da bi bio grijeh ne pročitati ga...

Do skorog viđenja u Cavtatu

Vaša

Marija Šiško Kuliš

25. međunarodno savjetovanje Mediterana

MeditMaint 2019



22. – 24. svibnja 2019.
Dubrovnik, Hotel Croatia Cavtat

Infracrvena termografija u postupku održavanje fotonaponskih sustava na građevinama

Infrared Thermography in Maintenance of Building Applied Photovoltaics

Rad je objavljen u Zborniku MaditMaint 2018.

Prethodno priopćenje

Sažetak: Fotonaponski sustavi (FN) predstavljaju najčešće korišten obnovljivi izvor energije u RH, ali sa skromnim udjelom u ukupnoj bilanci. Energetska politika EU potiče ugradnju FN panela u elemente građevine poput fasada, krovista ili pak zasebnih konstrukcija s ciljem postizanja nula energetske zgrade. Bilo da su integrirani ili samostalni sustav, oni tijekom svog životnog vijeka iziskuju periodično održavanje. U normalnom pogonu neophodno je provesti vizualni pregled dva puta godišnje, prije i nakon zimskog razdoblja, kako bi se utvrdilo stanje opreme, spojnih vodova i noseće konstrukcije. U slučaju značajnog odstupanja od uobičajene proizvodnje, postupku pregleda pristupa se trenutno. Najčešće se problemi neodržavanog sustava ne mogu uočiti sve dok ne postanu smetnja uobičajenom pogonu. Naslage prašine, ptičjeg izmeta ili zasjenjenje tijekom dužeg perioda mogu dovesti do otkazivanja elemenata sustava i nepotrebnog troška sanacije što se može spriječiti redovitim postupcima održavanja koji uključuju i redovito čišćenje površine FN panela. Infracrvena termografija predstavlja brzu metodu detekcije toplinskih žarišta uslijed zasjenjenja ili neispravnih elemenata FN modula. Rad daje vizualne primjere toplinskih žarišta koji se mogu uočiti tijekom termografskog pregleda FN sustava, ali i osvrt na njihov utjecaj na sustav.

Ključne riječi: infracrvena termografija, fotonaponski sustavi, održavanje

Preliminary report

Abstract: Photovoltaic Systems (PV) are the most widely used renewable energy source in the Republic of Croatia but with a modest share in the total energy balance. EU energy policy encourages PV installation in building elements such as facades, roofs or separate constructions with the aim of achieving zero-energy buildings. Whether an integrated or stand-alone system during their lifetime requires periodic maintenance. In a normal operation it is necessary to carry out a visual inspection twice a year before and after the winter period to determine the condition of the equipment, connecting lines and supporting structures. In the case of a significant deviation from the normal production inspection must be done as soon as possible. Most commonly, the problems of unmaintained system cannot be perceived as long as PV system is in operational state. Dropping of dust, bird fluctuations or shading over a longer period may lead to system components being damaged and to necessary repair costs that can be prevented by regular maintenance procedures, including regular surface cleaning of photovoltaic panels. Infrared thermography is a fast method of detecting heat sources due to shading or defective photovoltaic module elements. The paper provides visual examples of thermal spots that can be observed during the thermographic inspection of photovoltaic systems, as well as a review of their impact on the system.

Key words: infrared thermography, photovoltaic systems, maintenance

HRVOJE GLAVAŠ

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek
Kneza Trpimira 2b, Osijek

DRŽISLAV VIDAKOVIĆ

Faculty of Civil Engineering Osijek
Vladimira Preloga 3, Osijek

ŽELJKO JERŠEK

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek
Kneza Trpimira 2b, Osijek

SINIŠA MARIČIĆ

Faculty of Civil Engineering Osijek
Vladimira Preloga 3, Osijek

Fotonaponski sustavi predstavljaju najčešće korišten oblik obnovljivog izvora energije (OIE) koji se integrira na postojeće građevine. Njegovu primjenu potiče *Energy Performance of Buildings Directive* (EPBD II). Direktiva 2010/31/EU o energetske svojstvima zgrada traži da od 31. prosinca 2018. godine sve nove zgrade javne namjene budu nula energetske, a od 31. prosinca 2020. godine sve nove zgrade trebaju biti gotovo nula energetske. Nula energetska zgrada (NEZ) je zgrada koja podmiruje energetske potrebe iz obnovljivih izvora kako bi udovoljila vlastitim godišnjim potrebama energije, čime se smanjuje uporaba neobnovljive energije u stambenom sektoru, [1]. Najčešće upotrebljen obnovljivi izvor energije

u Republici Hrvatskoj je fotonaponski sustav [2].

Iz tablice 1. proizlazi da fotonaponski sustavi predstavljaju najčešći obnovljivi izvor energije u RH s 94 % od ukupnog broja OIE postrojenja. U ukupnoj snazi FN sudjeluje sa samo 7,7 %. Prednost primjene fotonaponskih sustava je što njihova proizvodnja (ako zanemarimo održavanje) ovisi samo o insolaciji koja je usprkos stohastici predvidiva i neovisna o cijenama energenata.

1. Integracija fotonaponskih sustava na građevine

Fotonaponski sustavi na postojeće građevine se najčešće postavljaju koristeći aluminijsku predgotovljenu konstrukciju koja se u slučaju kosog

TABLICA 1. Elektrane na OIE s kojima je HROTE sklopio ugovor o otkupu električne energije po Tarifnom sustavu, a čija su postrojenja u sustavu poticanja; – elektrane na mreži – stanje 31. prosinca 2016., izvor [2]

Rb	Elektrane na OIE	Broj elektrana	Ukupna snaga (kW)	Prosječna snaga	Udio u broju	Udio u snazi OIE elektrana
1.	Sunčane elektrane	1219	49.479	41	94,2 %	7,7 %
2.	Hydroelektrane	11	3.885	353	0,9 %	0,6 %
3.	Elektrane na biomasu	12	25.955	2.163	0,9 %	4,1 %
4.	Elektrane na biopljin	26	30.435	1.171	2,0 %	4,8 %
5.	Elektrane na deponijski plin	2	5.500	2.750	0,2 %	0,9 %
6.	Vjetroelektrane	18	412.000	22.889	1,4 %	64,3 %
7.	Kogeneracijska postrojenja	6	113.293	18.882	0,5 %	17,7 %
8.	Ukupno elektrane na OIE	1.294	640.547	495	100 %	100,0 %

Oznake	
AM	Air Mass
ϵ	emisivnost
EVA	Ethylene Vinyl Acetate
FN	fotonapon
IC	infracrveno
IR	Infra Red
LID	Light Induced Degradation
OIE	obnovljivi izvori energije
PID	Potential induced degradation
STC	Standard Test Condition



SLIKA 3. Pokrov s integriranim solarnim ćelijama [4]



SLIKA 4. Fotonaponski elementi integrirani u fasadu, [5]



SLIKA 1. Fotonaponski paneli na ravnom krovu, izvor "Končar"



SLIKA 2. Fotonaponski paneli na krovu novog objekta [3]

krovišta fiksira na nosače podvučene pod krovni pokrov kako bi se osigurala nesmetana odvodnja oborinskih voda. U slučaju ravnih krovova koristi se konstrukcija fiksirana u betonske stope (slika 1.) ili plastične kadice u slučaju da se radi o ravnom krovu na kojem nije moguće fiksirati konstrukciju vijcima (prvi primjer u RH, Konzum maxi Sopot 2011. godine). Prilikom gradnje novih objekata sve je češća integracija na drvenu konstrukciju krovišta (slika 2.), ili korištenje pokrova u kojem su integrirane fotonaponske ćelije (slika 3.).

Glavni problem integriranog pokrova je u smanjenom stupnju djelovanja uslijed povećanja radne temperature panela (0,3 – 0,5 % i više za povećanje temperature od 1°C) zbog smanjenje prozračnosti i nemogućnost pristupa spojnima mjestima. Smanjenje snage uslijed povećanja radne temperature nije toliko izraženo kod panela integriranih u fasade objekata (slika 4.).

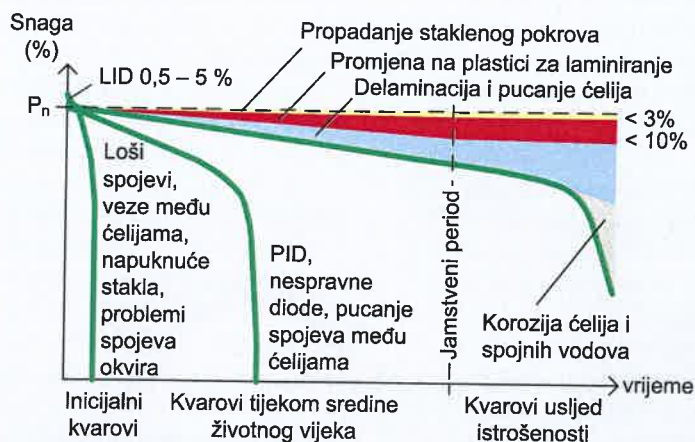
Kod fasadnih elemenata problem predstavlja nemogućnost postizanja optimalnog kuta upadne svjetlosti jer su pozicionirani sukladno arhitektonskom izričaju.

2. Ispitivanje FN panela

2.1. Tehnički problemi koji pogađaju FN panela

Fotonaponske elektrane imaju životni vijek od 25 do 30 godina. Od toga fotonaponski su moduli uobičajeno pokriveni 20-godišnjim jamstvom. Produkcija ćelija uobičajeno pada 1 % nazivnog kapaciteta godišnje. Tijekom životnog ciklusa moguća su brojna oštećenja. Jedna od značajnijih studija [6] prikazuje zastupljenost svih tehničkih problema koji mogu pogoditi fotonaponske panele (slika 5.).

Iz slike 5. vidljivo je da plastika koja se koristi za laminiranje fotonaponskih ćelija *Ethylene Vinyl Acetate* (EVA) značajno doprinosi smanjenju



SLIKA 5. Uzroci kvara na FN panelima, [6]

nju kapaciteta panela dok stakleni pokrov kao naizgled osjetljivi materijal predstavlja relativno pouzdanu komponentu. To je posebno bitno kod fasadne aplikacije jer se moraju birati kvalitetniji materijali koji neće dovesti do promjene u boji ili delaminacije.

2.2. Uobičajene metode ispitivanje FN panela

Prva ispitivanje na fotonaponskim panelima provodi proizvođač nakon pojedinih faza procesa proizvodnje te laminacije i smještaja u okvir. Gotov proizvod testira se na poznatom izvoru svjetlosti i pušta u prodaju. Osnovni test u standardnim okolnostima, tzv. STS, provodi se u uvjetima zračenja 1000 W/m^2 , pri temperaturi 25°C i masi zraka AM 1,5 koja odgovara Europi; (za ekvator AM iznosi 1). Uvjeti nakon ugradnje značajno se mijenjaju u odnosu na laboratorijske prilike te se ispitivanje najčešće provodi na tri načina:

- mjerenjem strujno-naponskih prilika
- infracrvenom termografijom i
- fotoluminiscencijom promatranom u infracrvenom (IC) i njemu bliskom dijelu spektra.

Oprema za električno ispitivanje fotonaponskih sustava iziskuje više tisuća eura investicije, a samo mjerenje i mjerni rezultati ovise o trenutnom iznosu zračenja koje se značajno mijenja tijekom vremena. Na osnovu rezultata mogu se donijeti zaključci o neispravnosti pojedinih ćelija ili dioda. Lokalizacija kvara puno brže se provodi IC termografijom te zbog termičke tromosti rezultat mjerenja ne ovisi o brzim promjenama zračenja. Osnovi uvjet IC analize je insolacija od minimalno 500 W/m^2 [7]. Fotoluminiscencija je postupak kada se na sustav panela narine inverzni napon od nekoliko stotina volti i paneli počinju emitiranje svjetlosti koju detektiramo u bliskom IC dijelu spektra fotoaparatom i IC dijelu spektra termokamerom. Dva su međunarodna standarda za ispitivanje FN, IEC 62446 i IEC 60904:

- IEC 62446-1:2016 Photovoltaic (PV) systems Requirements for testing, documentation and maintenance – Part 1: Grid connected systems – Documentation, commissioning tests and inspection, i IEC 62446-3 Photovoltaic (PV) systems – Requirements for testing, documentation and maintenance – Part 3: Photovoltaic modules and plants – Outdoor infrared thermography i
- IEC 60904-12 Ed1.0 Photovoltaic devices – Part 12: Infrared thermography of photovoltaic modules International i IEC 60904-14 Photovoltaic devices – Part 14. Outdoor infrared thermography of photovoltaic modules and plants

3. IC termografija FN panela

3.1. Termalni obrasci na FN panelima

Analiza FN panela termografskom kamerom dovodi do uočavanja različitih toplinskih obrazaca. Prividna temperatura varira ovisno o parametrima snimanja. Najtočnije vrijednosti dobivaju se analizom plastične stražnje strane panela, što u slučaju FN sustava na građevinama često nije moguće provesti.

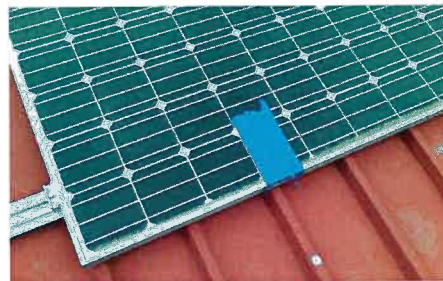
Zasjenjena ćelija, prikazana na slici 6. ne generira elektromotornu silu i predstavlja otpor prolasku struje iz ostalih ćelija iz serije, što dovodi do zagrijavanja prikazanog na slici 7. Snimak je napravljen termografskom kamerom FLIR E6 rezolucije 160×120 piksela, vidnog polja $45^\circ \times 34^\circ$, temperaturnog opsega mjerenja od -20° do 250°C , razlučivosti temperaturne razlike $<0.06^\circ\text{C}$, brzine osvježavanja 9 Hz i točnosti $\pm 2\%$ ili 2°C , uz podešenje emisivnosti $\epsilon=0,85$ koje je karakteristično za staklo. Usprkos visokoj emisivnosti stakla problem refleksije za IC zračenje nije zanemariv, na što je ukazano u radu [7].

Zasjenjenje FN panela ne mora biti očigledno u vidljivom dijelu spektra da bi bilo uočljivo termalnom kamerom u infracrvenom dijelu. Na slici 8 prikazana je površina panela prekrivena ptičjim izmetom. Na pripadajućem termogramu može se uočiti povećanje prividne temperature od 2°C uslijed zaprljanija (slika 9).

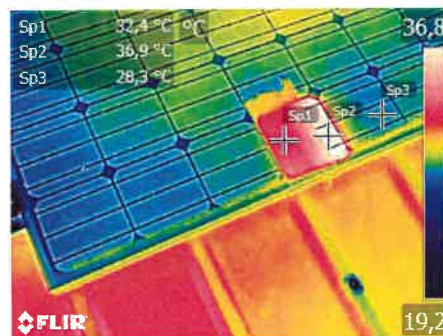
Ptičji izmet i akumulacija prašine na panelima dovodi do smanjenja proizvodnje, ali i do različitih toplinskih naprezanja pojedinih ćelija, koja uzrokuju pucanja veza među ćelijama ili samih ćelija. Stoga je periodično čišćenje površine panela važno ne samo radi održavanja proizvodnje već i pouzdanosti sustava.

FN ćelije panela spojene su vodičima u spojnoj kutiji. Kutija je smještena s donje strane panela. Na slici 11. prikazan je karakteristični termalni obrazac spojne kutije. Zbog termičkog otpora koji kutija predstavlja hlađenju panela na njenom mjestu temperatura je za 2°C veća od temperature ostatka panela.

Iz prethodnih primjera vidljiva je razlika u temperaturi pojedinih dijelova panela, tzv. žarišta (*hot spots*), ali ona ne znače nužno neispravnost. Često se na mjestu spojne kutije može uočiti povećana temperatura i stoga je za donošenje zaključaka na osnovu termografske snimke neophodno znanje o funkcioniranju panela kao i edukacija operatera na području IC termografije. Na području elektrotehnike ne postoji jedinstveni tehnički standard procjene ispravnosti elektroenergetskih instalacija na osnovu termograma. Metodologija se uglavnom svodi na analizu razlike temperatura između sličnih komponenti uz najčešće zanemarene iznose opte-



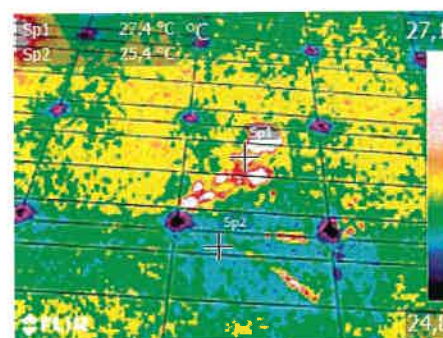
SLIKA 6. Zasjenjenje ćelije panela



SLIKA 7. Termografski snimak zasjenjenja ćelije panela



SLIKA 8. Površina panela prekrivena ptičjim izmetom



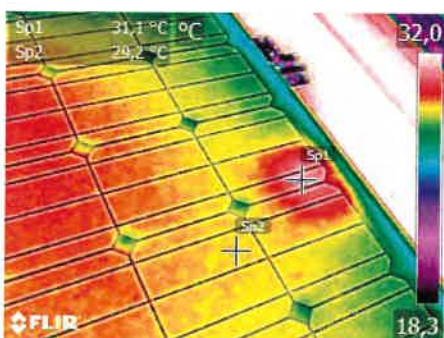
SLIKA 9. Termalni obrazac otkriva položaj ptičjeg izmeta



SLIKA 10. FN panel sa strane na kojoj se nalazi spojna kutija

TABLICA 2. Preporučeni postupci u održavanju na osnovu razlike temperatura [8]

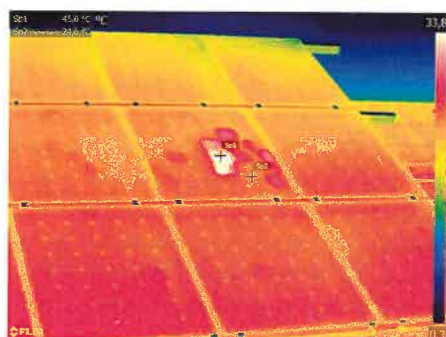
Prioritet	Razlika temperatura između		Preporučena korektivna radnja
	sličnih komponenti	komponente i okoline	
1	> 15° C	> 40° C	Potrebna hitna intervencija
2	-	21 – 40° C	Potreban nadzor do korektivnog održavanja
3	4 – 15° C	11 – 20° C	Indikator problema; održavanje kada vrijeme dopusti
4	1 – 3° C	1 – 10° C	Mogućnost problema; potrebno istražiti



SLIKA 11. Termalni obrazac spojne kutije FN panela



SLIKA 13. Primjer posljedice požara FN sustava, [9]



SLIKA 12. Obrazac termalnog žarišta, izvor FLIR Tools



SLIKA 14. Primjer posljedice požara FN sustava [10]

rećenja pojedinih komponenti. Zbog toga postoji više organizacija koje su tijekom godina razvile svoju metodologiju održavanja. Jedna od takvih organizacija je International Electrical Testing Association (NETA) čiji su kriteriji iskazani u tablici 2. [8]

Navedeni primjeri (ilustrirani slikom 9. i 11. s temperaturnim razlikama iznosu 2 i više stupnja C) sukladno tablici 2. iziskuju promatranje. U slučaju spojne kutije obrazac se neće promijeniti, ali u slučaju ptičjeg izmeta nestaje s pojavom prve kiše ili pranja FN panela. Na slici 12. može se iščitati temperatura panela od 24,6° C, a na mjestu toplinskog žarišta 45° C. Radi se o razlici temperature za više od 20° C iz čega se može zaključiti da će se panel najvjerojatnije morati zamijeniti. (Slika je primjer iz programske podrške FLIR Tools)

3.2. Posljedice neodržavanja FN panela

Praćenje stanja opreme je neophodno jer neispravna oprema može dovesti do značajnijih negativnih posljedica. Na slici 13. i slici 14. vidljive su posljedice neispravnog FN sustava.

4. Zaključak

Fotonaponski sustavi na građevinama predstavljaju najjednostavniji način ispunjenja energetske politike EU u pogledu zgrada nulte energetske potrošnje. Osiguravanje nominalnog životnog vijeka fotonaponskog sustava od 20 godina i više iziskuje kontinuirani nadzor i održavanje kako bi nesmetano obavljali svoju funkciju proizvodnje električne energije. Infracrvena termografija je brza beskontaktna metoda analize ispravnosti fotonaponskih sustava. Njena primjena u održavanju može dovesti do prevencije problema dok su

u začetku i ne predstavljaju ugrozu sustava. Poremećaj se lokalizira brzo, a najveća prednost je da se postupak može provoditi u operativnom stanju bez prekida rada elektrane.

Literatura

1. U.S. Department of Energy by The National Institute of Building Sciences, (2015), *A Common Definition for Zero Energy Buildings*,
2. Ivanović M., Glavaš H. (2018), The Measures of The Winter Package EC and Biogas Power Plants in Croatia, *Journal of Energy, Scientific Professional Journal Of Energy, Electricity, Power Systems, HEP d.d. and HRO CIGRÉ*, ISSN 1849–0751, Print ISSN 0013–7448, u postupku objave
3. <http://www.windandsun.co.uk/products/PV-Mounting-Structures/GSE-Integration-Roof-Integrated#.WqQsdezwaM8> (pristup ostvaren 02.03.2018.)
4. <http://www.solarmassenergy.com> (pristup ostvaren 02.03.2018.)
5. http://www.solarbuildingtech.com/Custom_Overlay_Panels/Custom_BIPV_Panel_Building_Solar_Sunroof.htm (pristup ostvaren 02.03.2018.)
6. Köntges M., Kurtz S., Packard C., Jahn U., Berger K., Kato K., Friesen T., Liu H., Iseghem M., (2014), *Review of Failures of Photovoltaic Modules*, Report IEA-PVPS T13-01:2014, ISBN 978-3-906042-16-9
7. Glavaš H., Vukobratović M., Primorac M. and Muštran D., (2017), *Infrared thermography in inspection of photovoltaic panels*, 2017 International Conference on Smart Systems and Technologies (SST), Osijek, 2017, pp. 63-68. doi: 10.1109/SST.2017.8188671
8. Glavaš, H., Józsa, L., Barić, T. (2016). *Infrared thermography in energy audit of electrical installations*. *Tehnički vjesnik*, 23(5). doi:10.17559/TV-20150702185599
9. <http://tgalsolar.com/2012/09/05/safety-ac-dc-choice/> (pristup ostvaren 02.03.2018.)
10. <http://www.acsolarwarehouse.com/news/solar-fires-dc-arc-faults-on-solar-systems/> (pristup ostvaren 02.03.2018.)

hrvoje.glavas@ferit.hr
dvidak@gfos.hr
zeljko.jersek@ferit.hr
smaricic@gfos.hr