

DOI: [10.46793/CIGRE37.A3.01](https://doi.org/10.46793/CIGRE37.A3.01)**A3.01****ODRŽAVANJE IZOLATORA VN OPREME POD NAPONOM U REALNIM POGONSKIM USLOVIMA****MAINTENANCE OF ENERGIZED HV INSULATORS IN REAL OPERATING CONDITIONS****Ninoslav Simić, Nenad Trkulja***

Kratak sadržaj: Već duži niz godina u praksi postoji potreba za čišćenjem izolatora VN opreme u realnim pogonskim uslovima. Ovo je posledica promene pristupa održavanja VN postrojenja, u kojima više nema planiranih isključenja i stvaranja beznaponskog stanja. U ovom radu se razmatra primena jednog konkretnog proizvoda, tečnosti namenjene čišćenju izolatora pod pritiskom, i to dok je VN oprema pod naponom. U uvodu će biti sagledana dostupna dokumentacija o ovom fluidu. Potom će se prezentovati dosadašnja iskustva u zemlji i svetu o primeni ove tečnosti, za pranje kako izolatora tako i razvodnih ormara. Na kraju rada će biti iznet zaključak o mogućnostima ovog načina održavanja izolacije elektroenergetske opreme u našoj zemlji. Cilj rada je da se prezentuju nove tehnologije na ovom polju dostupne u drugim zemljama.

Ključne reči: održavanje, izolatori, VN oprema

Abstract: For many years, there has been a need in practice to clean insulators of HV equipment in real operating conditions. This is a consequence of a change in the approach to the maintenance of HV plants, in which there are no longer planned shutdowns and the creation of a power-off state. This paper discusses the application of a specific product, a liquid intended for cleaning insulators under pressure, while HV equipment is energized. In the introduction, we will review the available documentation on this liquid. Then, previous experiences in the country and the world on the application of this liquid for washing both insulators and switchgear cabinets will be presented. At the end of the paper, a conclusion will be drawn on the possibilities of this method of maintaining the insulation of electrical equipment in our country. The aim of the paper is to present new technologies in this area available in other countries.

Key words: maintenance, insulators, HV equipment

* Ninoslav Simić, Institut Nikola Tesla AD, ninoslav.simic@ieent.org
Nenad Trkulja, nenadrtrkulja@gmail.com

1 UVOD

Poznato je da se održavanje elektroenergetske opreme visokog napona ranije obavljalo po unapred planiranim vremenskim intervalima, kada je VN oprema isključivana. Tada, tokom tzv. remonta uvek se koristila prilika da se detaljno operu i očiste izolatori u VN postrojenjima. Danas se sve ređe VN oprema isključuje zbog remonta i često su proizvodni procesi takvi da nije moguće obezbediti beznaponsko stanje na bezbednoj udaljenosti da bi se izolatori očistili. Istovremeno je uticaj aerozagađenja značajan, pogotovo u pojedinim industrijskim pogonima, u okolini Bora, Smedereva ili Pančeva. Iskustva pokazuju da su zaprljanju naročito izložena postrojenja za spoljnu montažu, odnosno i porcelanski i silikonski izolatori [1], [2]. U nedavnoj poseti sajmu energetske opreme u Južnoj Koreji autori su imali priliku upoznati se sa proizvodom koji je deklarisan kao inovacija, te u ovom radu prenosimo iskustva koja su sakupljena i dostupne materijale i sertifikate o ispitivanju. Radi se elektroizolacionoj tečnosti sa deterdžentskim svojstvima kojom je moguće oprati izolatore VN opreme koji su u normalnom radu, pod naponom, sa bezbednog rastojanja.

2 TEHNIČKI OPIS I KARAKTERISTIKE, DOSADAŠNJA ISKUSTVA

U nazivu tečnost je deklarirana kao „elektroizolaciono ulje“, čija je primena čišćenje elektroenergetske opreme najvišeg naponskog nivoa do 220 kV. U deklaraciji se nalazi podatak - Ekološki bezbedan proizvod, bez posebnih uslova korišćenja, International Green Technology Certificate.

Report No. : TSC2020-0122L		(Copy report No.) TSC2020-0044C	
Test Sample : 3) NAUCLEAN_D			
Test Item	Unit	Result	Test Method
Water(Coulometric Karl Fischer Titration)	mg/kg	7 note1)	ASTM D6304-16
Breakdown voltage (25℃ 2.5mm)	kV	over than 100.0 note5)	KS C IEC 60156:2013

Slika 1: Izvod iz ispitivanja elektroizolacione tečnosti

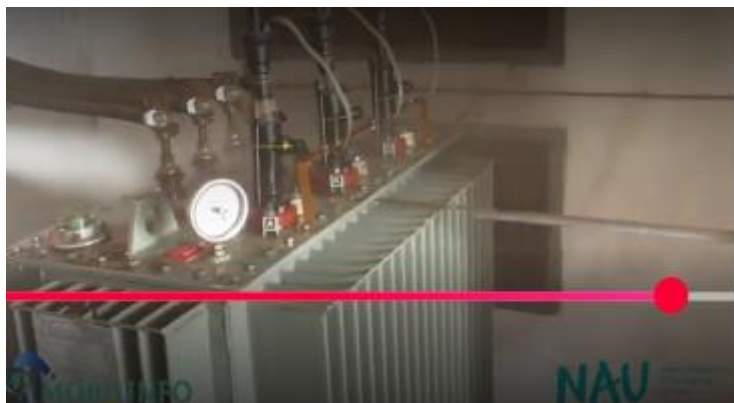
U ponovljenom testu, u drugoj laboratoriji, srednja vrednost probojnog napona, (6 ispitivanja prema IEC 60156 [3]) je iznosila 92 kV. U tabeli 1 je data vrednost minimalnog probojnog napona za izolaciona ulja za primenu u VN opremi prema IEC 60296:2020.

Tabela 1: Minimalni probojni napon izolacionih ulja

Osobina	Test metoda	Transformatorsko ulje	Nisko-temperaturna ulja za prekidače
Probojni napon	IEC 60156	Min. 30 kV / 70 kV [†]	

2.1 Iskustva iz pogona u drugim zemljama

Iskustva sa primenom elektroizolacione tečnosti su stečena kompanijama širom Južne Koreje: Korea Gas Corporation, Korea Railroad Corporation, Kepco Nuclear Fuel, Seoul Metro LG Chem Hyundai Heavy Industries, itd... Takođe, prema dostupnim podacima ova tečnost je našla primenu u Saudijskoj Arabiji, UAE, Kuvajtu, Kini, Vijetnamu i Ekvadoru. Autori nisu naišli na podatak da je tečnost primenjivana u zemljama EU. Na slikama koje slede prikazana su neka od iskustava iz navedenih zemalja.



Slika 2: Čišćenje izolatora transformatora 20/0,4 kV (mlaz je levo sa strane NN izvoda)



Slika 3: Čišćenje izolatora rastvaljača 66 kV (levo), čišćenje izolatora VN opreme 24 kV (desno)



Slika 5: Čišćenje izolatora prekidača 110 kV

Ukoliko se ide ka nižim naponskim nivoima, moguće je kombinovati više radova u procesu održavanja opreme pod naponom u postrojenju.

1. Termovizijsko ispitivanje u cilju određivanja toplih mesta na spoljašnjim površinama izolacije niskonaponske električne instalacije, odnosno na izolatorima visokonaponske opreme. Ovim se utvrđuje lokacija na kojima je potrebno detaljnije čišćenje.
2. Na lokacijama u blizini napona, odnosno na bezbednoj udaljenosti od prisustva napona obavlja se usisavanje grubih i krupnijih fizičkih kontaminanata. Dosadašnja iskustva pokazuju da je ovo moguće u niskonaponskim ormanima.
3. Potom sledi čišćenje pod pritiskom sporohodnom industrijskom mašinom za ove namene. Maksimalni pritisak pranja je 190 bara, i mora biti omogućeno podešavanje jačine i širine mlaza. Tako da je specifičnost ovih uređaja mlaznica, tj završetak creva pod pritiskom. Ova mlaznica mora biti sertifikovana za rad pod različitim naponskim nivoima. Bezbednosna udaljenost na kojoj stoji čovek kada koristi uređaj je veća od vrednosti definisanih u tabeli 2 i ovo podrazumeva obučeno osoblje za rad sa mašinom za pranje.
4. Za elemente elektroenergetske opreme koji su skloni oštećenjima mora se obaviti pranje niskim pritiskom i u ovom smislu neophodna je obučenost za osetljivije elemente u sistemu kao što je elektronika u sistemima automatskog upravljanja i telekomunikacija. Uređaj za pranje može biti isti sa mogućnošću podešavanja pritiska.
5. Elektroizolaciona tečnost za pranje izolatora prirodno isparava u kontaktu sa vazduhom, ali je u slučaju zatvorenih prostora, odnosno prostora sa smanjenom ventilacijom poželjno ovaj proces ubrzati korišćenjem kompresora za vazduh.
6. Po potrebi se obavlja ponovno termovizijsko ispitivanje.

Jasno je da za upotrebu ove tečnosti izuzetno važna obuka osoblja koja ulazi u postrojenje i radi u blizini napona.

Bezbednosno rastojanje se računa prema formuli datoj u standardima IEC 60479 I EN 50110-1, odnosno $D=k \cdot U^n$ gde je

D bezbednosno rastojanje (m)

U je napon (kV)

k je konstanta, vrednost 0,1-0,2, u zavisnosti od standarda

n je eksponent, vrednost 0,5-0,7 u zavisnosti od standarda

Tabela 2: Minimalne vrednosti bezbednosnih rastojanja navedene od strane proizvođača elektroizolacione tečnosti

Transmission and distribution voltage of electronic equipment	Safety distance	Standard separation distance
10KV	$\geq$	0.7m
35KV	$\geq$	1.0m
110KV	$\geq$	1.5m

2.2 Iskustva iz Srbije

Što se tiče Srbije i zemalja regiona, primena ove tečnosti je još u fazi ispitivanja. Na slikama koje slede prikazana su iskustva iz jedne TE u Srbiji, naponski nivo 0,4 kV, ormani sopstvene potrošnje.



Slika 6: Pranje i usisavanje unutrašnjosti ormara sopstvene potrošnje 0,4 kV



Slika 7: Sušenje i izgled unutrašnjosti ormara sopstvene potrošnje 0,4 kV

Sa obzirom da je tečnost na bazi izolacionog ulja, zanimljivo je uporediti podatke iz Tabele 3, izvod iz IEC 60296:2020

Tabela 3: Opšta specifikacija, Tip A (inhibirana ulja visokog kvaliteta) prema IEC 60296:2020

4 – Zdravlje, bezbednost i zaštita životne sredine			
Tačka paljenja	ISO 2719	Min. 135 °C	Min. 100 °C

Dakle na osnovu tabele 3, minimalna tačka paljenja bi trebala biti 135°C, a prema odgovorima koje smo dobili od proizvođača, kod ove elektroizolacione tečnosti minimalna tačka paljenja je 230°C.

S obzirom na to da nije poznat detaljan sastav elektroizolacione tečnosti autori su kontaktirali proizvođača pitanjem: Da li je upotreba ovog proizvoda ekološki bezbedna, odnosno postoji li neka referentna EU norma? Ovde prenosimo odgovor koji nam je dostavljen.

“ Tečnost je u skladu sa OECD Guideline 301 F (Ready Biodegradability: Manometric Respirometry Test), jednim od EU dokumenta koji se odnosi na biorazgradljivost. U ovom slučaju ona iznosi 76% što zadovoljava standard od minimalno 60% biorazgradljivosti.”

Što se posebnih mera opreza u radu sa ovim proizvodom tiče, napomenuto je da u slučaju da se proguta ili inhalira, mogu nastupiti teže posledice usled trovanja, te je obavezno obratiti se lekaru. Takođe se napominje da tečnost ne izaziva požar, ali može učestvovati u gorenju, shodno vrednosti tačke paljenja, koja je dosta iznad minimalne vrednosti definisane za izolaciona ulja.

3 ZAKLJUČAK

Upotreba elektroizolacione tečnosti za čišćenje površina izolatora elektroenergetske opreme bi svakako mogla doprineti povećanju pouzdanosti rada VN opreme i smanjenju broja planiranih isključenja pogona. Ovakav jedan pristup u održavanju, koji se očigledno već primenjuje u svetu, bi zasigurno vrlo brzo pokazao pozitivne efekte.

Trenutno, u našoj zemlji nedostaje regulativa koja bi jasno definisala uslove i pripremne radnje za upotrebu elektroizolacionih tečnosti u svrhu čišćenja postrojenja pod naponom. Ovo se prvenstveno odnosi na proveru izolacionih svojstva pre same upotrebe tečnosti, na licu mesta. Takođe bi se morale definisati i bezbednosne mere, minimalna rastojanja za sve naponske nivoe i lična zaštitna sredstva, koja su neophodna za osoblje koje radi tokom čišćenja VN opreme pod naponom. U sklopu dokumenata bi se morale nalaziti i ekološke mere zaštite okruženja. Ovakva regulativa bi predstavljala zamah i budućim vrstama održavanja koje bi se mogle obavljati na opremi pod naponom (rad iz helikoptera na dalekovodima, pa čak i zamena delova VN opreme pod naponom – sanacija kvarova na kablovima bez isključenja i sl...).

Sa obzirom da u našoj zemlji postoji nekoliko naponskih nivoa, logičan put za uvođenje ovakvog načina održavanja bi bio najpre primena na naponskim nivoima do 20 kV odnosno 35 kV, te na osnovu prikupljenih iskustava, posle izvesnog perioda upotreba i na naponskom nivou 110 kV. U tom smislu autori ohrabruju naše kompanije, prvenstveno distribuciju i prenos energije, da započnu proces pilot projekata, ispitivanja, mogućnosti primene i izrade internih standarda vezanih za ovu materiju.

4 LITERATURA

- [1] Ninoslav Simić, Jovan Mrvić, Katarina Maksić “Mogućnosti primene VN ispitivanja i monitoring PD u realnim uslovima ”, SK/SO-1 BH K/O CIRED 2024.
- [2] Ninoslav Simić, Jovan Mrvić “Analiza uzroka eksplozije 110 kV odvodnika prenapona“, 36. savetovanje CIGRE Srbija A3 2023.
- [3] IEC 60156: 2025-1 Insulating liquids – Determination of the breakdown voltage at power frequency – Test method.