

## **REMONT 110 kV SF6 POSTROJENJA**

M. AKSENTIJEVIĆ, PD „EPS Distribucija“ d.o.o. Beograd, Srbija  
S. MEDO, PD „EPS Distribucija“ d.o.o. Beograd, Srbija  
N. STOJANOVIĆ, JP EPS Beograd, Srbija

### **1. UVOD**

Dinamičan razvoj Beograda, od druge polovine prošlog veka, postavio je tada pred elektroinženjere beogradske distribucije pitanje kako obezbediti izvor napajanja električnom energijom – značajnijeg kapaciteta, na malom prostoru, u urbanim delovima grada. Odgovor su našli u primeni novih tehnoloških rešenja koja su se zasnivala na odličnim izolacionim svojstvima SF6 gasa.

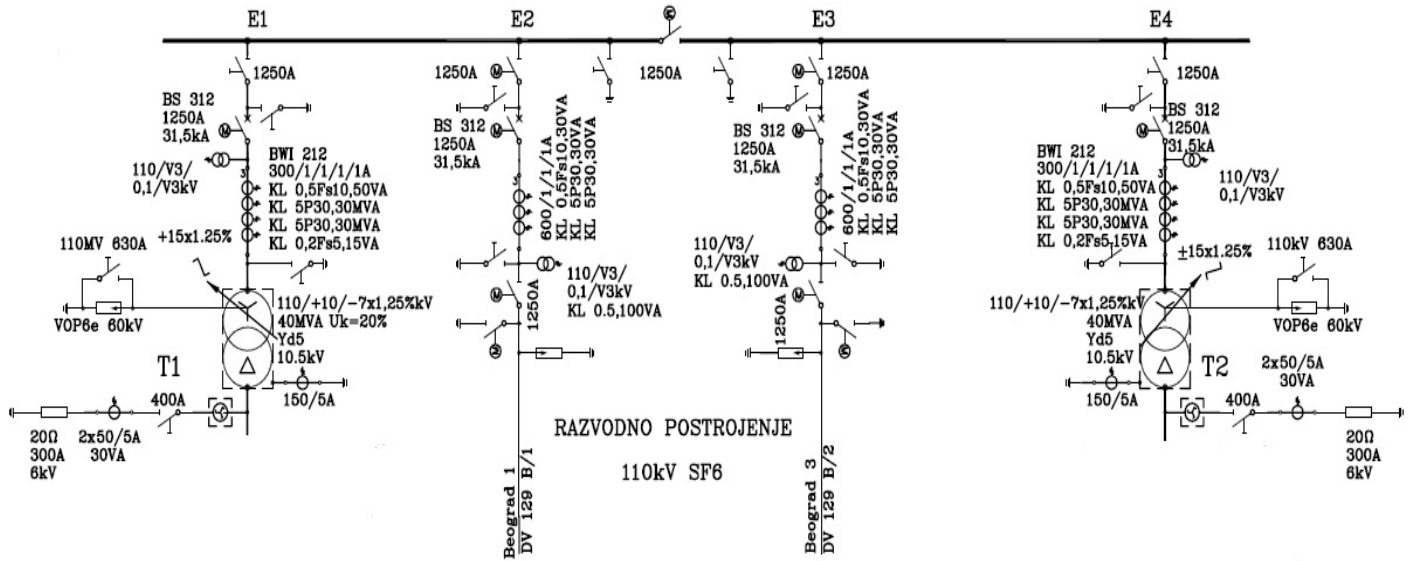
Danas, nakon 35 godina od puštanja u rad prva dva 110 kV postrojenja izolovana SF6 gasom (GIS) u dve distributivne transformatorske stanice naponskog nivoa 110/10 kV, njihov kapitalni remont postao je prioritetan zadatak stručnih službi Elektrodistribucije Beograd. Izabran je odgovarajući nivo remonta (program M4), prema preporuci proizvođača postrojenja. U periodu od dve godine, remont istog obima izvršen je sukcesivno u još četiri transformatorske stanice naponskog nivoa 110/10 kV u kojima su 110 kV SF6 postrojenja puštena u rad nekoliko godina nakon prethodno dva navedena. Nakon ovakvog pristupa, da se u relativno kratkom vremenskom periodu izvrši remont koji obuhvata praktično sva 110 kV SF6 postrojenja na najvišem naponskom nivou u distributivnoj mreži beogradskog konzuma, očekuje se značajno produženje pouzdanog rada predmetnog dela sistema. Ranija istraživanja o visokonaponskim postrojenjima izolovanim SF6 gasom ukazuju na to da je njihov očekivani servisni životni vek oko 50 godina (2). Posle remonta izvršenog na način prikazan u ovom članku, očekuje se da će životni vek predmetnih postrojenja bitno preći očekivani rok.

Iskustva iz pogona, trajanje pogonske upotrebe i dijagnostička ispitivanja mogu obezbediti osnovu za odlučivanje o obimu preventivnog održavanja. Predviđanje potencijalnih slabih mesta i izbegavanje budućih oštećenja uzrokovanih kvarovima, primenom adekvatnog održavanja, predstavlja glavni cilj za postizanje i produžavanje predviđenog životnog veka. Cenjeni radovi iz ove oblasti ukazuju na to da je učestalost kvarova bitna indikacija radnih performansi jednog sistema kakav je GIS (1) i pokazuju koje komponente su najčešće pogođene kvarovima (2). Pojedini stručni radovi nude i sistemsku rešenja za održavanje postrojenja po stanju opreme (3).

Cilj ovog članka je da prikaže sadržaj remonta navedenih šest 110 kV SF6 postrojenja i da ukaže na bitne smernice u procesu njihovog održavanja i nadgledanja. Pored programom predviđenih radova u okviru jednog obimnog remonta, potrebno je u ograničenom vremenskom roku, otkloniti sve uočene nedostatke na osnovu ograničenog broja i vrste podataka iz arhive vođene više od 30 godina, kao i kvarove zatečene tek po otvaranju elemenata postrojenja. Na ovaj način, ne samo da će se otkloniti nedostaci na postrojenju, sprečiti skoriji kvarovi i produžiti životni vek nego će se i smanjiti potreba za češćim promenama uklopnog stanja zbog radova na remontu, i dodatno će se smanjiti troškovi na neophodno rukovanje opremom u postrojenju. Zbog svega navedenog veoma je važno ispravno i redovno voditi evidenciju o svakom događaju i nedostatku u 110 kV postrojenju izolovanom SF6 gasom.

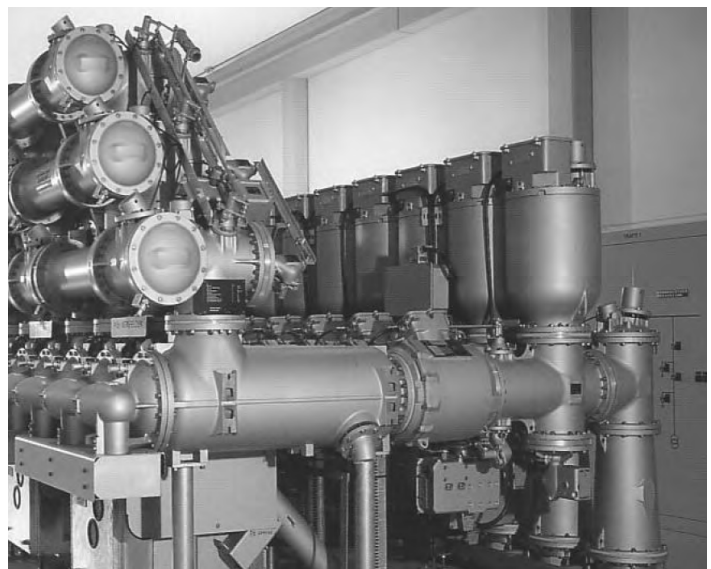
### **2. KONFIGURACIJA I SASTAVNI DELOVI 110 kV SF6 POSTROJENJA KOJA SE REMONTUJU**

Svih šest 110 kV SF6 postrojenja koja su predmet ovog članka imaju konfiguraciju sa po dva transformatorska polja, dva vodna polja i po jednim spojnim poljem uz jednostruki sistem 110 kV sabirnica.



Slika 1. Jednopolna šema jednog 110 kV SF6 postrojenja

Postrojenja su jednopolno oklopljena metalom, što znači da su u okviru svakog polja faze svakog elementa međusobno razdvojene posebnim metalnim kućištem.

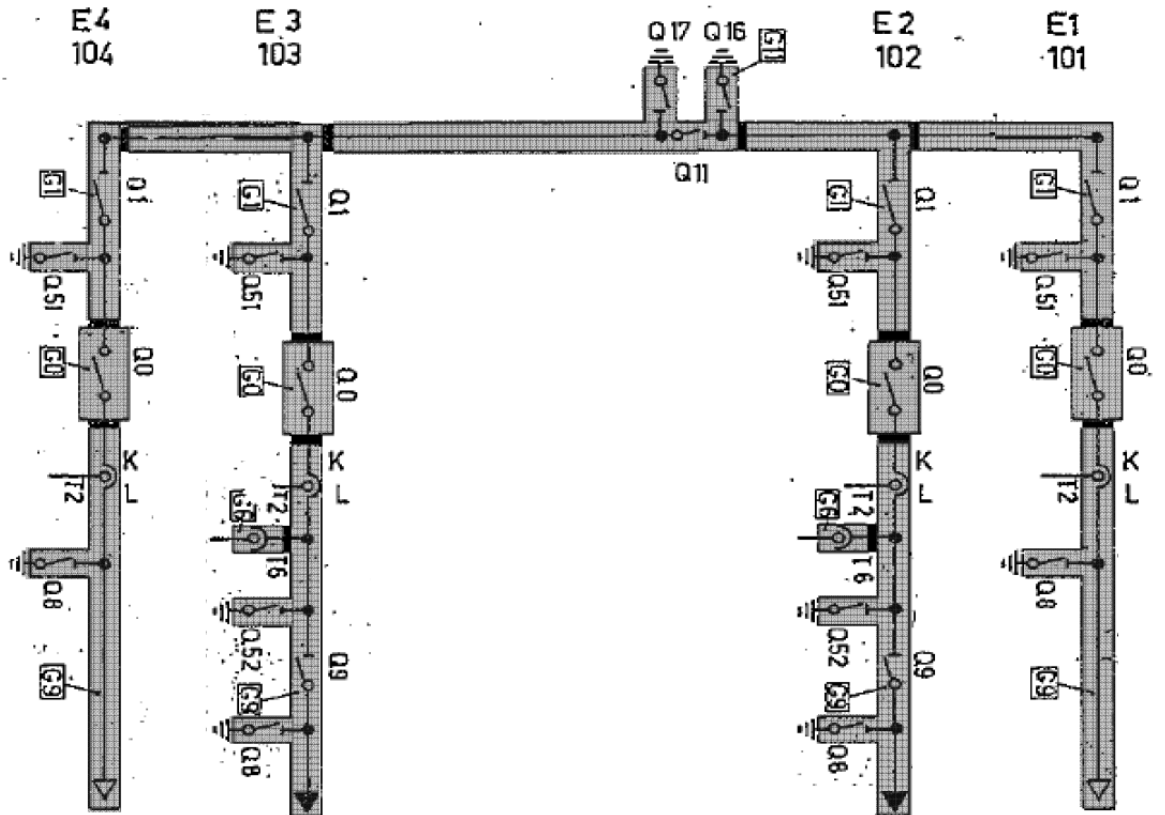


Slika 2. Izgled i raspored elemenata po polju u okviru jednog 110 kV SF6 postrojenja

Posebne zone ispunjene SF6 gasom su razdvojene provodnim izolatorima i podeljene su na sledeći način:

- G0-zona u kojoj se nalaze prekidači
- G1-zona u kojoj se nalaze sabirnički rastavljači
- G6-zona u kojoj se nalaze naponski transformatori
- G9-zona u kojoj se nalaze strujni transformatori i izlazni rastavljači
- G11-zona u kojoj se nalaze podužni rastavljači

Svaka gasna zona poseduje svoj priključak za punjenje i pražnjenje SF6 gasa po fazi i svoj uređaj za merenje i signalizaciju pada pritiska (densimetar) po fazi.



Slika 3. Raspored opreme i gasnih zona po 110 kV poljima

Jedno vodno polje sadrži:

- sabirnički rastavljač,
- uzemljivač ka prekidaču,
- prekidač,
- jedan strujni transformator po fazi,
- jedan naponski transformator po fazi
- uzemljivač ka izlaznom rastavljaču,
- izlazni rastavljač i
- brzi uzemljivač ka vodu.

Jedno transformatorsko polje sadrži:

- sabirnički rastavljač,
- uzemljivač ka prekidaču,
- prekidač,
- jedan strujni transformator po fazi
- opciono jedan naponski transformator po fazi i
- uzemljivač ka transformatoru

Jedno spojno polje sadrži

- podužni rastavljač,
- uzemljivač ka jednom vodnom i transformatorskom polju i
- uzemljivač ka drugom vodnom transformatorskom polju

Prekidači imaju elektro-mehanički pogon za svaku fazu posebno. Rastavljači i brzi uzemljivači imaju elektro-mehanički pogon za sve tri faze zajedno, dok ostali uzemljivači imaju ručni pogon za sve tri faze zajedno.

Svi kontakti delovi elemenata nalaze se u komorama izolovanim SF6 gasom, dok se elektro-mehanički i ručni pogonski mehanizmi nalaze van metalnih kućišta i izolovani su vazduhom. Sva predmetna postrojenja smeštena su unutar pogonskog objekta

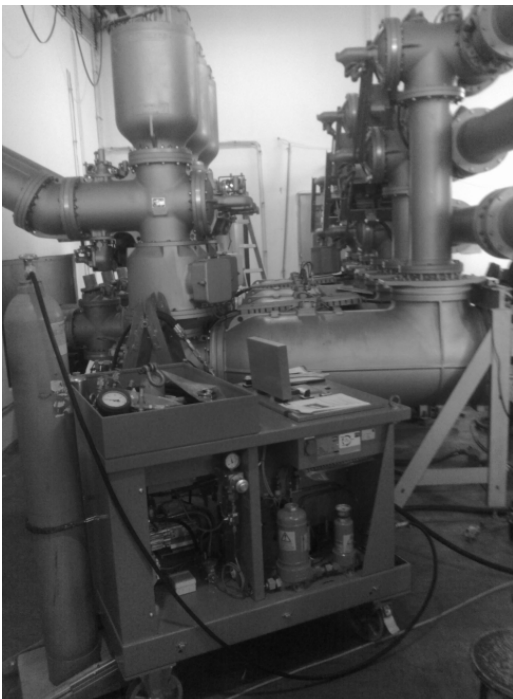
### 3. SADRŽAJ PREDVIĐENOG REMONTA

Remont je izvršen po preporuci proizvođača opreme po programu sa oznakom M4 koji predviđa radove kako je u produžetku objašnjeno.

U svim gasnim zonama izvršena je provera pritiska SF6 gasa, provera podešenosti svih densimetara, provera čistoće i vlažnosti SF6 gasa, kao i koncentracija sadržaja SO2 kao produkta uticaja električnog luka na SF6 gas. Izvršena je provera gasnih zona na izlazak SF6 gasa iz komora i dopuna gasa na nominalne pritiske. Ispitivanja su izvršena pre i nakon izvršenog remonta.

Čistoća SF6 gasa koja je ispod dozvoljene vrednosti za određenu gasnu zonu, dovedena je na dozvoljen nivo kompletnom zamenom SF6 gasa ili mešanjem postojećeg gasa sa novim do postizanja dozvoljene vrednosti čistoće.

Vlažnost SF6 gasa koja je ispod dozvoljene vrednosti za određenu gasnu zonu, dovedena je na dozvoljen nivo jednom od sledećih metoda ili kombinacijom istih: ugradnjom novih ili zamenom postojećih adsorbera vlage, filtriranjem postojećeg SF6 gasa, produženim vakuumiranjem predmetne gasne zone, upotrebom azota u cilju sakupljanja vlage.



Slika 4. Izgled seta za rukovanje SF6 gasom



Slika 5. Uređaj za ispitivanje kvaliteta SF6 gasa

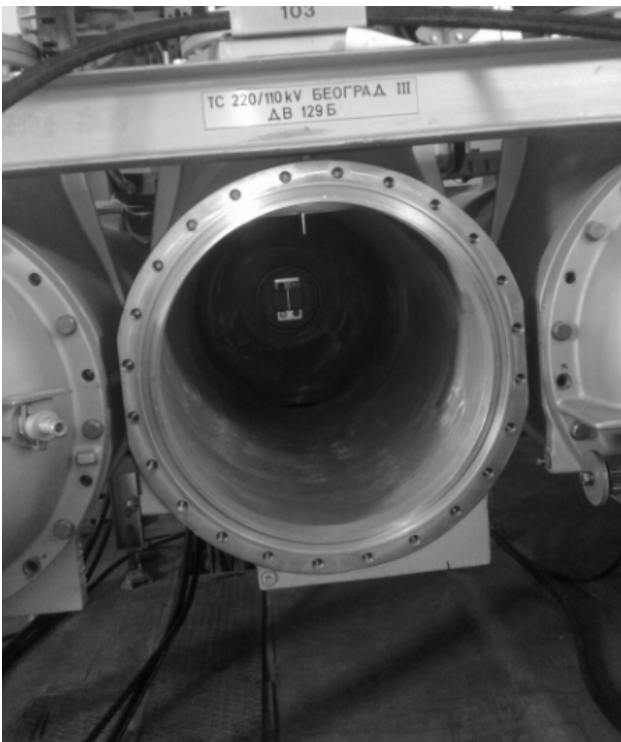
Na pogonskim mehanizmima prekidača izvršena je funkcionalna provera rada, merenje svih operativnih parametara, vizuelna provera, čišćenje i podmazivanje mehaničkog sistema za uključenje i isključenje prekidača, provera svih podloški, osigurača, zavrtnjeva i zamena po potrebi. Ispitivanja i merenja izvršena su pre i nakon završenog remonta.

Merenje svih operativnih parametara pogonskih mehanizama prekidača podrazumeva između ostalog: merenje klizanja kočnice pri uključanju prekidača, merenje sile opruge za uključenje i opruge za isključenje prekidača, merenje brzine navijanja opruge za uključenje prekidača, merenje nategnutosti opruge za isključenje prekidača.



Na kontaktnom delu prekidača izvršeno je merenje svih radnih parametara, provera zaptivenosti svih zavrtnjeva, merenje prelaznog otpora kontakata, čišćenje unutrašnjosti prekidačke komore (G0), vizuelni pregled kontakata prekidača, čišćenje i podmazivanje kontaktnog dela, zamena adsorbera za sakupljanje vlage iz SF6 gasa kao i zamena priborica za zaptivanje poklopca prekidačke zone. Merenja su izvršena pre i nakon završenog remonta.

Merenje svih radnih parametara podrazumeva između ostalog: merenje vremena otvaranja i zatvaranja glavnih kontakata, merenje vremena otvaranja i zatvaranja pomoćnih kontakata, hod kontakata, prodiranje kontakata.



Na rastavljačima, uzemljivačima i brzim uzemljivačima izvršena je provera svih pogonskih elemenata, veza i izvršeno podmazivanje gde je potrebno, vizuelni pregled kontakata kroz reviziono staklo, funkcionalna provera rada sa podešavanjima na propisanu vrednost, merenje vremena rada motora. Merenja i funkcionalne provere izvršeni su pre i nakon završenog remonta.

Merenje vremena rada motora podrazumeva merenje pri otvaranju i pri zatvaranju kontakata.

#### 4. RADOVI NA OSNOVU RANIJE POZNATIH PODATAKA

Najvažniji radovi izvršeni na osnovu ranije poznatih podataka su:

- zamena provodnog izolatora jedne faze u jednom transformatorskom polju između gasnih zona G0 (prekidačka zona) i G1 (sabimička zona), na osnovu podataka o praćenju pritiska u ove dve zone.

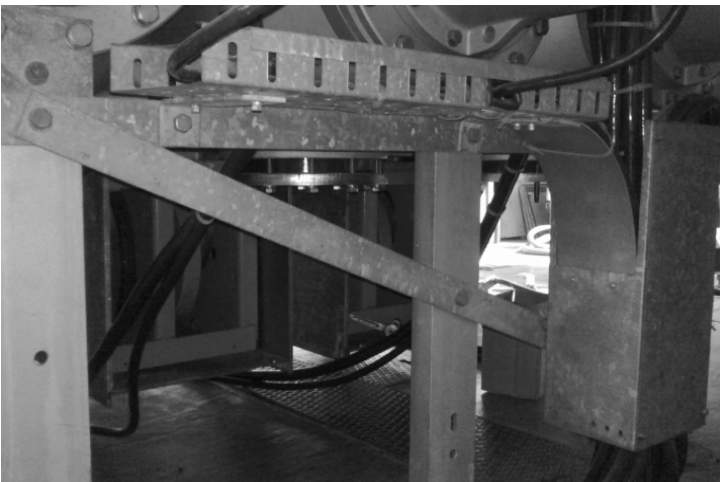


Slika 6. Provodni izolator između gasnih zona G0 i G1



Slika 7. Pozicija provodnog izolatora

- zamena pucajućih diskova koji se nalaze na dnu prekidačkih zona G0 i služe za zaštitu pri pojavi prevelikog pritiska u komori, kao najslabije mesto. U prošlosti se na jednoj od transformatorskih stanica desila nekontrolisana eksplozija bez postojanja velikog pritiska SF6 gasa u komori zbog loše obrađene površine na samom pucajućem disku pa je ova prilika iskorišćena za zamenu svih oštećenih diskova. Zamenske diskove je EDB imala u rezervi.



Slika 8. Pozicija pucajućeg diska na donjem delu prekidačke zone G0



Slika 9. Zamena pucajućeg diska

## **5. RADOVI NA OTKLANJANJU NEPRAVILNOSTI UOČENIH PO ISPITIVANJU I OTVARANJU ELEMENATA POSTROJENJA**

Najvažniji radovi na otklanjanju nepravilnosti uočenih neposrednim ispitivanjima tokom remonta i tek nakon otvaranja elemenata postrojenja su:

- zamena neispravnih densimetara u gasnim zonama (uređaji za merenje pritiska u gasnim zonama i signalizaciju pada pritiska)
- zamena motora u jednom pogonskom mehanizmu sabirničkog rastavljača.
- popravka izlaska SF<sub>6</sub> gasa iz zone G<sub>9</sub> jedne faze jednog transformatorskog polja, na varu cevi kod spoja sa provodnim izolatorom izolovanim vazduhom u transformatorskom boksu. Popravka je urađena premazom odgovarajućom smesom uz upotrebu staklenih vlakana i epoksidnog lepka
- popravka neprestanog navijanja opruge za uključenje pogonskog mehanizma prekidača u jednoj fazi jednog transformatorskog polja
- zamena ili remont priključaka za punjenje i pražnjenje gasnih zona zbog nekontrolisanog izlaska gasa usled njihovog oštećenja.
- ugradnja adsorbera vlage u zonama G<sub>6</sub> mernih naponskih transformatora na mestima gde nisu postojali ili zamena istih na mestima gde su postojali, ukoliko je utvrđena povećana koncentracija vlage u gasu.
- popravka nekontrolisanog izlaska gasa iz jedne faze zone G<sub>1</sub> u jednom dalekovodnom polju. Popravka je izvršena zamenom zaptivača na osovini pogona uzemljivača.
- zamena kablovskih priključaka u kutiji pomoćnih kontakata u pogonskim mehanizmima rastavljača i brzih uzemljivača. Stari kablovski priključci (hilzne) su bile nepravilno obrađene (presovane) odnosno bez upotrebe odgovarajućeg alata.

## **6. ČESTI UZROCI KVAROVA I PRISTUP ODRŽAVANJU**

Cenjeni radovi iz ove oblasti ukazuju na to da je učestalost kvarova bitna indikacija radnih performansi jednog sistema kakav je GIS (1). Kvarovi u ranoj fazi, su obično posledica neadekvatne montaže i nepoštovanja uputstava i procedura prilikom prvog puštanja u rad. Povećana učestalost kvarova tokom daljeg rada ukazuje na proces starenja određenih komponenti ili instalacije uopšte. U slučaju da su u pitanju pojedine komponente, logična intervencija je zamena istih. Ako je kompletna instalacija zahvaćena, dostignut je kraj servisnog životnog veka i sistem je potrebno obnoviti.

Što se tiče učestalosti kvarova po pojedinim komponentama postrojenja, istraživanja pokazuju da najveći broj kvarova nastaje na rastavljačima i uzemljivačima (2). Pretpostavlja se da su ovi kvarovi uzrokovani pojavom čestica koje nastaju vremenom, abrazijom sa kontakata usled prekidačkih operacija. Zbog toga je potrebno izvršiti posebnu reviziju ovih elemenata u smislu stanja kontakata i kontaminacije gasa.

Izvestan broj kvarova nastaje u mernim transformatorima. Prilikom održavanja potrebno je naročitu pažnju obratiti na stanje izolacije u ovim delovima postrojenja.

Veliki broj kvarova nastaje na sabirnicama i sabirničkim vezama naročito u blizini provodnih izolatora. Ovi kvarovi su uglavnom posledica lepljenja čestica na površinu izolatora, zbog čega naročito pažnju prilikom održavanja treba obratiti na provodne izolatore koji imaju horizontalni radni položaj.

## **7. ZAKLJUČCI**

Predstavljeni način sprovođenja remonta 110 kV SF<sub>6</sub> postrojenja ukazuje na to da pored odluke o sadržini remonta na osnovu starosti opreme odnosno dužine trajanja pogona, bitnu stavku predstavljaju i saznanja i podaci o kvarovima i stanju opreme iz prošlosti iz eksploatacije.

U navedenim remontima izvršen je čitav niz važnih intervencija na osnovu podataka poznatih iz dosadašnjeg rada postrojenja. Ipak, primećeno je da su baze sa informacijama često nepotpune, imajući u vidu: da se vode gotovo 40 godina, da ih vode različiti timovi kompetentnih stručnih službi koji su često i fizički distancirani kao organizacione celine, da ih generacijski kao i zbog fluktuacije zaposlenih preuzima jedan tim stručnjaka od drugog zbog dužine vođenja evidencije, da postoji potreba za apsolutnom ažurnošću prilikom vođenja podataka o stanju opreme.

Isto tako, znajući da je GIS postrojenje metalom oklopljeno i napunjeno SF6 gasom mnoge nedostatke je moguće dijagnostifikovati tek nakon što se SF6 gas izvuče iz odgovarajućih gasnih zona, otvore komponente postrojenja i izvrši detaljno ispitivanje. Zbog ovoga je potrebna maksimalna angažovanost u pripremi remonta i predviđanje izvesnog broja nedostataka koji će biti otkriveni po otvaranju elemenata postrojenja time što će odgovarajući rezervni delovi biti pripremljeni za eventualnu zamenu.

Zbog navedene potrebe za detaljnim i potpunim informacijama o stanju GIS postrojenja, autori rada smatraju korisnim uvođenje sistemskih procedura za formiranje, smeštanje u bazu i analizu velikog broja podataka, sa čim u vezi već postoje izvesna proučavanja i iskustva kroz poznate studije i radove o održavanju na osnovu stanja opreme (3).

## **8. LITERATURA**

- [1] CIGRE Task Force 15.03.07. Long-term Performance of SF6 Insulated Systems, Paper 15-301. CIGRE Session 2002.
- [2] C. Neumann, B. Rusek, G. Balzer, T. Jeromin, C. Hille, A. Schnettler: End of Life Estimation and Optimisation of Maintenance of HV Switchgear and GIS Substations. Paper A3-202, CIGRE Session 2012.
- [3] Edwin R.S. Groot, Edward Gulski, Abe van Dam, Frank J. Wester: Successful Implemented Condition Based Maintenance Concept for Switchgear, The 2003 CIRED Conference in Barcelona.