

DOI: [10.46793/CIGRE37.B1.01](https://doi.org/10.46793/CIGRE37.B1.01)**B1.01****ISPIRANJE ULJNIH KABLOVA NAPONSKOG NIVOA 110 KV****FLUSHING OF 110 KV OIL-FILLED CABLES****Miloš Milošević, Pane Ivetić, Branko Đorđević, Mirko Borović, Aleksandra Višnjić***

Kratak sadržaj: U ovom radu dat je pregled, pojašnjenje tehnologije i rezultat ispiranja postojećih kablovskih vodova 110kV radi njihove ekološke demontaže, konkretno na deonicama TS Beograd 1 – TS Beograd 6 (u celosti) i TETO Novi Beograd – TS Beograd 45 (deonica od TETO Novi Beograd do Savskog mosta). Predviđeni radni vek eksploatacije dela postojećih kablovskih vodova 110kV na teritoriji grada Beograda bliži se kraju, stoga je njihova zamena postala neophodna. Konstrukcija ovih kablova zasniva se na izolaciji od papira i ulja koje usled temperaturnih uticaja i pritiska cirkuliše kroz i oko provodnika, sve do olovnog plašta, koji predstavlja mehaničku i električnu zaštitu kablova. Ova tehnologija danas je zamenjena “suvim” kablovima, dok se stara tehnologija napušta zbog ograničenja u prenosnoj moći, poteškoća u održavanju kao i nepovoljnog ekološkog uticaja na životnu sredinu. Tehnološkim procesom, u zavisnosti od konstrukcije kablova, kao i drugih faktora i terenskih uslova, injektiranjem azota pod niskim pritiskom vrši se forsirano kretanje ulja od tačke višeg pritiska ka tački nižeg pritiska odnosno atmosferskog pritiska. Istisnuto ulje iz sistema prikuplja se u predviđene kontejnere i pravilno se odlaže u skladu sa ekološkim zahtevima. Rezultat ovog procesa je delimično suv kabl i papirna izolacija, koji se mogu lako demontirati i po potrebi reciklirati.

Ključne reči: visokonaponski kabl, ulje, ekologija, demontaža, ispiranje ulja

Abstract: This paper provides an overview, an explanation of the technology, and the results of flushing existing 110 kV cable lines for their environmentally friendly dismantling, specifically on the sections SS Beograd 1 – SS Beograd 6 (in full) and TETO Novi Beograd – SS Beograd 45 (the section from TETO Novi Beograd to the Sava Bridge). The expected operational lifespan of certain existing 110 kV cable lines in the territory of Belgrade is approaching its end, making their replacement necessary. The construction of these cables is based on paper and oil insulation, where the oil circulates through and around the conductor due to temperature influences and pressure, reaching the lead sheath, which serves as both mechanical and electrical protection for the cable.

* Miloš Milošević, MINS Elektro, milos.milosevic@minselektro.com

Pane Ivetić, MINS Elektro d.o.o., pane.ivetic@minselektro.com

Branko Đorđević, EMS AD, branko.djordjevic@ems.rs

Mirko Borović, EMS AD, mirko.borovic@ems.rs

Aleksandra Višnjić, EMS AD, aleksandra.visnjic@ems.rs

This technology has now been replaced by "dry" cables, as the old technology is being phased out due to its limitations in transmission capacity, maintenance difficulties, and adverse environmental impact. Through a technological process, depending on the cable's construction, as well as other factors and field conditions, nitrogen is injected at low pressure to force the movement of oil from a point of higher pressure to a point of lower or atmospheric pressure. The displaced oil from the system is collected in designated containers and properly disposed of in accordance with environmental requirements. The result of this process is a partially dry cable and paper insulation, which can be easily dismantled and, if necessary, recycled.

Key words: *high-voltage cable, oil, ecology, dismantling, oil flushing*

1 UVOD

Pojedini kablovski vodovi 110 kV koji postoje u prenosnom sistemu grada Beograda, a čiji radni vek se bliži kraju, za izolaciju koriste impregnirani papir i ulje. Low Pressure Oil Field (LPOF) tehnologija koristi poseban sistem koji je projektovan tako da uvažava različite parametre kablova: njihovu poziciju (visinska razlika terena gde su položeni), temperaturu ambijenta, temperaturne fluktuacije prilikom eksploatacije usled promene strujnog opterećenja itd. Sve ovo uzrokuje promenu pritiska ulja u sistemu, koji mora biti u granicama dozvoljenog, odnosno količinu ulja u svim delovima kabla, na način da izolacija kabla ne bude ugrožena.

Usled starenja samog kabla, odnosno spoljnog plašta, kao i kod manjih mehaničkih oštećenja usled neovlašćenih radova u zaštitnom pojasu kablovskih vodova, dolazi i do lokalnog curenja ulja na trasi koje se mora pratiti.

Zbog svega navedenog potrebno je vršiti redovan monitoring sistema:

- Provera pritiska ulja u sistemu uz povremeno dolivanje ulja
- Provera kvaliteta ulja, tj provera izolacionih karakteristika

Radne temperature kablovskih vodova izvedenih u LPOF tehnologiji su manje od kablova koji kao izolaciju koriste umreženi polietilen. Samim tim je dozvoljeno strujno opterećenje za iste poprečne preseke i materijale manje. Zamena starih uljnih kablova neophodna je zbog njihove ograničene strujne moći i negativnog uticaja na životnu sredinu. Novi kablovi omogućavaju veće prenose energije, smanjuju rizik od curenja ulja i zagađenja, te doprinose efikasnijem i ekološki prihvatljivijem elektroenergetskom sistemu.

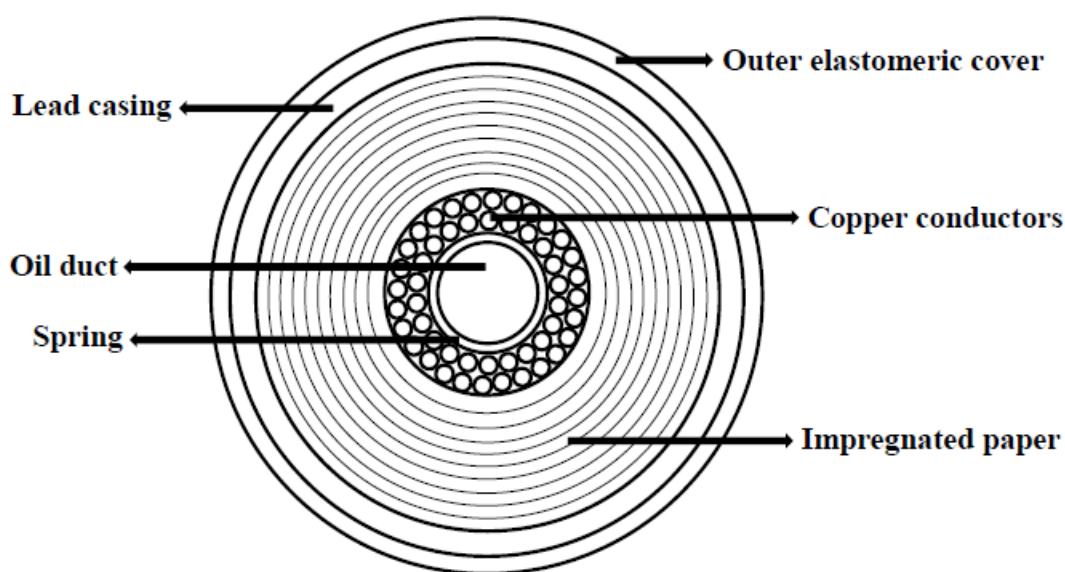
Nakon zamene uljnih kablova i ugradnje novih kablova po drugoj trasi, sa uljnim kablovima treba postupiti pažljivo, u skladu sa tehničkim i ekološkim zahtevima. Korišćeni papir, ulje i nusprodukti koji postoje predstavljaju opasne materije koje se moraju tretirati ekološki, uz minimalan uticaj na životnu sredinu. Operatori imaju na raspolaganju sledeće mogućnosti:

1. Uklanjanje kablova – ova aktivnost podrazumeva obimne građevinske i elektromontažne radove u okviru kojih se vrši i demontaža uljnog sistema.
2. Dekontaminacija – ova aktivnost podrazumeva minimalne građevinske i elektromontažne radove u okviru kojih se vrši ispiranje ulja, sa ciljem da se minimizira uticaj na okolinu.

Zadržavanje postojećih trasa uljnih kablovskih vodova čak i nakon zamene novim po drugoj trasi je opravdan razlog. Postojeća trasa može poslužiti za neki perspektivni kablovski vod. U skladu s tim je i Akcionarsko društvo „Elektromreža Srbije” Beograd donelo odluku da zadrži trase uljnih kablovskih vodova, ali da pristupi i dekontaminaciji.

2 OPIS ULJNOG KABLOVSKOG SISTEMA

Visokonaponski kablovski vod ima specifičnu konstrukciju i ista je prikazana na slici 1. Provodnik je prstenastog oblika, koji se sastoji od bakarnih/aluminijumskih, okruglih/trapezoidnih žila. Provodnik je sabijen uz izolaciju, na način da u sredini ostaje šupljina kroz koju struji ulje i natapa provodnik i izolaciju. Izolacija je od impregnisanog papira koncentrično namotanog oko provodnika sve do olovnog/korugovanog aluminijumskog plašta koji predstavlja mehaničku i električnu zaštitu. Spoljni izolacioni plašt služi za zaštitu olovnog plašta od vode i hemijskih uticaja zemljišta u kome se kabl polaže.

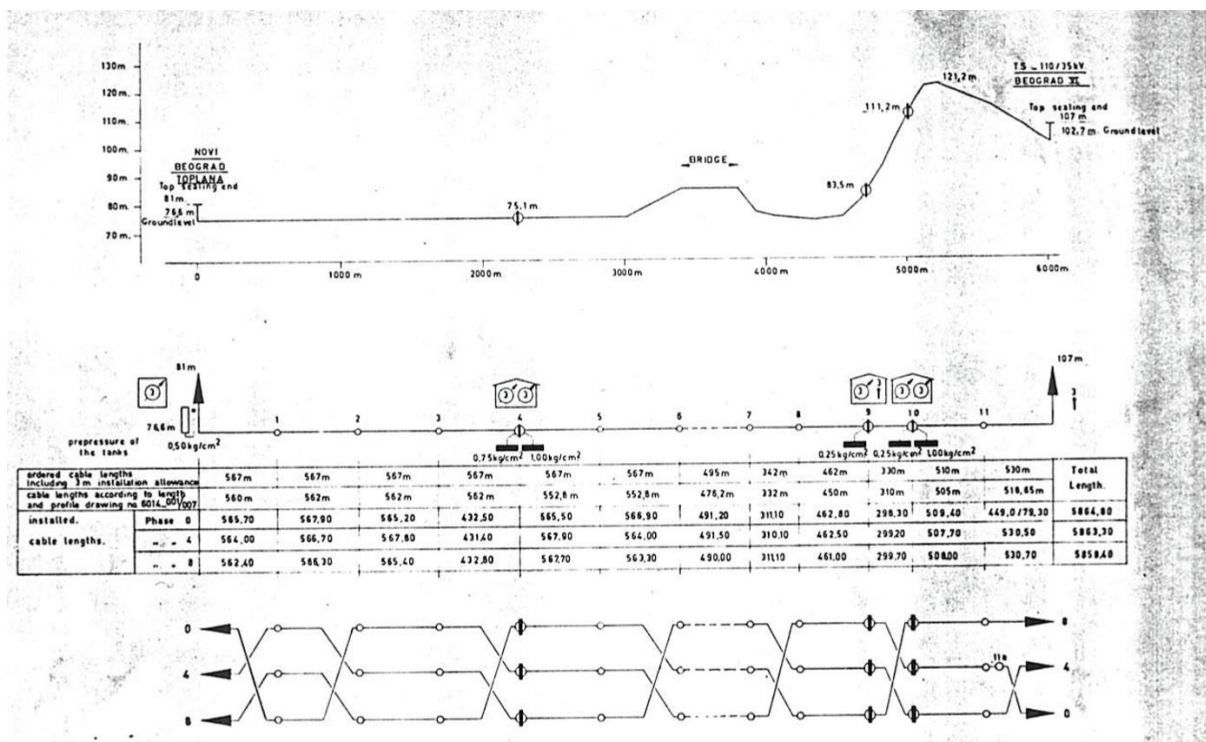


Slika 1: Konstrukcija VN kablovskog voda sa uljem

Trasa kablovskog voda deli se na više nezavisnih uljnih sekcija različitih zapremina, a sve u skladu sa visinskom razlikom koju kabl mora savladati. Za veće visinske razlike konstruisane su kraće deonice, dok je za relativno ravno položene kablove moguće vezati više deonica u jednu veću sekciju. Spojnice koje pripadaju istom uljnom sistemu nazivaju se nastavne spojnice, dok se spojnice koje razdvajaju dva nezavisna uljna sistema nazivaju zaprečne.

Uljne kablovske spojnice su metalna kućišta u kome se kompresiono nastavljaju provodnici, nakon čega se spoj namotava papirnom izolacijom. Metalni plašt kabla koji predstavlja električnu zaštitu kabla direktno se vari na metalnu spojnicu i na taj način ostvaruje električni kontakt.

Svaka faza kablovskog voda predstavlja jedan zasebni zatvoreni sistem ulja. Pored kablova, element ovog sistema je rezervoar sa uljem u kome se usled temperaturnih promena menja pritisak i nivo ulja, slično konzervatoru kod transformatora.



Slika 2: Dijagram uljnih sekcija i visinskih razlika na pravcu TETO Novi Beograd – Beograd 6

Na slici 2 prikazana je dijagram uljnih sekcija – skeleton dijagram uljnog kablovskog voda 110 kV broj 172 TS Beograd 6 – TETO Novi Beograd, na kom se mogu uočiti četiri različita uljna sistema po fazi. Sekcije i tipovi ugrađenih spojnica su dati u tabeli II.

Tabela II: Sekcije i tipovi spojnica

TETO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	BGD6
Sekcija I				Sekcija II					III	Sekcija IV		
KZ	R	R	R	Z	R	R	R	R	R	Z	R	KZ

- KZ – kablovska završnica
- R – ravna spojница
- Z – zaprečna spojница

Kablovski vod u Sekcijama I i II je relativno ravno položen, stoga one imaju više ravnih spojnica. Zbog visinske razlike od oko 28 m bilo je potrebno predvideti zasebnu Sekciju III, tj. nezavisni uljni sistem između šahti 9 i 10.

Na mestima gde su izvedene spojnice i završnice, direktno iz kućišta spojnice mogu biti izvedene metalne cevi na kojima će biti montirani manometri za monitoring pritiska ulja, kao i specijalni nepovratni ventili preko kojih se vrši dolivanje ili istakanje ulja unutar jedne sekcije.

U normalnom pogonu očekivani pritisci u sistemu do 5 bar. Prilikom havarijskih režima ovi pritisci idu do 8 bar. Ulje u sistemu je u natpritisku čime se sprečava ulazak bilo kakvog stranog gasa ili čestice u sistem.

Kablovske završnice se nalaze na obe strane kablovskog voda i predstavljaju prelaz sa uljno-papirne izolacije na vazдушnu izolaciju visokonaponskog provodnika.

3 METODE ISPIRANJA ULJA

Kako je globalni trend čista energija i ekologija, ubrzano se radi na razvijanju različitih rešenja za ispiranje i uklanjanje ulja iz kablova. Postoje dva pristupa rešavanju problema:

1. Klasična metoda – ispiranje kabla azotom pod pritiskom
2. Nestandardne metode – korišćenje bakterija koje razgrađuju ulje, korišćenje reagenasa koji očvrstnu ulje, korišćenje reagenasa koji razvodnjavaju ulje, vodeno ispiranje pod pritiskom itd.

Klasična metoda predmet je ovog rada i biće detaljno obrađena u zasebnom poglavlju.

Nestandardne metode su trenutno u fazi istraživanja i ispitivanja uz povremene aplikacije. Tokom godina u Evropi rađeno je više različitih pilot projekata, a njihovi rezultati ukazuju na to da će ove tehnologije biti sve primenjenije u budućnosti zbog svoje efikasnosti i neinvazivnosti. Prednosti ovih metoda jesu efikasnije uklanjanje ulja u odnosu na klasičnu metodu koja je robusnija.

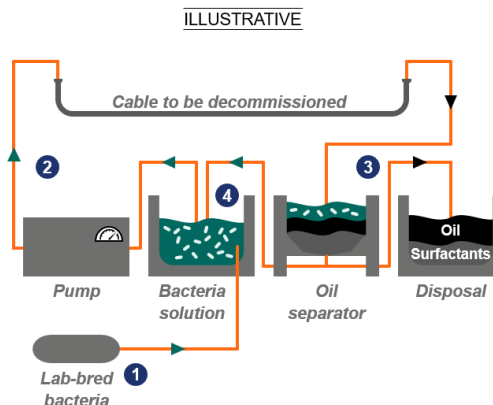
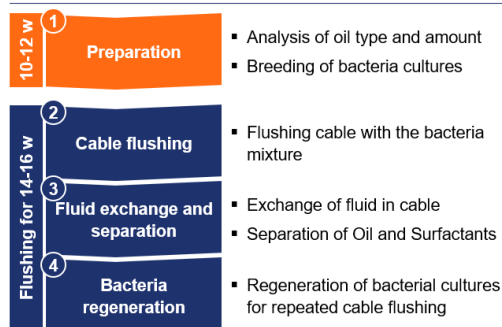
Posebno interesantna i obećavajuća tehnologija jeste upotreba bakterija koje izazivaju razgrađivanje ulja. Ovu metodu aktivno razvijaju i koriste svetski proizvođači kablova i kablovske opreme, a princip je prikazan na slici 3.

U zavisnosti od hemijskog sastava ulja, različite kombinacije tri vrste bakterija se koriste kao razgrađivači: *Bacillus Subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *Rhodococcus rhodochorus*. Ove bakterije pripadaju najnižoj rizičnoj grupi Risk Group 1, u skladu sa nomenklaturom Svetske Zdravstvene Organizacije (WHO), odnosno „Mikroorganizmi za koji je malo verovatno da će izazvati bolest ljudi ili životinja“.

Nakon analize sastava predmetnog izolacionog ulja, te laboratorijskog uzgoja određene sorte bakterija vrši se repetativno ispiranje kablova. Nakon 14-16 nedelja više od 95% ulja biće uspešno uklonjeno.

Aplikativne mane ove metode jesu vreme pripreme i realizacije koje prevazilazi klasičnu metodu ispiranja azotom, i kao ozbiljniji problem - svesna upotreba bakterija što može izazvati proceduralnu problematiku vezanu za domaće zakonske i zdravstvene regulative. U budućnosti možemo očekivati neku vrstu standardizacije i verifikovanja metoda za Evropsko područje uz sve neophodna zakonska usklađivanja, te bi kao takav bio primenjiv bez bojazni da će uticati nepovoljno na zdravlje ljudi i okoline.

After preparing the bacteria, the cable is repeatedly flushed to allow the bacteria to decompose the oil



Slika 3: Princip ispiranja kablova bakterijama

4 KLASIČNA METODA ISPIRANJA ULJA AZOTOM

4.1 Opis metode i korišćene aparature

Ispiranje ulja vrši se forsiranim injektiranjem čistog azota u uljni sistem kabla, odnosno stvaranje natpritiska sa jedne strane kabla, dok se sa druge strane sistem povezuje crevom sa otvorenim kontejnerima u kojima će biti prikupljeno istočeno ulje. Injektiranje azota se vrši na višoj koti kabla dok se istakanje vrši na nižoj strani, na taj način se povećava efikasnost i ubrzava proces.

Da bi procedura bila uspešna potrebno je utvrditi da ne postoje oštećenja na spoljašnjem plaštu kabla. Ovo se najčešće radi tako što se prati radni pritisak kabla i beleže se promene kao i temperature pri kojima su iste izmerene. Ukoliko se pritisak održava i promene sve tri faze imaju isti trend može se smatrati da ne postoji oštećenje kabla koje bi sprečilo dalje aktivnosti.

Kako je kablovski sistem već u natpritisku, prvi korak je povezivanje kontejnera preko nepovratnih ventila direktno u kontejner. Pritisak u sistemu će se spustiti sve do atmosferskog (0 bar at). Kada dođe do izjednačenja pritiska istakanje ulja će stati.



Slika 4: Povezivanje sistema za istakanje na ventile

Na drugoj strani deonice tada se pažljivo izvrši isecanje dela kabla, a na njegovom odsečenom kraju se montira specijalna metalna kapa (Slika 5) koja se zavari za olovni plašt. Kapa na sebi ima ventil preko koga se povezuje boca čistog azota, dozer i po potrebi kompresor. Podizanjem natpritiska, odnosno ispunjavanjem svih unutrašnjih delova kabla vazduhom, vrši se usmereno kretanje ulja kroz celokupan kabl (Slika 6). Radi uštede vremena, proces se radi za sve tri faze istovremeno. Ispiranje se radi u dve faze, prva kada se oslobađa slobodno ulje iz kabla, i druga kada se vrši isušivanje papirne izolacije.



Slika 5: Montaža kablovske kape za injektiranje azota



Slika 6: Injektiranje azota na deonici TETO – Beograd 45

4.1.1 Prva faza ispiranja

Brzina i količina istakanje ulja je u početku intenzivna, gradualno opada sa smanjenom količinom slobodnog ulja u kablju. Brzina istakanja ulja zavisi od broja prolaznih spojnica koje se nalaze na sekciji. Zbog smanjenja zapremine šupljine kroz koje struje ulje na spoju provodnika dve faze unutar spojnice smanjen je protok ulja prilikom ispiranja, tako da povećanje broja spojnica povećava vreme ispiranja. Prva faza traje sve dok se ulje istače iz kablja, a prestaje onog trenutka kada na drugoj strani počne da struji azot. Proces ispiranja traje više dana, a sve u zavisnosti od količine ulja u sistemu i dužine deonice. Iskustveno dobijeni rezultati jesu 2-5 dana po jednom kilometru kablovske trase. Na Slici 7 može se videti istočeno ulje u kontejnerima.

4.1.2 Druga faza ispiranja

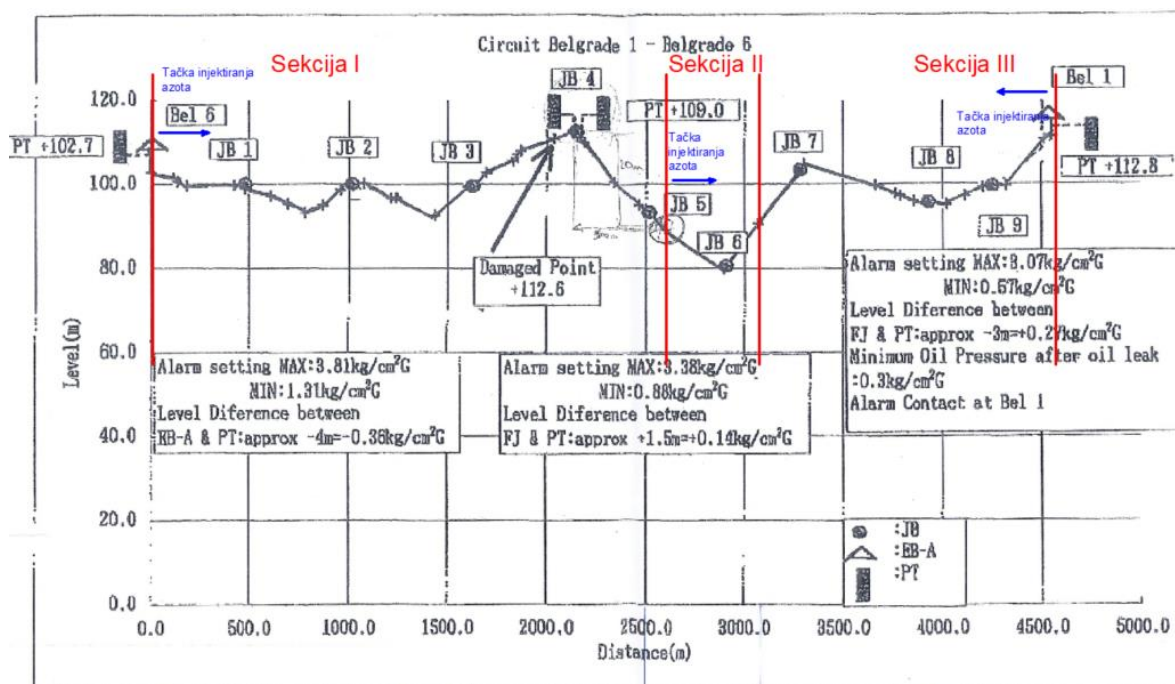
Kada se na strani istakanja pojavi samo injektirani vazduh, to je indikacija da je slobodno ulje iz sistema istočeno. Ostatak ulja koje ostaje u kablju nalazi se u natopljenom papiru. Strana istakanja se tada hermetički zatvara i kabl se puni azotom do natpritiska od 1-2 bara i ostavlja 24-48h. Azot u nadpritisku postepeno se raspoređuje unutar slojeva papira i oslobađa deo preostalog ulja koji se tu nalazi. Nakon predviđenog vremena ponavlja se prvobitni proces ispiranja još jednom, u trajanju od 1-2 dana čime se dodatno istoči deo ulja.



Slika 7: Istočeno ulje u kontejnerima

4.2 Rezultati ispiranja jednog uljnog 110 kV kablovskog

Na trasi uljnog 110 kV kablovskog voda broj 171 TS Beograd 1 – TS Beograd 6 izvršeno je kompletno ispiranje ulja u decembru 2024. godine. Na trasi je postojalo 9 kablovskih spojnica. Isti je u fazi projekta zamene kablom sa izolacijom od umreženog polietilena rasecan. Posledica tih aktivnosti jeste podela na 3 sekcije koje su prikazne na slici 8. Tačka injektiranja azota postavljena je na mesto više kote instalacije kablja.



Slika 8: Dijagram trase TS Beograd 1 – TS Beograd 6

U tabeli III dat je pregled parametara i rezultata:

Tabela III: Parametri i rezultati

	Sekcija I	Sekcija II	Sekcija III	TOTAL
Opis trase	TS Beograd 6	Deo kod spojnice 5	Deo kod spojnice 6	
Od – Do	Deo kod spojnice 5	Deo kod spojnice 6	TS Beograd 1	
Dužina trase	Oko 2500m	Oko 600m	Oko 1400m	4500m
Visinska razlika	15m	3m	21m	
Procenjeni kapacitet ulja (tri faze)	4500 litara	1080 litara	2520 litara	8100 litara
Istočeno ulja	2610 litara	580 litara	1310 litara	4500 litara
Vreme ispiranja	12 dana	4 dana	7 dana	23 dana

Prema dobijenim rezultatima može se zaključiti da je efikasnost standardne metode oko 55%. Ovi procenti korespondiraju sa zapreminom šupljine unutar kabla, odnosno sa nivoom slobodnog ulja koje se nalazi u kablju. Prva faza ispiranja nosi najveći udeo u istočenom ulju, dok druga faza doprinosi sa svega 2-3%.

Procenjeni kapacitet ulja računat je prema dostupnim podacima iz projektno tehničke dokumentacije koja je izrađena 1969. godine. Nije dostupan podatak koliko je realno ulja ostalo u sistemu, tako da je procenat efikasnosti prilično strogo određen.

5 ZAKLJUČAK

Klasična metoda ispiranja ulja pod pritiskom pokazala se kao prilično efektivna imajući u vidu neophodno vreme za mobilizaciju, montažu i povezivanje aparature za ispiranje, kao i sa aspekta samog trajanja ispiranja. Istočeno ulje se lako ekološki odlaže.

Prednost klasične metode ogleda se u njenoj pouzdanosti, dostupnosti opreme i relativno kratkom trajanju pripreme i realizacije. Istovremeno, njene ograničene mogućnosti u uklanjanju zaostalog ulja iz papirne izolacije predstavljaju prostor za dalja unapređenja.

Nestandardne metode, poput upotrebe specifičnih bakterija za razgradnju ulja, iako još u fazi razvoja i testiranja, pokazuju potencijal za viši stepen dekontaminacije i smanjenje negativnog uticaja na životnu sredinu. Njihova šira primena u budućnosti zahteva dalju standardizaciju i usklađivanje sa važećim regulativama.

6 LITERATURA

- [1] Stefano Caimi; Claudio Colombo; Rafaele Ferrari; Giuseppe Storti; Massimo Morbidelli, Recovery of Mineral Oil from Underground Electrical Cables – *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2019, 16, 2357; doi:10.3390/ijerph16132357 pages 1-3
- [2] NKT – Decomissioning of oil filled cables using Bacteria – *Business Presentation* 2021
- [3] Chris Miners – Method Statement for Cable Flushing on Lots Road 1&2 Circuits, Wimbledon Diversion – *ECS Document ECS/CSM/3267/MS0644* 2018 pages 4-8