

ISPITIVANJE PARCIJALNIH PRAŽNENJA NA SREDNJE NAPONSKIM GASOM IZOLOVANIM POSTROJENJIMA

PARTIAL DISCHARGE TESTING ON MEDIUM VOLTAGE GAS INSULATED SWITCHGEAR

Filip ZEC, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Institut Nikola Tesla, Srbija
Jovan MIKULOVIĆ, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Srbija
Ana MILOŠEVIĆ, Institut Nikola Tesla, Srbija
Nenad KARTALOVIĆ, Institut Nikola Tesla, Srbija

KRATAK SADRŽAJ

Srednjenaponska postrojenja predstavljaju veoma bitan element u distributivnim mrežama, jer pored ostalog imaju ulogu upravljanja i zaštite elektroenergetske opreme. Poslednjih godina, kvalitet opreme se značajno poboljšao, a verovatnoća otkaza se redukovala. Međutim, određeni problemi i dalje postoje u projektovanju, proizvodnji, instalaciji, eksploataciji i održavanju, što dovodi do slabljenja karakteristika izolacionog sistema postrojenja. Već dugi niz godina ispitivanje parcijalnih pražnjenja se koristi kao nedestruktivna metoda za procenu stanja izolacionog sistema elektroenergetske opreme. Parcijalna pražnjenja se javljaju kao posledica defekata nastalih tokom same proizvodnje opreme, tokom starenja izolacije ili usled mehaničkih i električnih naprezanja. Praćenjem trenda parcijalnih pražnjenja, mogu se na vreme identifikovati defekti u izolaciji, što omogućuje bolje održavanje i podizane pouzdanosti distributivnog sistema. U radu su prikazani praktični primeri ispitivanja parcijalnih pražnjenja na srednjenaponskim postrojenjima različitih naponskih nivoa.

Ključne reči: parcijalna pražnjenja, srednjenaponska postrojenja, ispitivanje

ABSTRACT

Medium voltage switchgear present an important element in the distribution network as they control and protect electrical equipment. In recent years, the quality of the electrical equipment has been significantly improved and the accident rate has been reduced. However, various problems still exist in the process of designing, production, installation, operation and maintenance, which cause the poor insulation performance of the switchgear. For many years, partial discharge (PD) measurement has been used as a non-destructive tool for evaluating the switchgear insulation system. They arise due to the manufacturing defects in such insulations, aging or electrical and mechanical stresses. Monitoring, detection and trending of PD activities can recognize existing defects in the insulation, which ensures reliable operation of the system. In the paper several practical examples of PD measurements on MV switchgear of different voltage levels are shown.

Key words: partial discharge, MV switchgear, testing

Filip Zec, filip.zec@ieent.org

1 UVOD

Aktivnosti parcijalnih pražnjenja su jasan indikator prisutnosti (u određenom stepenu) degradacije elektroizolacionog sistema. U situacijama kada je stanje izolacije relativno dobro i stabilno (potvrđeno odgovarajućom dijagnostikom), aktivnost parcijalnih pražnjenja ukazuje na prisustvo lokalnih mehaničkih i/ili električnih degradacionih procesa.

Ispitivanje parcijalnih pražnjenja pruža komplementarnu dijagnostiku stanja izolacionog sistema, za stanja koja se ne mogu uočiti nijednom drugom metodom. Ispitivanje u slučaju kada je postrojenje van pogona, *offline* ispitivanje, omogućavaju merenje u kontrolisanim uslovima, odnosno kontrolu parametara pražnjenja koja doprinose preciznijoj dijagnostici stanja pojedinih komponenti izolacionog sistema.

Kada se dostigne kritično električno polje, dolazi do proboja izolacionog sistema. Ako proboj ne premošćuje ceo razmak od provodnika na visokom potencijalu do uzemljenih delova ili provodnika drugih potencijala, dešava se delimičan proboj koji se u literaturi naziva „parcijalno pražnjenje" sa najčešćom oznakom PD (*Partial Discharge*).

Pražnjenja deluju na izolacioni materijal (i metal) što dovodi do degradacije površina materijala odnosno izolacionog sistema. Jedan od savremenih zadataka razvoja izolacionih materijala je povećanje otpornosti materijala na parcijalna pražnjenja. Razumevanje procesa parcijalnih pražnjenja počinje poznavanjem elementarnih procesa u gasovima, predprobojnih i probojnih procesa kao i pratećih efekata delovanja pražnjenja na materijal.

1.1. Interakcija pražnjenja sa materijalom izolacije

Elektroizolacioni materijali i sistemi neizbežno imaju određene defekte i nedostatke. Ti nedostaci su tehnološka ograničenja i nije ih moguće izbeći a određenim naporima se mogu minimizirati. Zbog postojanja tih ograničenja, izolacije sadrže slabija mesta (šupljine ispunjene nekim gasom, neadekvatne površine dielektrika ili međuelektrodne razmake) u kojima se pojavljuju parcijalna pražnjenja. Ona se mogu pojaviti odmah ili nakon dodatne eksploatacione degradacije sistema. U okviru određene tehnologije izrade izolacije verovatnoća električnog proboja defekata se eksponencijalno uvećavaju sa povećanjem površina i volumena mašina. Prateći efekti pražnjenja po površini materijala i u gasnim šupljinama u izolaciji su višestruki. Pre svega dolazi do destrukcije izolacije što za direktnu posledicu ima njen proboj. U početnim stadijumima pražnjenja usled bombardovanja jonima i elektronima površina ili zidova šupljina dolazi do elektrohemijskih i mehaničkih reakcija koje dovode do razaranja izolacionog materijala. Takođe može da dođe do oštećenja provodnih i poluprovodnih površina (površinske deformacije, razaranje slojeva itd.). U određenom stadijumu zidovi prostora pražnjenja će biti prekriveni slojem čađi koja je nastala u elektrohemijskim procesima prilikom pražnjenja-karbonizacija zidova. U zavisnosti od vrste materijala, prisustva vlage i azota, može doći do stvaranja azotne kiseline odnosno do njene disocijacije. Stvaranje takvog elektrolita dovodi do električnog premošćenja šupljine, do intenzivnih elektrohemijskih reakcija i drugih efekata što za posledicu ima gubitak dielektričnih karakteristika izolacionog materijala. [1]

1.2. Tipovi parcijalnih pražnjenja u postrojenjima

Unutrašnja parcijalna pražnjenja, tip A. Parcijalna pražnjenja u šupljinama dielektrika nastaju usled tehničke nesavršenosti ili grešaka koje nastaju u procesu izrade izolacionih materijala. Šupljine su ispunjene nekim gasom (gasovima) i mogu postojati kako u čvrstim tako i u tečnim dielektricima. Na mestima tih šupljina veoma često se javlja lokalno pojačanje električnog polja usled geometrije šupljine i manje relativne dielektrične konstante u odnosu na okruženje.

Korona, tip B. Parcijalna pražnjenja u obliku korone - koronarna pražnjenja se pojavljuju na oštrim ivicama elektroda ili na tankim provodnicima koji su uzemljeni ili povezani na visoki napon. Korona je posledica lokalnog pojačanja električnog polja sa velikim gradijentom opadanja sa udaljavanjem od navedenih površina. Ova pražnjenja su karakteristična za gasne (na primer vazdušne) izolacije, ali i za tečne izolacije u elektroenergetskim postrojenjima.

Površinska parcijalna pražnjenja, tip C. Površinska parcijalna pražnjenja se javljaju na dodirnim površinama različitih elektroizolacionih materijala, odnosno materijala sa različitim relativnim dielektričnim konstantama što je preduslov stvaranja jakog tangencijalnog električnog polja koje dovodi do stvaranja provodnih staza. Jaka tangencijalna polja mogu da budu i posledica elektrodne konfiguracije (konstrukcionih rešenja) kao na primer u situaciji kada kod generatora bakarni štap na visokom potencijalu izlazi iz uzemljenog žljebnog dela statora. Od bitnog je značaja stanje posmatranih površina (prisustvo provodnih ili neprovodnih čestica, vlage itd.).

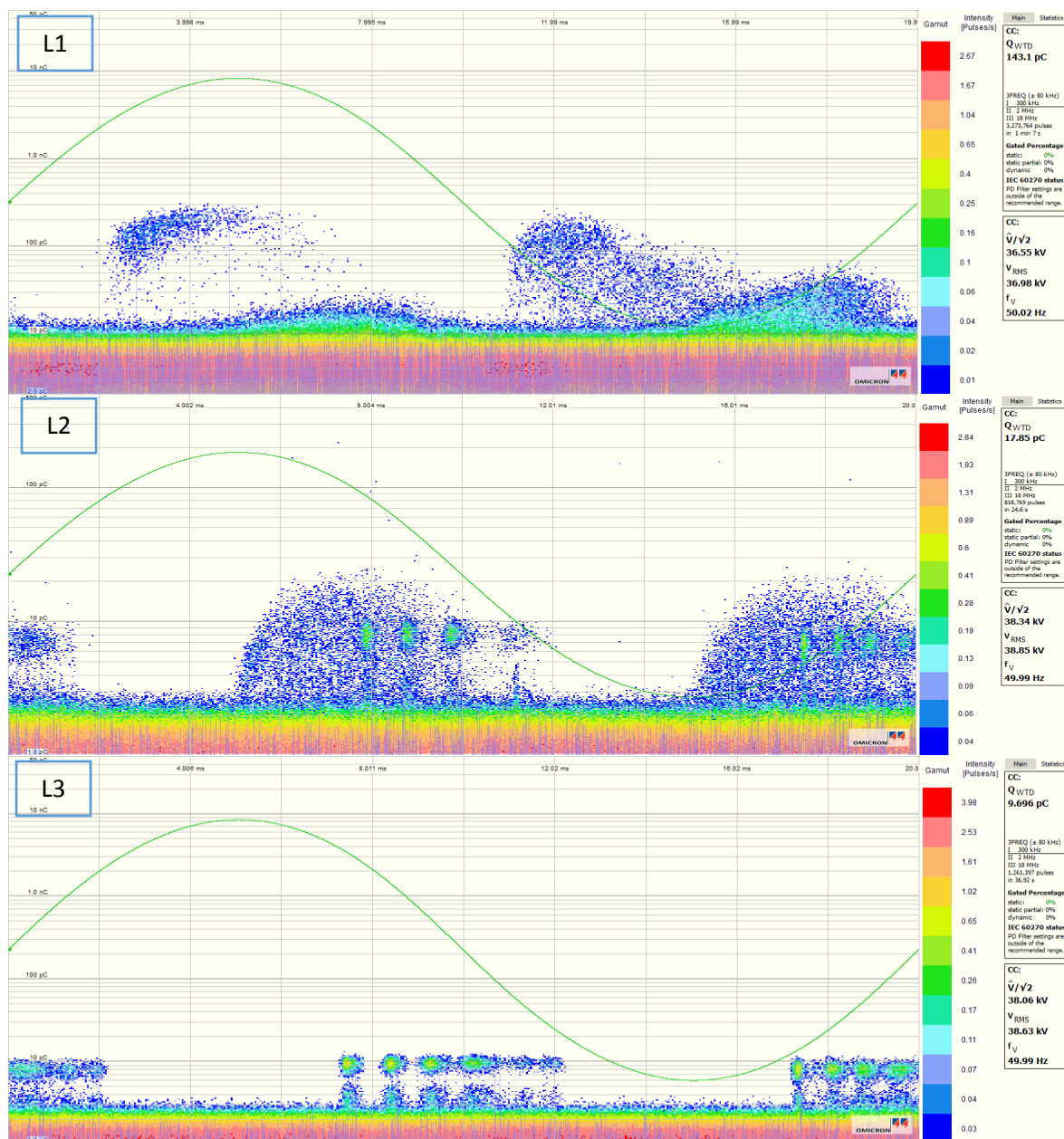
2 MERENJE PARCIJALNIH PRAŽNJENJA U PRAKSI

Ispitivani objekat je bilo 36 kV gasom izolovano postrojenje. Postrojenje se sastoji od sedam ćelija i dva sistema sabirnica i u eksploataciji je preko 10 godina. Treba napomenuti da je razlog ispitivanja bila zamena jedne od ćelija (ćelija br. 3) u kojoj se desio kvar. Detaljniji razlozi nisu poznati.

Merenja su izvršena u skladu sa standardima IEC 62271-200 i IEC 60270, jednofazno, druge dve faze uzemljene, pri čemu su naponski merni transformatori bili povezani na sabirnice. Prvo su vršena ispitivanja bez mernog objekta a zatim sa objektom. Zajedno sa merenjem parcijalnih pražnjenja vršeno je ispitivanje visokim naponom industrijske učestanosti u trajanju od jednog minuta, što je dovoljno za kondicioniranje izolacionog sistema postrojenja. Kao senzor se koristio kapacitivni sprežni kondenzator od 1 nF, dok je centralna frekvencija PD signala bila 300 kHz.

Maksimalno dozvoljeni nivo parcijalnih pražnjenja je stvar dogovora između proizvođača i kupca. Kod čvrste izolacije prihvatljiv nivo parcijalnih pražnjenja je 10 pC na 1,1 Ur međufazno (odnosno $1,1 \text{ Ur}/\sqrt{3}$ prema zemlji) a za sisteme sa izolovanom neutralnom tačkom prihvatljiv nivo pražnjenja je 100 pC pri 1,1 Ur prema zemlji. Dozvoljene vrednosti parcijalnih pražnjenja ne bi trebalo određivati ukoliko ne postoji dovoljno verodostojnih podataka. Komponente od kojih je postrojenje sastavljeno mogu da koriste različite tehnologije (npr. črvsta, tečna ili gasna izolacija) od kojih svaka ima različite zahteve. Sa te tačke gledišta bilo bi dosta teško i kontroverzno propisati maksimalno dozvoljeni nivo parcijalnih pražnjenja za ceo sklop postrojenja ili za neke njegove podsklopove. Za sada ove vrednosti propisuje proizvođač ili su one predmet dogovora proizvođača i kupca. [2]

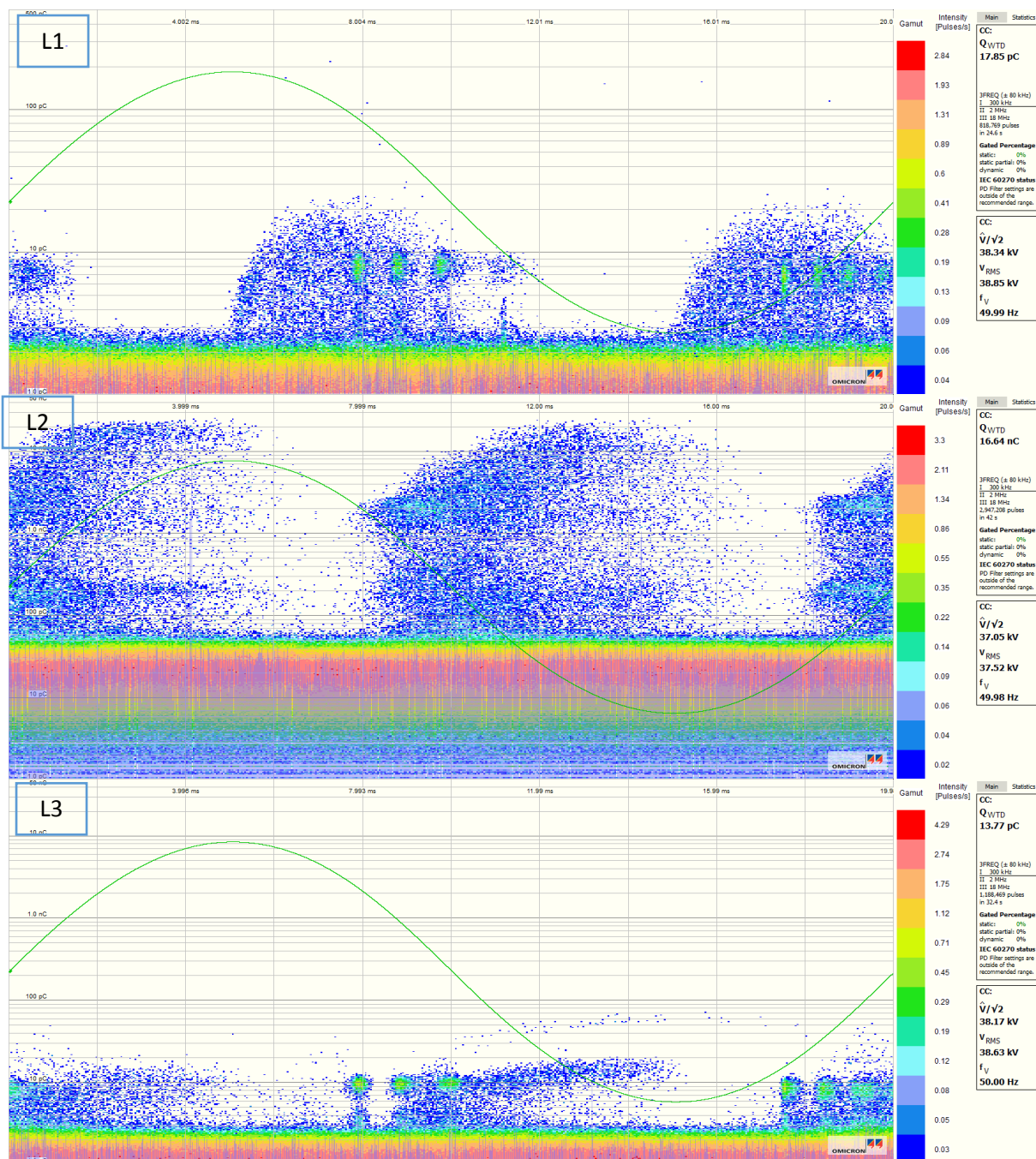
Na slici 2.1 su prikazane mape parcijalnih pražnjenja (*Phase Resolved Partial Discharge - PRPD*) za prvi sistem sabirnica pri *offline* ispitivanjima za ispitne napone od 38 kV. Može se primetiti značajno uvećan intezitet parcijalnih pražnjenja na prvoj fazi (oko 150 pC). Visok nivo pražnjenja prema formi klastera odgovara pražnjenjima unutar bušinga (uvodnog izolatora). Takođe se može primetiti pražnjenje u čvrstoj izolaciji, nižeg intenziteta. Na druge dve faze nivo pražnjenja je ispod 20 pC. U sve tri faze je prisutno pražnjenje usled lošeg kontakta (u prvoj fazi je maskirano drugim izvorima pražnjenja). U drugoj fazi izvor pražnjenja odgovara najverovatnije površinskom pražnjenju na potpornom izolatoru.



SLIKA 2.1 MAPE PARCIJLANIH PRAŽNjenja ZA PRVI SISTEM SABIRNICA

Na slici 2.2 su prikazane mape parcijalnih pražnjenja za drugi sistem sabirnica pri *offline* ispitivanjima za ispitne napone od 38 kV. Sa slika se vidi da je nivo parcijalnih pražnjenja za prvu i treću fazu zadovoljavajući, reda 20 pC. Kao i u prvom sistemu sabirnica, na sve tri faze je prisutno pražnjenje usled lošeg kontakta. Prva faza drugog sistema sabirnica ima gotovo istu mapu pražnjenja kao druga faza na prvom sistemu, dok treće faze oba sistema imaju slične mape pražnjenja.

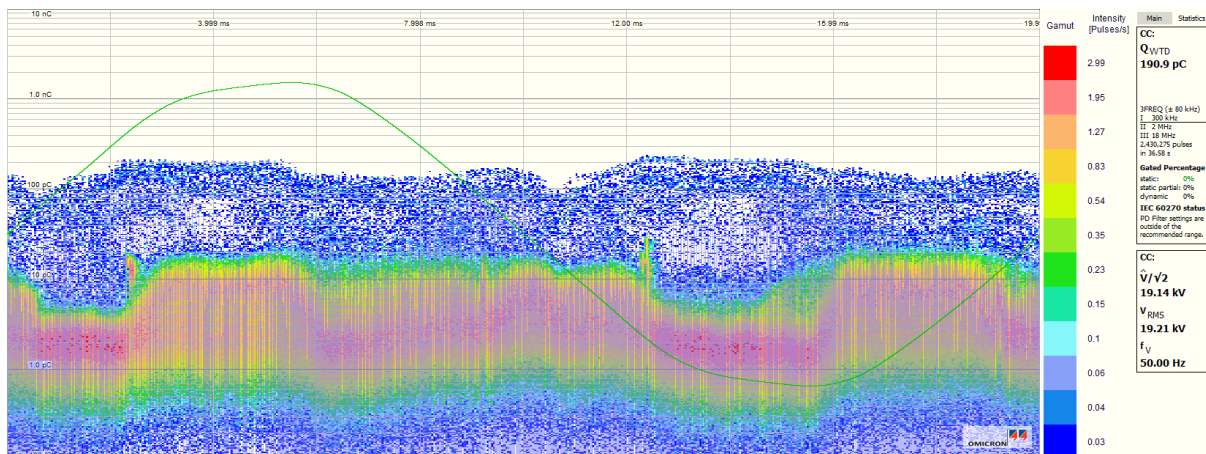
Na drugoj fazi nivo parcijalnih pražnjenja je reda 20 nC što premašuje nivo prihvatljivih vrednosti za dva reda veličina. Merenjem različitih grupa ćelija po sistemu eliminacije je otkrivena problematična ćelija. Kasnije je od vlasnika objekta dobijena informacija da se nekoliko godina ranije u toj ćeliji desila havarija koja je sanirana. Predložena je zamena pomenute ćelije. Zanimljivo je napomenuti da je i druga faza izdržala ispitivanje visokim naponom industrijske učestanosti u trajanju od jednog minuta.



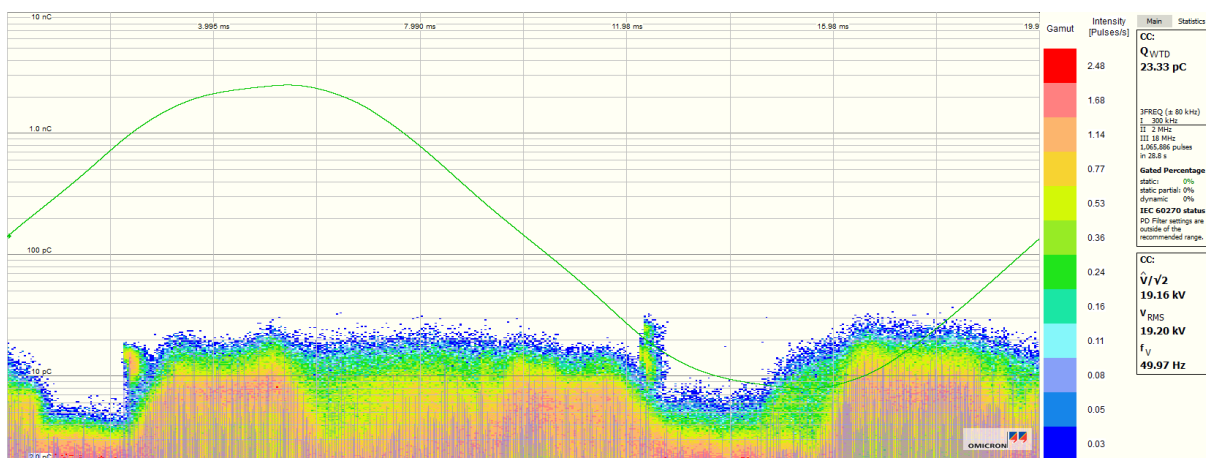
SLIKA 2.2 MAPE PARCIJLANIH PRAŽNJENJA ZA DRUGI SISTEM SABIRNICA

Merenje parcijalnih pražnjenja u terenskim uslovima su praćena visokim nivoom smetnji različitog porekla. One se mogu delimično ili kompletno ukloniti hardverski, pomoću niskonaponskog ili ređe – visokonaponskog filtra, ili pomoću softverskih alata. Kao primer, na slici 2.3 je prikazana mapa parcijalnih pražnjenja na jednom gasom izolovanom postrojenju. Može se primetiti da smetnje, koje imaju višestruko poreklo maskiraju potencijalna pražnjenja koja se mogu javiti na postrojenju. [3]

Na slici 2.4 je prikazana obrađena mapa parcijalnih pražnjenja koja je originalno prikazana na slici 2.3, gde su eliminisane smetnje korišćenjem softverskog alata i ekspertizom.



SLIKA 2.3 MASKIRANJE PARCIJALNIH PRAŽNENJA SMETNJAMA RAZLIČITOG POREKLA



SLIKA 2.4 MAPA PARCIJALNIH PRAŽNENJA SA UKLONJENIM SMETNJAMA

3 ZAKLJUČAK

Otkaz izolacionog sistema VN postrojenja često izaziva značajna oštećenja, visoke troškove popravke, gubitak dobiti u proizvodnji (koja često premašuje cenu samog VN postrojenja). Zato je poželjno da se potencijalni problem i otkazi detektuju što je ranije moguće.

Postaje vrlo jasno da je najveća komercijalna vrednost merenja parcijalnih pražnjenja, mogućnost dobijanja i korišćenja tačnijih podataka o stanju opreme. Umesto periodičnog i tačno definisanog intervala održavanja prelazi se na održavanje prema stanju opreme. Posledice ovoga su manji ali kvalitetniji obim održavanja, potencijalno duži životni vek, veća bezbednost i manji eksploatacioni troškovi, dok dostupnost podataka o stanju opreme dovodi do racionalnijih odluka po pitanju zamene opreme ili njene popravke.

4 LITERATURA

1. „Formiranje dijagnostičkog centra za realizaciju monitoringa parcijalnih pražnjenja u IS na generatorima u elektranama EPS“, Studija INT, Beograd 2011.
2. High-voltage switchgear and controlgear – Part 200: AC metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV, IEC 62271-200:2011
3. Izveštaj br. 419508, Ispitivanje parcijalnih pražnjenja na gasom izolovanom postrojenju, INT
4. Neil Davies, Director, EA Technology International, Partial Discharge (PD) techniques for measuring the condition of ageing HV/MV switchgear