

Daniel Muštran
HEP - Operator distribucijskog sustava d.o.o.
Elektroslavonija Osijek
daniel.mustran@hep.hr

Hrvoje Glavaš
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Elektrotehnički fakultet Osijek
hrvoje.glavas@etfos.hr

OTKRIVANJE PARCIJALNIH IZBIJANJA NA KABELSKIM ZAVRŠECIMA U TS 10(20)/0,4 KV KORIŠTENJEM TERMOGRAFIJE

SAŽETAK

Infracrvena termografija je prisutna u civilnoj uporabi od kraja 50-tih prošlog stoljeća. Do sada je prepoznata kao bezkontaktna, dvodimenzionalna metoda snimanja u realnom vremenu, prikladna za traženje i na kraju rješavanje problema u mnogim područjima industrije, medicine, istraživanja i testiranja kvalitete te ukratko svuda gdje imamo potrebu dobiti brze rezultate promatranog procesa koji za svoj rezultat ima i zračenje određene količine topline.

U ovom radu ćemo se osvrnuti na problem uočavanja parcijalnih izbijanja u transformatorskim stanicama, posebice na 10kV kabelskim završecima, te mogućnosti njihove prevencije i rješavanja po nastanku problema.

Cljučne riječi: infracrvena termografija, kabelski završeci, parcijalni izboji, korona

DISCOVERING PARTIAL DISCHARGE ON CABLE TERMINATIONS IN TRANSFORMER STATION 10(20)/0.4 KV USING INFRARED THERMOGRAPHY

SUMMARY

Infrared thermography is present in civilian use since the late 50s of the last century. So far it has been recognized as non-contact, two-dimensional imaging method in real time, usable in search and at the end solving problems in many areas of industry, medicine, research, and testing the quality and in short everywhere where there is a need to get fast results of the process observed, that has a certain amount of heat emanating from it.

In this article we will look at the problem of detecting partial discharge in the transformer stations, especially in the 10kV cable terminations, and the possibility of their prevention and solving when the problem appears.

Key words: infrared thermography, cable terminations, partial discharges, corona

1. UVOD

1.1. Cilj rada

Prisutnost i jačina parcijalnih izbijanja su kriteriji za procjenu kvalitete izolacijskog sustava električne opreme. Dugotrajno djelovanje parcijalnih izbijanja pokazuje razorno djelovanje pretežno na izolacijske sustave izrađene od organskih materijala te može dovesti do proboja. Otkrivanje parcijalnih izboja i utvrđivanje stupnja prioriteta otklanjanja ponekad nije jednostavno. Obzirom na prisustvo „visokog napona“, praćenje stanja izolacije opreme mora biti nedestruktivno i bezkontaktno. Uz termografsko praćenje stanja opreme, postoje i druge metode detekcije i lokalizaciju parcijalnih izboja poput ultrazvučne detekcije i upotrebe multispektralne kamere. Praktičan dio rada daje sedam primjera iz svakodnevne prakse koji su dokumentirani kamerom FLIR ThermaCam PM695 podešenom za snimanje temperaturnog područja od -40°C do 120°C .

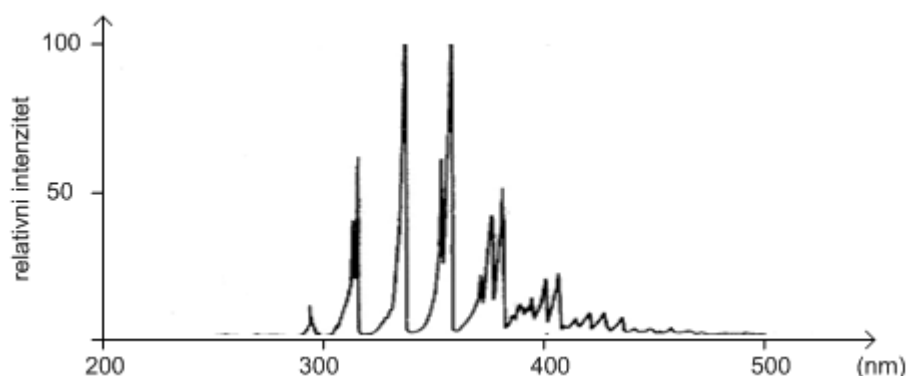
1.2. Parcijalna izbijanja

Parcijalna izbijanja predstavljaju djelomični proboj izolacijskog sustava opreme. Oštećuju izolacijski sustav i vremenom mogu biti uzrokom proboja,[3]. Mogu se pojaviti između dvije vodljive elektrode bez trajnog zatvaranja raspora među njima. Pojavljuju se unutar nazivnih naponskih opterećenja, u visoko-naponskoj opremi jednako kao i u nisko-naponskoj odnosno u pravilu tamo gdje su izolacijska svojstva opreme narušena. Isti oštećuje izolacijski sustav i vremenom mogu biti uzrokom potpunog proboja izolacije.

Djelovanje parcijalnih izbijanja je dugotrajan proces, a učinci djelovanja primjećuju se tek nakon dužeg vremena.

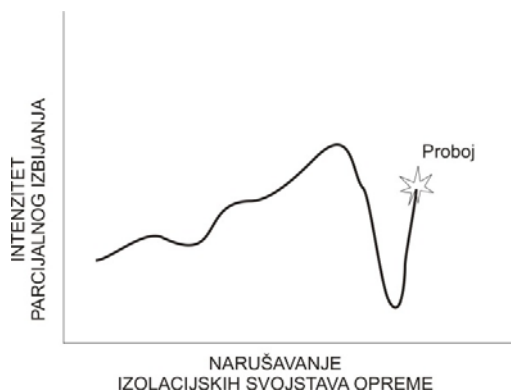
Po svome karakteru djelovanje parcijalnih izbijanja je složeno i može se podijeliti na mehaničko, kemijsko, toplinsko i električko. Združeni učinci dovode do postupene degradacije izolacije i u konačnici proboja izolacijskog sustava.

Jačina emitiranog svjetla i njegova valna duljina pri parcijalnim izbijanjima ovisi o izolacijskom materijalu (plin, tekućina ili čvrsti izolacijski materijal) i različitim drugim faktorima (temperaturi, pritisku i sl.). Jednako tako i spektar svjetla kojeg emitira parcijalno izbijanje, ovisi o okolnom mediju i jačini izbijanja. Optički spektar se može kretati od UV dijela spektra pa sve do optičkog i infracrvenog (primjerice, slaba korona je vidljiva u valnim duljinama ispod 400nm dok se jako parcijalno izbijanje često nalazi unutar vizualnog dijela spektra između 400 i 700nm). Ugrubo se ipak može reći da je 90% emitirane energije unutar UV dijela spektra, što je vidljivo na slici 1., [7].

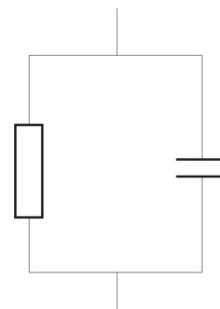


Slika 1. Tipičan izgled spektra korone, izvor [7]

Kod parcijalnih izbijanja je osobito važna sposobnost razlikovanja parcijalnih izbijanja „u začetku“ i onih, iza kojih često slijedi proboj izolacije opreme.



Slika 2. Intenzitet parcijalnih izbijanja kroz vrijeme



Slika 3. Pojednostavljeni model izolacije

Na slici 2. je prikazan intenzitet parcijalnih izbijanja kroz vrijeme,[2]. Uočavamo da intenzitet parcijalnih izbijanja znatno pada kratko prije proboja izolacijskog sustava. To će se dogoditi kada je karbonizacija izolacije toliko uznapredovala da se otporna komponenta, pojednostavljenog modela izolacije sa slike 3, toliko smanji da omogući proboj izolacije preko sebe. Parcijalno izbijanje se može odvijati unutar izolacijskog sustava ili po njegovoj površini, [1], [3].

Korona je vrsta parcijalnog izbijanja. Ono što uobičajeno nazivamo parcijalnim izbijanjem se najčešće odvija po površini opreme dok se korona odvija između opreme i okolnog zraka. Uobičajeno ima vrlo slab sjaj i nije vidljiva na danjem svjetlu. Najčešće se nalazi uokolo opreme sa nazivnim naponom preko 3,5kV. Uslijed ionizacije, okolni zrak se raspada i kao rezultat dobijemo pojavu ozona, dušičnog oksida (koji dovodi do stvaranja dušične kiseline pri povećanoj vlažnosti zraka), UV zračenja (ponajviše u području elektromagnetskog spektra između 300 i 400nm) [5], elektromagnetskog zračenja i karakterističnog zvuka prštanja ili šuštanja pri čemu je ozbiljnost poremećaja direktno proporcionalna jačini prštanja, [4].

Ozon (O_3) je alotrop kisika čija se molekula sastoji od 3 atoma kisika. Ozon je plin jakog mirisa (osjeti se u zraku već pri volumnom udjelu od 0,0001%), blijedo plave boje. Lako reagira s drugim molekulama. Ozon je najjače oksidacijsko sredstvo poslije fluora i vrlo je otrovan.

Potrebno je razumjeti da korona nije uzrokovana protjecanjem struje i ne ovisi o jačini iste kroz opremu, već ovisi o dovoljno visokom potencijalu na opremi.

Korona generira vrlo malu količinu topline i relativno je teško uočljiva infracrvenom kamerom te često ostavlja bijeli, vlaknast trag (sličan prašini) na opremi koji je znak fizičkog raspadanja materijala.

Kritična mjesta za nastanak korone su relativno mali zračni raspori među opremom pod naponom, izolacijske ploče, vodiči koji dodiruju izolatore ili druge vodiče, bridovi na opremi, kablsvi završeci, sabirnice u blizini potpornih izolatora i slično. U pravilu to su mjesta na kojima su električna polja pojačana. Onečišćenja opreme prašinom, uljima i sličnim, povećana vlažnost zraka, doprinose pojavi.

2. DETEKCIJA PARCIJALNIH IZBIJANJA UPOTREBOM TERMOGRAFIJE

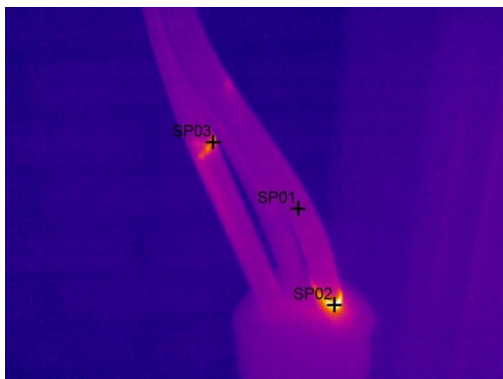
2.1. Uočavanje problema

Pri redovnim termografskim kontrolama, u TS 110/x kV, TS 35/10 kV i TS 10/0,4 kV, parcijalna izbijanja i korona su uobičajen problem koji se uočava i bilježi. Oprema je izložena nominalnim, a ponekad i povišenim naponima, često je dugi niz godina u pogonu, te je postupan nastanak ovog problema neizbježan u većem ili manjem intenzitetu..

Termografskom kamerom je sam početak nastanka parcijalnih izbijanja i korone teško uočljiv – najčešće ih je moguće vidjeti u podmakloj fazi pri kojoj je vrlo često moguće osjetiti i miris ozona u prostoru te čuti zvuk prštanja. Ponekad se mjesto izbijanja može vidjeti i golim okom. Kod takvih slučajeva, iako je povišenje temperature opreme minimalno (često ispod 2-3 stupnja Celzijusa), lokalni proboj izolacije opreme je „samo pitanje vremena“ i s istima treba postupati iznimno oprezno (zbog osobne sigurnosti) i prema najvišem stupnju prioriteta za otklanjanje.

2.1.1. Primjer 1

Prvi primjer je uočen u KTS 10/0,4kV 30 - Sjever 1 (Pogon Đakovo). Kabelski završetak nije vizualno niti zvučno prštao te se ozon nije osjetio. Termografijom je utvrđen problem u točki SP02 i SP03 (vidi sliku 4.). Razlika između temperature referentne točke (SP01), u odnosu na temperaturu točke najvećeg poremećaja (SP02) iznosi 14°C.



Slika 4. Termografska slika - primjer 1.

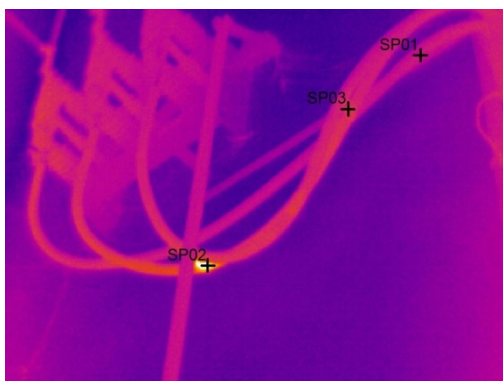


Slika 5. Vizualna slika - primjer 1.

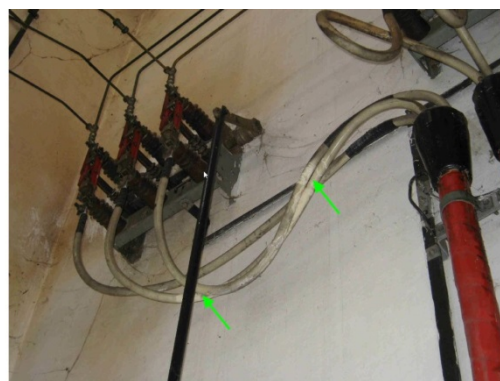
Emisivitet je bio podešen na 0,93 a temperatura okoline na 5°C. Također, moguće je uočiti znakove raspadanja materijala na mjestu parcijalnog izbijanja u obliku bijele prašine (slika 5). Ovaj poremećaj svakako pripada hitnom prioritetu otklanjanja i obzirom na izraženost i mjesto izbijanja (posebice točka poremećaja SP02), vjerujemo da jedino zamjena potpunog kabelskog završetka može riješiti problem u potpunosti.

2.1.2. Primjer 2

Ovaj primjer je uočen u PTTS 10/0,4kV 7, Belišće. Zvučno i vizualno prštanje je bilo prisutno, ozon se nije osjetio. Termografijom je utvrđen problem u točki SP02 i SP03 (vidi sliku 6.). Razlika između temperature referentne točke (SP01), u odnosu na temperaturu točke najvećeg poremećaja (SP02) je bila 11,1°C. Emisivitet je podešen na 0,93, temperatura okoline na 15°C.



Slika 6. Termografska slika - primjer 2.



Slika 7. Vizualna slika - primjer 2.

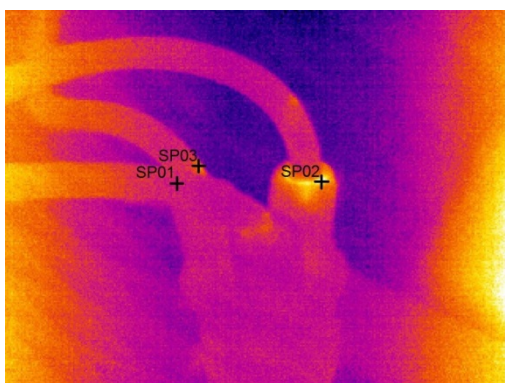
Točka SP02 je logično mjesto pojave poremećaja iz nekoliko razloga. Prvi razlog je međusobna blizina faznih vodiča kabelskog završetka. Drugi razlog je blizina uzemljenog dijela rastavljača (motka za upravljanje rastavljačem). Ako u ovo uključimo i duljinu uporabe te visinu napona na fazama, lako je zaključiti da ovi vodiči, bez dodatne, pojačane izolacije, s vremenom mogu razviti gornji problem.

Sličan je slučaj u točki SP03. U ovoj točki su u problem uključene sve tri faze koje se međusobno gotovo ili zaista dodiruju. Na obje točke, moguće je uočiti znakove raspadanja materijala na mjestu izbijanja u obliku bijele prašine (slika 7.).

Poremećaj zahtjeva hitnu intervenciju pri čemu bi bilo dovoljno omogućiti veći razmak među pojedinim fazama te dodatno izolirati svaku fazu sa toploskupljajućim izolirajućim cijevima (ili sličnim toploskupljajućim izolirajućim materijalom).

2.1.3. Primjer 3

Primjer je uočen u KTS 10/0,4kV – 12, Donji Miholjac (slika 8.). U prostoru se nije osjetio ozon, niti se vidjelo ili čulo pržtanje od mjesta poremećaja. Termografskom kamerom je zabilježena donja slika pri temperaturi okoline 10°C i podešenog emisiviteta 0,93. Razlika u temperaturi između referentne (SP01) i točke jačeg poremećaja (SP02) je bila 2,1°C. Vrlo je jasno okom vidljiva točka izbijanja SP02 i bijeli trag koji ostavlja pojava (slika 9). Stupanj prioriteta za otklanjanje poremećaja je označen kao hitan.



Slika 8. Termografska slika - primjer 3.

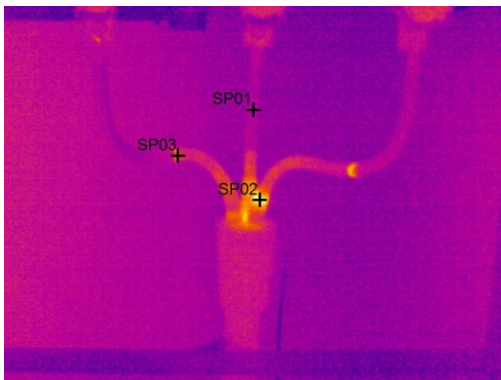


Slika 9. Vizualna slika - primjer 3.

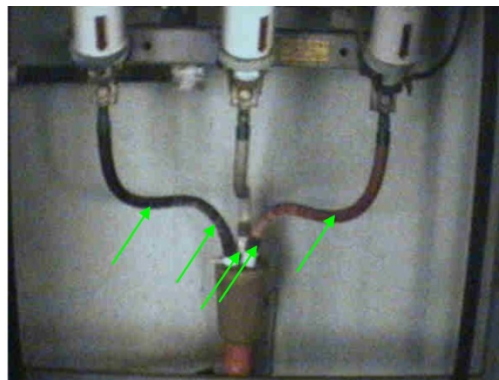
Kabel glave su kritična mjesta nastanka parcijalnih izbijanja, zbog povećanog naponskog naprezanja (blizine drugih faznih vodiča) te nečistoća koje se godinama nakupljaju na žilama pojedinih faza. Ovaj slučaj je moguće pokušati sanirati čišćenjem glave i faznih završetaka te dodatnim izoliranjem pojedinih faznih vodiča navlačenjem toploskupljajućih izolirajućih cijevima. Po sanaciji, predlaže se ponoviti termografsko snimanje te ukoliko je poremećaj i dalje prisutan, predlaže se pristupiti zamjeni kompletnog kablenskog završetka.

2.1.4. Primjer 4

Primjer je uočen u KTS 10/0,4kV – Novi Pogon, Osijek (slika 10.). Pržtanje je bilo čujno, ozon se nije osjetio. Termografskom kamerom je zabilježena donja slika pri temperaturi okoline 10°C i podešenog emisiviteta 0,93. Razlika u temperaturi između referentne (SP01) i točke jačeg poremećaja (SP02) je bila 2,5°C. Stupanj prioriteta za otklanjanje poremećaja je označen kao hitan.



Slika 10. Termografska slika - primjer 4.

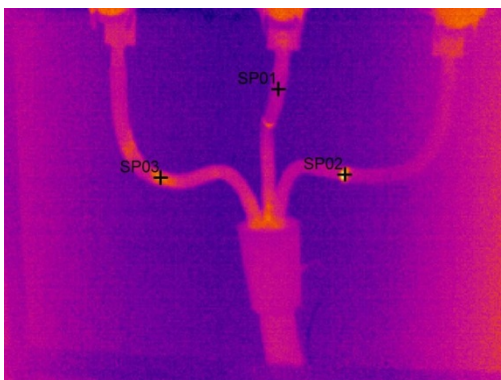


Slika 11. Vizualna slika - primjer 4.

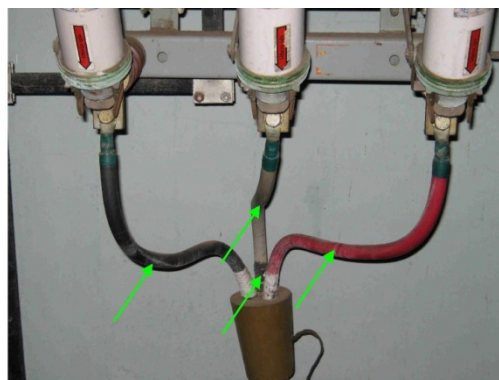
Točke na kojima je nastao ovaj poremećaj upućuju na zaključak da je ovaj kabelski završetak najbolje izraditi iznova (bilo zamjenom kompletnog kabela bilo rezanjem i izradom novog završetka).

2.1.5. Primjer 5

Primjer je uočen u KTS 10/0,4kV – Novi Pogon, Osijek, TP10kV – br.3 (slika 12.). Pržtanje nije bilo čujno, ozon se nije osjetio. Termografskom kamerom je zabilježena donja slika pri temperaturi okoline 10°C i podešenog emisiviteta 0,93. Razlika u temperaturi između referentne (SP01) i točke jačeg poremećaja (SP02) je bila 3,5°C. Stupanj prioriteta za otklanjanje poremećaja je označen kao hitan.



Slika 12. Termografska slika - primjer 5.

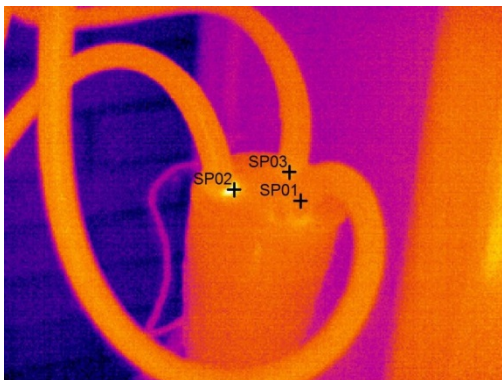


Slika 13. Vizualna slika - primjer 5.

Ako promotramo vizualnu sliku, zamjećujemo da je na žilama koje izlaze iz same kabelske glave već izrađena pojačana izolacija. Postoji sumnja da je problem tamo već postojao te se omatanjem pojedinih žila kabelskog završetka, pokušalo povećati stupanj izolacije. Zbog navedenog, predloženo je da se kompletan kabelski završetak (ili cjelokupni kabel) zamijeni novim. Smatramo da navlačenje toplospajajućih izolirajućih cijevi, u ovom slučaju, nije konačno rješenje.

2.1.6. Primjer 6

Ovaj primjer je zabilježen u KTS 10/0,4kV – 15, Darda. Pržtanje nije bilo čujno, ozon se nije osjetio. Termografskom kamerom je zabilježena donja slika pri temperaturi okoline 10°C i podešenog emisiviteta 0,93. Razlika u temperaturi između referentne (SP01) i točke jačeg poremećaja (SP02) je bila 2,3°C. Stupanj prioriteta za otklanjanje poremećaja je označen kao ozbiljan, sa stupnjem brzine otklanjanja čim redovni poslovi dopuste.



Slika 14. Termografska slika - primjer 6.

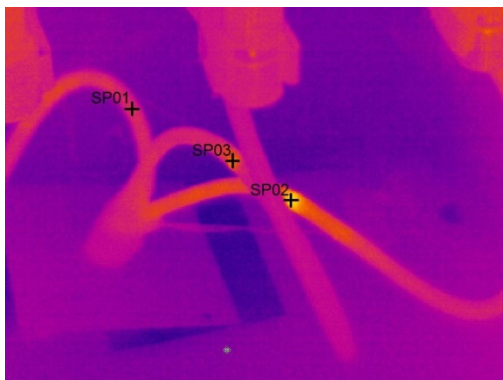


Slika 15. Vizualna slika - primjer 6.

Zbog povećanog sloja prašine po površini glave (na slici 15. je osim veće količine prašine na kablskom završetku jasno vidljiva i „garež“ čija je pojava moguća zbog parcijalnih izbijanja) i narušene kvalitete izolacijskog sustava, unatoč pojačanoj izolaciji pojedinih žila kablskog završetka, parcijalno izbijanje se pojavilo i smatramo da je najjednostavnije i najkvalitetnije, zamijeniti kompletan kablski završetak.

2.1.7. Primjer 7

Ovaj primjer je zabilježen u KTS 10/0,4kV – 12, Beli Manastir. Prštanje nije bilo čujno, ozon se nije osjetio. Termografskom kamerom je zabilježena donja slika pri temperaturi okoline 20°C i podešenog emisiviteta 0,93. Razlika u temperaturi između referentne (SP01) i točke jačeg poremećaja (SP02) je bila 3,7°C. Stupanj prioriteta za otklanjanje poremećaja je označen kao hitan.



Slika 16. Termografska slika - primjer 7.



Slika 17. Vizualna slika - primjer 7.

Ovaj slučaj je moguće pokušati sanirati te dodatnim izoliranjem pojedinih faznih vodiča navlačenjem toplioskupljajućih izolirajućih cijevi. Po sanaciji, predlaže se ponoviti termografsko snimanje.

2.2. Prevencija nastanka parcijalnih izbijanja na opremi i otklanjanje

Iz navedenih primjera, kao i sličnih koji ovdje nisu obrađeni, zaključujemo da je dobar dio poremećaja, koji se uoče na kablskim završecima, moguće spriječiti pri izradi samog kablskog završetka. Potrebno je obratiti pažnju na mjesta na kojima su vodiči blizu uzemljenih dijelova postrojenja ili blizu drugih faznih vodiča. Ponekad je dovoljno razmaknuti fazne vodiče, međusobno jedan od drugog, da do poremećaja nikad ni ne dođe. Ponekad je moguće navući pojačanu izolaciju na mjestima na kojima razmicanje vodiča nije moguće i time spriječiti nastanak. Pri tome je ključno da djelatnici koji rade na ovim poslovima budu educirani za prepoznavanje kritičnih točaka te da budu svjesni mogućeg nastanka problema na istima.

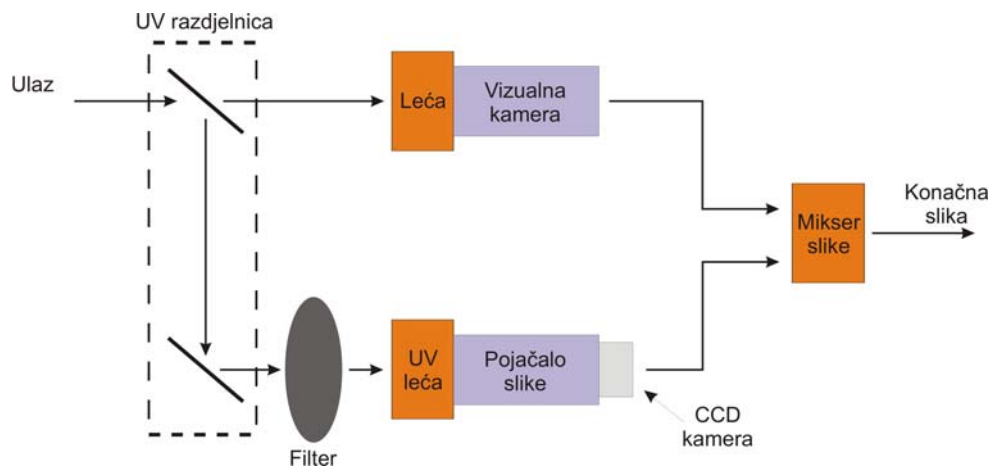
U redovnom održavanju postrojenja, čistoća ugrađene opreme je primarna. Godine korištenja opreme mogu u pojedinim slučajevima, uzrokovati taloženje sloja prašine na opremi i time olakšava stvaranje parcijalnih izbijanja i time narušavanja izolacijskog sustava opreme. Vizualnim pregledom (jednako kao i termografskom kontrolom) opreme je potrebno utvrditi kritična mjesta, posebice ona koja imaju vidljive znakove izbijanja (ostaci „gareži“ kao na slici 15., bijele prašine kao posljedice korone na pojedinim mjestima i slično), očistiti ih, dodatno izolirati prema potrebi i uputiti ekipu za termografsku kontrolu na utvrđivanje otklanjanja poremećaja (termografsku kontrolu postrojenja je potrebno obavljati redovno te poremećaje na utvrđenim mjestima otklanjati po pronalasku). Zbog navedenog, pri godišnjim revizijama opreme, treba na kritična mjesta posebno obratiti pažnju.

3. DRUGI NAČINI UOČAVANJA PARCIJALNIH IZBIJANJA I KORONE

U prethodnom tekstu smo već napomenuli da je termografskom kamerom teško uočiti parcijalna izbijanja i koronu u samom začetku, kada problem nije jače izražen. Razlog tomu je što termografska kamera bilježi termički zapis koji ostavlja parcijalno izbijanje. Međutim, slabi izboji često ne ostavljaju dovoljan termički zapis te je za ova snimanja daleko prikladnije koristiti UV kameru i ultrazvučnu detekciju.

UV kamere su kamere koje rade u području ultravioletnog dijela spektra rade u rasponu između 200nm i 280nm. Najčešće se koristi dio spektra između 240nm i 280nm iz jednostavnog razloga jer ozonski omotač Zemlje upija UV zračenje koje dolazi na Zemlju u ovom dijelu spektra te ono što kamera uoči može jedino imati izvor sa Zemlje. Ujedno, u tom dijelu spektra se nalazi i najveći dio energije koju emitira parcijalno izbijanje.

Detektor koji se koristi je UV kvantni detektor u obliku pojačivačke cijevi za pojačanje slike sa Cezij-Telurid (Cs-Te) katodom. Ova katoda pretvara detektirane fotone u foto-elektrone u omjeru 18% nakon čega ih se pojačava približno 2 milijuna puta. Nadalje se ovaj signal obrađuje putem standardnog CCD (Charge-coupled device) detektora i periferalnih elektroničkih sklopova (vidi sliku 18.).[5] [7]



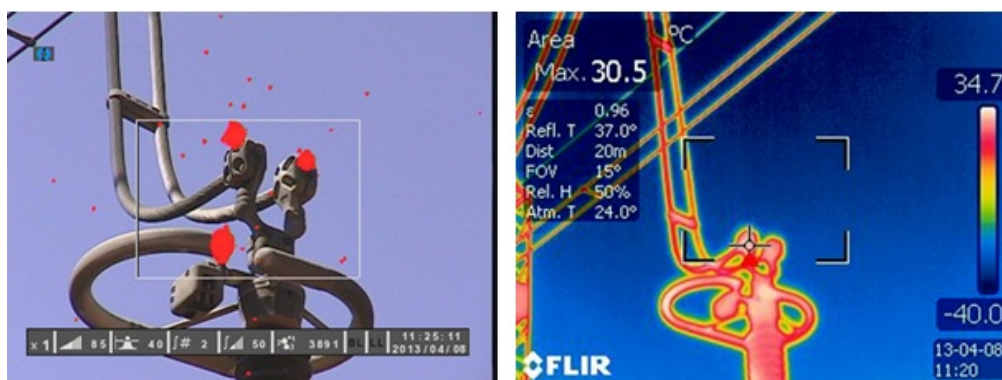
Slika 18. Principijelna shema rada UV kamere

Ultrazvučna detekcija provodi se analizom iznad raspona koji može čuti ljudsko uho (20Hz-20kHz). Za potrebe preventivnog održavanja se koristi frekvencijski raspon između 20kHz i 40kHz. Oprema, za naše potrebe preventivnog održavanja uključuje prijemnik, slušalice i različite, modularne, konusne dodatke koji se priključuje na prijemnik a u svrhu prikupljanja ultrazvučnih valova koji se šire kroz zrak (slika 19.). Prikupljeni ultrazvučni valovi se, u prijemniku, pretvaraju u nisko frekventne zvukove koje možemo čuti kroz slušalice. Na display-u prijemnika je moguće očitati intenzitet primljenog signala. Kako su ultrazvučni valovi izrazito usmjereni, praćenjem najjačeg signala, često relativno lako, operatora dovodi do izvora poremećaja.



Slika 19. Uređaj za ultrazvučnu detekciju (slika vlasništvo CTRL Systems, Inc.)

Multispektralne kamere, kamere koje snimaju sva tri spektra – vizualni, termički i UV spektar dostupne su na tržištu. Takve kamere u sebi sadržavaju tri različita detektora pri čemu svaki ima svoj set posebnih filtara i leća. Kako ultravioletna kamera prikazuje samo aktivne izvore korone, ova se slika mora pridodati na vidljivu sliku kako bi se mogla pronaći točna lokacija izvora. Zbog navedenog, vizualna slika i UV slika se poravnavaju kako bi se točno preklapale. Isto nije moguće prikazati na infracrvenoj slici zbog troškova proizvodnje opreme no na većoj udaljenosti je pogreška u poravnavanju dovoljno mala da se može prikazati i na infracrvenoj slici. Korištenjem ove tehnologije je moguće prikazivanje termičke slike dodane na UV sliku dijela postrojenja koji nas zanima. Ili, dodavanje vizualne slike na UV sliku. Time dobivamo daleko lakše uočavanje poremećaja te i njihov prikaz u izvještajima za krajnjeg korisnika. [6]



Slika 20. Prikaz multispektralne kamere; vizualna slika sa pridodanom UV slikom lijevo i infracrvena slika desno

4. ZAKLJUČAK

Parcijalna izbijanja predstavljaju djelomični proboj izolacijskog sustava opreme, a njihova prisutnost i jačina predstavlja kriterij za procjenu stanja izolacijskog sustava. Djelovanje parcijalnih izbijanja je dugotrajan proces, a učinci djelovanja primjećuju se tek nakon dužeg vremena.

Po svome karakteru, djelovanje parcijalnih izbijanja je složeno i može se podijeliti na mehaničko, kemijsko, toplinsko i električko. Združeni učinci dovode do oksidacije vodiča izloženih procesu, postepenog slabljenja izolacije i u konačnici proboja izolacijskog sustava. Sama pojava nije uzrokovana protjecanjem struje i ne ovisi o jačini iste kroz opremu, već ovisi o dovoljno visokom potencijalu na opremi.

Analizom odabranih primjera iz prakse zaključujemo da je većina kablskih završetaka iz navedenih primjera izrađena starijom tehnologijom izrade kablskih završetaka pri čemu su postojali propusti u izradi ili održavanju tijekom korištenja opreme. Dio poremećaja na kablskim završecima može se spriječiti prilikom same izrade kablskog završetka dovoljnim razmakom između vodiča ili pojačanom izolacijom, a dio, pravilnim održavanjem.

Edukacija osoblja presudna je u prepoznavanju potencijalnih kritičnih točaka te u sprječavanju nastanka poremećaja. Pri redovnim godišnjim revizijama postrojenja, potrebno je na kritična mjesta posebno obratiti pažnju kao i utvrđivati stanje postrojenja putem redovnih termovizijskih snimanja cijelog postrojenja. Po utvrđenom stanju, potrebno je pristupiti sanaciji uočenih nedostataka te o istome voditi detaljnu evidenciju što će u konačnici olakšati procjenu stanja cjelokupnog postrojenja.

Termografskom kamerom je sam početak nastanka parcijalnih izbijanja i korone teško uočljiv, a najčešće ih je moguće vidjeti u podmakloj fazi pri kojoj je vrlo često moguće osjetiti i miris ozona u prostoru praćen zvukom prštanja. Uz termografsko praćenje stanja opreme, postoje i druge, bolje metode detekcije i lokalizacije parcijalnih izbijanja poput ultrazvučne detekcije i upotrebe multispektralne kamere. Multispektralne kamere olakšavaju rano uočavanje parcijalnih izbijanja, ali zbog njihove cijene najčešće se koristi ultrazvučna detekcija.

5. LITERATURA

- [1] D. Dadić, „Parcijalna izbijanja u sklopnim blokovima srednjeg napon“, HO-CIRED, Trogir, Hrvatska, svibanj 2014.
- [2] Partial Discharge Community, „Partial Discharge Model“, www.pd-corona.com
- [3] P. Gabrić, „Parcijalna izbijanja u izolaciji energetskog transformatora“, KONCAR Institut za elektrotehniku d.d., Zagreb, Hrvatska
- [4] „Corona inspection compliments IR inspection“, Australasian Power Technologies Publications, Transmission & Distribution, April/May, 2014.
- [5] R. Stolper, J. Hart, N.Mahatho, „The design and evaluation of a Multi-Spectral Imaging Camera for the inspection of transmission lines and substation equipment“, Eskom, South Africa
- [6] R.Stolper, „Comparing UV & IR Diagnostic Inspection of Lines & Substations“, INMR, Article of the week, siječanj 2014.
- [7] M. Muhr, R. Schwarz, „Experience with optical partial discharge detection“, Institute of High Voltage Engineering and System Management, Graz University of Technology, Graz, Austria