

DOI: [10.46793/CIGRE37.B1.02](https://doi.org/10.46793/CIGRE37.B1.02)**B1.02****SISTEM ZA MONITORING PRITISKA ULJA NA 110 KV KABLOVSKIM VODOVIMA****SYSTEM FOR OIL PRESSURE MONITORING OF 110 KV CABLE LINES****Aleksandra Višnjić*, Branko Đorđević, Mirko Borović, Aleksandar Ćirić, Ivan Jeremić, Pane Ivetić**

Kratak sadržaj: Ovaj rad se bavi razvojem i implementacijom sistema za monitoring pritiska ulja na 110 kV kablovskim vodovima sa papirnom izolacijom impregniranom uljem. Sistem za praćenje radnog pritiska uljnih kablovskih vodova omogućava kontinuirani nadzor i analizu stanja kablovskog sistema kako bi se osigurala pouzdanost prenosa električne energije. Integracija ovog sistema sa SCADA sistemom omogućava praćenje za potrebe upravljanja u realnom vremenu. Sistem ima mogućnost automatskog alarmiranja u slučaju odstupanja od definisanih vrednosti parametara, koje odgovarajućim službama upravljanja i održavanja generišu obaveštenja putem SMS poruka i elektronskih mejlova, a radi blagovremenog donošenja odluka koje mogu sprečiti električne proboje izolacije kablova i samim tim prekide u radu kablovskog voda. Rezultati merenja se u bilo kom momentu mogu pratiti u grafičkoj i tabelarnoj formi. Svi podaci se arhiviraju, što kasnije omogućava analizu i praćenje trendova u promenama pritiska. Iskustvo primene ovog sistema u prenosnoj mreži Republike Srbije pokazalo se kao izuzetno pozitivno, jer su zahvaljujući njemu sprečene potencijalne havarije na 110 kV kablovskomvodu. Implementacija ovakvog sistema doprinosi smanjenju troškova održavanja i povećanju sigurnosti elektroenergetskih mreža.

Ključne reči: održavanje kablovskih vodova, sistem za monitoring pritiska, uljni kablovi

Abstract: This paper focuses on the development and implementation of a system for oil pressure monitoring oil pressure of 110 kV cable lines with oil-impregnated paper insulation. The monitoring system enables continuous supervision and analysis of the cable system's condition to ensure the reliability of electrical power transmission. Integration with the SCADA system allows real-time monitoring for system operator purposes. The system has the capability for automatic alarm activation in case of deviations from predefined parameter values. It generates notifications via SMS and email to the relevant system operator and maintenance departments, ensuring timely decision-making that can prevent electrical breakdowns in cable insulation and consequently interruptions in cable line operation.

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

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

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

Aleksandar Ćirić, SAEC, aleksandar.ciric@saec.rs

Ivan Jeremić, SAEC, ivan.jeremic@saec.rs

Pane Ivetić, MINS elektro, pane.ivetic@minselektro.com

Measurement results can be monitored at any time in graphical and tabular form. All data is archived, enabling later trend analysis of pressure changes. The experience of applying this system in the transmission network of the Republic of Serbia has proven to be highly positive, as it has successfully prevented potential failures in 110 kV cable line. The implementation of such a system contributes to reducing maintenance costs and enhancing the security of power transmission networks.

Key words: *cable line maintenance, pressure monitoring system, oil filled cables*

1 UVOD

Monitoring pritiska u uljnim kablovima od presudnog je značaja za eksploatacioni vek uljnog kabla. Havarije koje mogu nastati usled curenja ulja, odnosno ugrožavanja izolacije kabla mogu izazvati, pored problema u vidu prenosa električne energije, i veliki finansijski gubitak, obzirom da je sanacija kvara na uljnim kablovima veoma komplikovana i spora. Dodatno se mogu javiti rizici po reputaciju kompanije obzirom na ekološke aspekte kvara.

Kako bi se imao bolji uvid u stanje kablovskih vodova i sprečile havarije, većina operatora distributivnog i prenosnog sistema organizuje ekipe tako da se periodično vrši obilazak trase radi sprečavanja neovlašćenih radova u zaštitnom pojasu kablovskih vodova i da se očitaju pritisci na manometrima. Očitavanje pritiska u uljnim kablovima predstavlja logistički problem u vidu angažovanju ljudstva. Dakle većina operatora praktikuje konvencionalno održavanje [1].

Najčešća praksa je da se merenja radnog pritiska vrše vizuelno i da se vrednost očitava jednom nedeljno. Arhiviranje podataka sa takvim vremenom odbirka ne omogućava značajnu analizu radnog pritiska ulja u 110 kV uljnim kablovima. Dinamičke promene pritiska u takvom sistemu nisu uočljive pa i reakcija ekipa za održavanje u cilju sprečavanja kvara nije moguća.

2 POSTOJEĆA REŠENJA SISTEMA ZA PRAĆENJE PRITISKA ULJA

Svi kablovski vodovi na teritoriji Beograda naponskog nivoa 110 kV koji su izvedeni kablovima sa papirnom izolacijom i koji su pod niskim pritiskom poseduju sisteme za dojavu pada pritiska. Sistemi se znatno razlikuju u smislu logike te postoji rešenje gde se daje pojedinačni alarm za svako merno mesto i svaku fazu kablovskog voda, ali postoji i rešenje gde je rezultat aktiviranja „zbirni” alarm. U slučaju aktiviranja „zbornog” signala poznata je deonica na kojoj postoji problem, ali nije poznata i faza na kojoj je zabeležen pad pritiska. Na pojedinim vodovima prekid telekomunikacionih bakarnih kablova koji se koriste kao prenosni sistem izazivaju alarmiranje nalik padu pritiska, dok na drugima to nije slučaj. Ekipe koje se bave održavanjem po aktiviranju ovakvih sistema u slučaju zbirnih signala imaju isključivo informaciju na kojoj deonici kabla je problem. Može se zaključiti da u nekim situacijama neće raspolagati ni pouzdanom informacijom da li je sistem za dojavu pada pritiska ispravan ili ne.

Jasno je da raznolikost rešenja i logike zahteva da ekipe moraju da se upoznaju sa karakteristikama sistema za dojavu pada pritiska radi nužnog periodičnog održavanja i brzog donošenja odluka.

Sistem za dojavu pada pritiska uz kablovski vod predstavlja tehnološko-tehničku celinu koja je izvedena u toku investicionih radova na izgradnji kablovskih vodova i u vlasništvu je ili operatora distributivnog ili operatora prenosnog sistema.

Zakonskom regulativom u Republici Srbiji je utvrđeno vlasništvo nad distributivnom i prenosnom mrežom i jasno su definisana mesta razgraničenja. U momentima kada se vrši primopredaja kablovskih vodova vrši se izuzimanje sistema za dojavu pada pritiska i drugih TK servisa te isti ostaju u vlasništvu operatora distributivnog sistema. Samim tim se usložnjava proces održavanja.

Kod rada ovih sistema često se beleži veliki broj neregularnih aktiviranja. Zabeleženi su slučajevi pojave jednog ili više signala u toku dana, koji su okarakterisani kao lažni signali pošto su ekipe interventno reagovala i očitale radne pritiske u granicama dozvoljenih vrednosti. Zabeleženo je i oštećenje TK kabla koje nije signaliziralo pad pritiska.

Problemi koji su nastajali i činjenica da sistem dojave pada pritiska nije u vlasništvu Akcionarskog društva „Elektromreža Srbije” Beograd doveli su do potrebe za rešenjem u vidu daljinskog očitavanja i monitoringa pritiska u uljim kablovima u realnom vremenu.

Prelazak na automatsko očitavanje pritiska u uljnim kablovima predstavlja prelazak na održavanje sistema na osnovu stanja tj. *Condition-based maintenance* (CBM) model i donosi značajna unapređenja u ovoj oblasti, kao na primer:

1. Očitavanje merenja sa jednosekundnom rezolucijom (može biti i učestalije, ali je procenjeno da je jednosekundna rezolucija sasvim dovoljna za ove potrebe),
2. Prikaz i uvid u stanje kod svih mernih mesta,
3. Arhiviranje podataka do 365 dana,
4. Analizu podataka i praćenje trendova,
5. Alarmiranje događaja,
6. Prenos alarma u RDC (Regionalni dispečerski centar) i NDC (Nacionalni dispečerski centar) i druge centra od interesa,
7. Obaveštavanje korisnika usled nepravilnosti slanjem SMS poruka i email-ova,

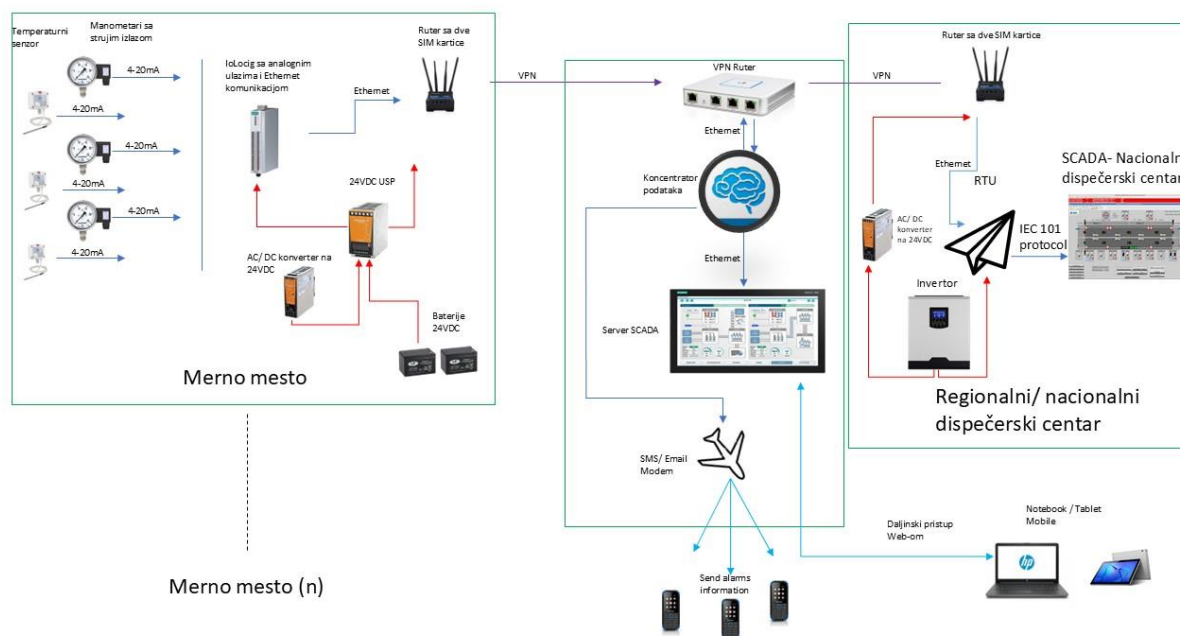
3 ARHITEKTURA SISTEMA ZA MONITORING PRITISKA ULJA

Sistem monitoringa pritiska u uljnim kablovima sastoji se od 4 celine.

1. Lokacije mernog mesta
2. Centralna lokacija
3. RDC (Regionalni dispečerski centar)
4. Strana korisnika

Lokacija mernih mesta sastoje se od manometara, uređaja za očitavanje, opreme za besprekidno napajanje kao i rutera za funkcionalan prenos podataka ka centralnoj lokaciji (slika 1). Na samom mestu merenja ugrađeni su manometri koji analogno pokazuju merenje ali imaju i mogućnost da pretvore izmereni pritisak u strujni izlaz (4-20 mA). *IOLogic* uređaj prima analogna merenja i prosleđuje ih preko rutera koncentratoru podataka.

Ruter na sebi ima dve SIM kartice, a kako bi se obezbedila kompletna redundansa korišćene su kartice različitih provajdera. U samoj aplikaciji korišćen je *OpenVPN* između rutera na mernom mestu (*OpenVPN Server*) i glavnog rutera (*OpenVPN Client*) na centralnoj lokaciji. *OpenVPN* pruža komunikaciju između *IOLogic* uređaja i glavnog koncentratora.



Slika 1: Topologija sistema monitoringa pritiska u uljnim kablovima.

Glavni koncentrator ima zadatak da prikupi sve podatke, obradi logiku, generiše alarme i prosledi SCADA serveru alarme.

Koncentrator podataka generiše sledeće alarme:

1. Nadpritisak alarm – kada je vrednost veća od maksimalne vrednosti pritiska
2. Podpritisak alarm – kada je vrednost manja od minimalne vrednosti pritiska
3. Podpritisak opomena – kada je vrednost manja od iskustveno utvrđene vrednosti pritiska
4. Kvar komunikacije
5. Spora promena pritiska – kada je ispunjen zahtev u pogledu promene vrednosti pritiska u izabranom vremenskom prozoru
6. Nagla promena pritiska – kada je ispunjen zahtev u pogledu promene vrednosti pritiska u izabranom vremenskom prozoru

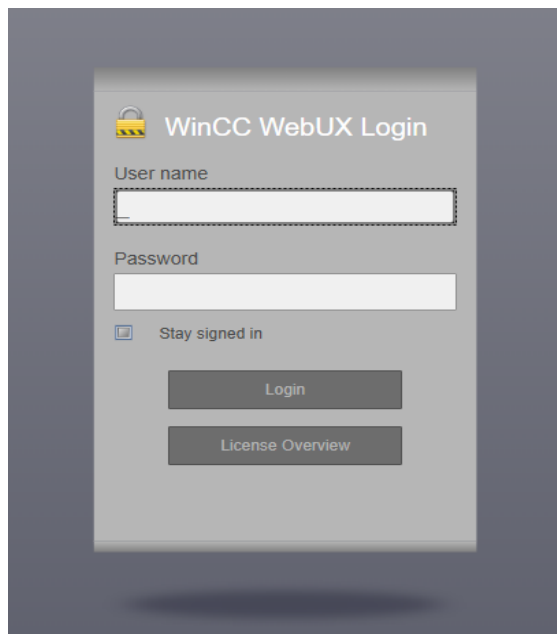
Generisani alarmi se prosleđuju u vidu SMS poruke i email-a definisanim korisnicima, koji mogu pristupiti aplikaciji i proveriti rad sistema pa shodno tome organizovati eventualne radove kako bi sprečili havariju u sistemu.

4 FUNKCIONALNOSTI SISTEMA

U narednim poglavljima obradićemo funkcionalnosti sistema.

4.1 Sistem logovanja i administratorske role

Definisani korisnici pristupaju SCADA Serveru preko Web pretraživača (slika 2).



Slika 2: Prijava na sistem monitoring pritiska u uljnim kablovima.

Logovanjem dobijaju određene mogućnosti koje su im dodeljene. Pa samim tim imamo dva tipa logovanja.

1. Administratorsko
2. Operatorsko

Administratorski pristup ima sve mogućnosti (promena granica alarma, generisanje izveštaja, promene parametara za funkciju $\Delta P/\Delta t$, dodavanje novih operatera i dr.)

Operatorski pristup ima mogućnost kreiranja izveštaja.

Usaglašeni alarmi o stanju sistema mogu da se šalju u RDC (Regionalni dispečerski centar) i NDC (Nacionalni dispečerski centar), odakle dispečeri imaju mogućnost da po definisani procedurama angažuju dežurnu službu i otklone kvar, tako da je sistem kontinualno nadgledan.

4.2 Arhiviranje podataka

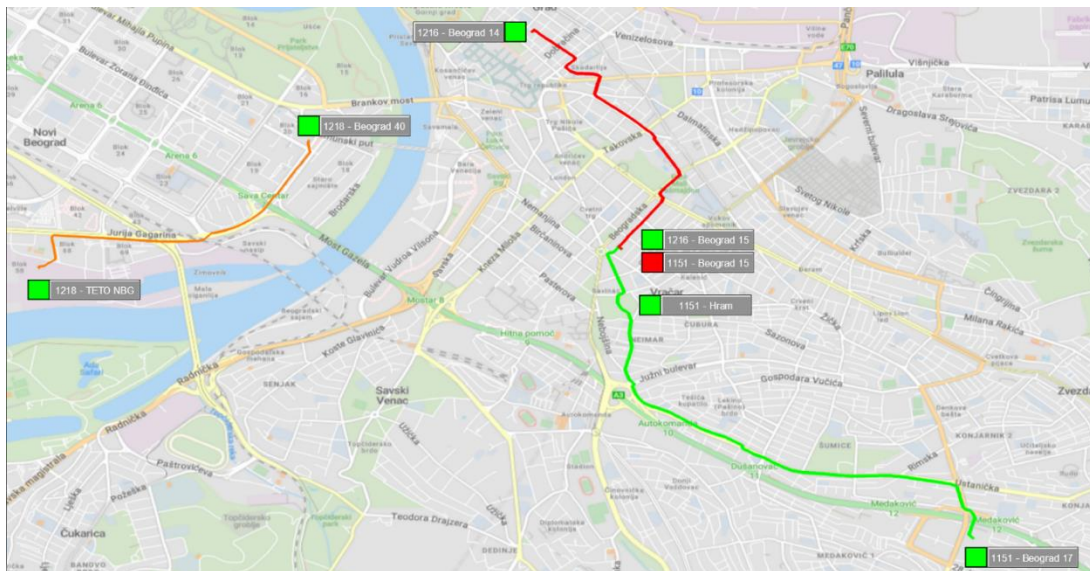
Detaljna analiza rada sistema jedino može biti opravdana arhiviranjem podataka. S tim u vezi aplikacija je tako zasnovana da čuva podatke (sa 1 s rezolucijom) 365 dana. Svakog trenutka lice koje ima pristup aplikaciji može učitati podatke i generisati izveštaj za definisani period. Time se obezbeđuje kontinuitet u praćenju tehničkog stanja kablovskog voda kroz vreme, kao i mogućnost vraćanja na prethodne događaje u cilju dijagnostike i procene uzroka eventualnih odstupanja ili incidenata.

Arhivirani podaci se mogu koristiti za više različitih svrha, među kojima su:

1. Analiza trendova – praćenjem promena pritiska kroz vreme moguće je identifikovati obrasce ponašanja, kao i potencijalne indikatore pogoršanja izolacije kabla pre nego što dođe do kvara.
2. Podrška pri odlučivanju – na osnovu istorijskih podataka može se doneti odluka o potrebi za preventivnim održavanjem ili intervencijom, čime se smanjuje rizik od prekida u radu.
3. Optimizacija održavanja – podaci o ponašanju sistema tokom različitih vremenskih i eksplotacionih uslova (godišnje doba i opterećenja kablova) i režima rada doprinose planiranju efikasnijih i troškovno racionalnijih strategija održavanja.

4.3 Vizualizacija, prikaz podataka sa mernih mesta i alarmiranje

Grafički interfejs sistema omogućava korisnicima jasan pregled svih mernih mesta, trenutnih vrednosti pritiska i temperature, alarma i trendova u realnom vremenu. Intuitivni prikaz na mapi, dok dijagrami i tabele omogućavaju brzo donošenje odluka i efikasno upravljanje radom uljnih kablovskih vodova.



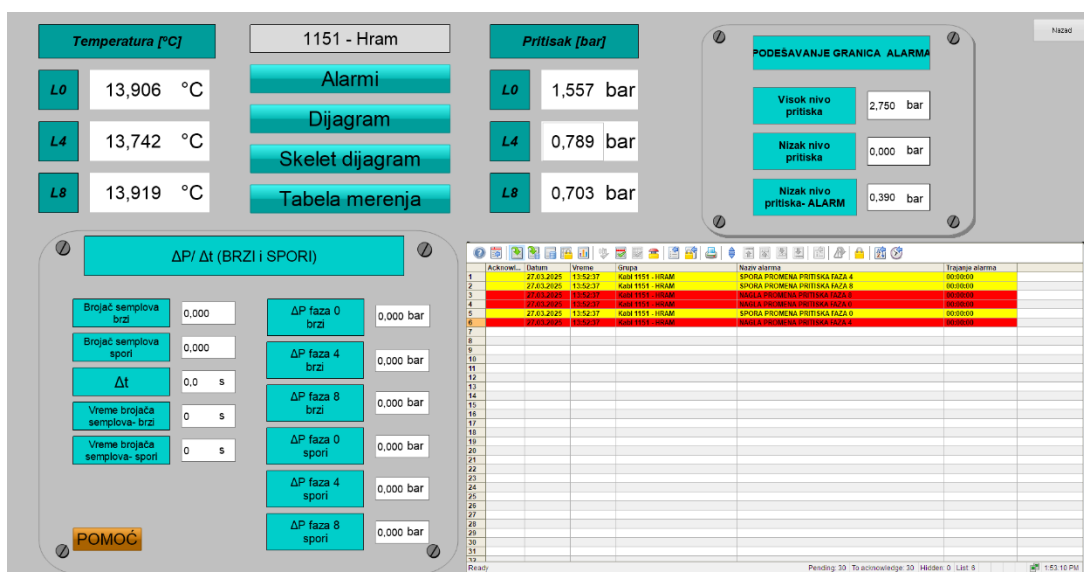
Slika 3: Pregled svih mernih mesta.

Radi lakšeg pregleda na slici 3 dat je prikaz svih mernih mesta na karti grada Beograda. Ucertana trasa kablova daje realnu sliku trase kabla, dok zeleni i crveni kvadrati signaliziraju status komunikacije tog mernog mesta. Tako zeleni kvadrat predstavlja merno mesto koje je u komunikaciji dok crveni označava da je došlo do prekida komunikacije.

Odabirom na jedno od prikazanih mernih mesta otvara se prozor kao na slici 4.

U istom je dat prikaz temperatura i pritiska po fazama, alarmi, dijagram pritiska u vremenu, kao i tabela merenja koji se odnose samo na to merno mesto. Omogućeno je podešavanje granica alarma kao i podešavanje funkcije $\Delta P/\Delta t$ za spore i brze promene pritiska.

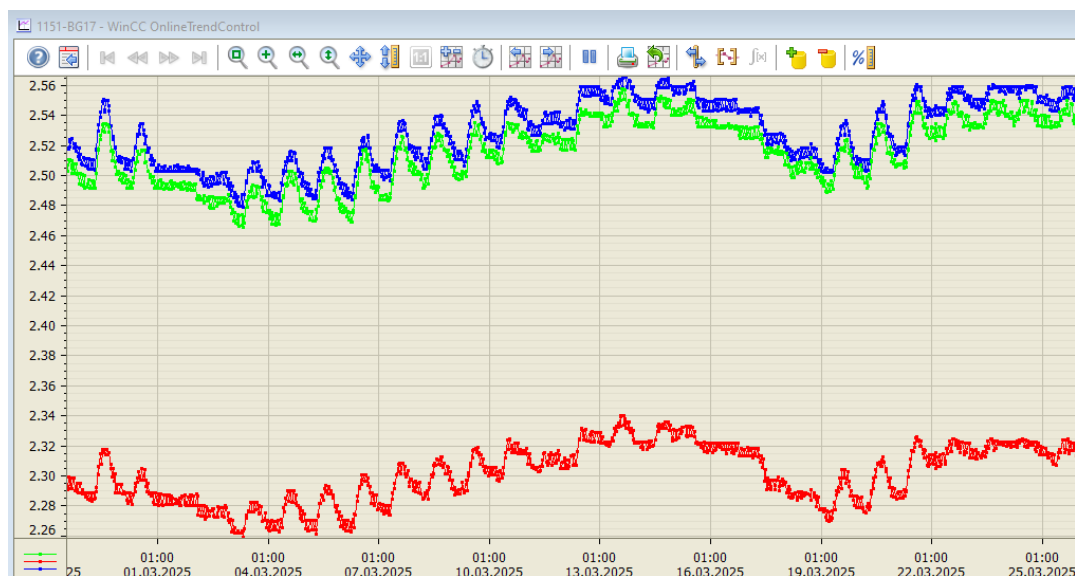
Sistem monitoring radnog pritiska u uljnim kablovima, unapredio je sistem očitavanja vrednosti radnog pritiska sa nedeljnog očitavanja na jednosekundno očitavanje vrednosti.



Slika 4: Prikaz podataka proizvoljnog mernog mesta.

Ovakva rezolucija daje jasnu sliku, a pored toga daje mogućnost da se radni pritisak može posmatrati u vremenu. Time se stvara osnova za primenu *Big Data* pristupa, koji omogućava detaljnu analizu velikog broja merenja, otkrivanje skrivenih trendova i pravovremenu detekciju nepravilnosti.

Na slici 5 može se uočiti kako izgleda dijagram trendova pritiska po fazama.



Slika 5: Trend pritiska po fazama

Na slici 6 dat je prikaz svih alarma na aplikaciji monitoringa pritiska u uljnim kablovima. Tako možemo primetiti da postoji grupa signala odnosno pokazatelj sa kog mernog mesta je aktiviran signal, naziv signala, kao i trajanje samog signala. Pored alarmne liste na slici 7 može se uočiti tabelarni prikaz svih merenja. Alarmna lista kao i tabelarni prikaz imaju mogućnost izvoza podataka u standardne formate radi lakšeg rada sa podacima.

	Acknowledge...	Datum	Vreme	Grupa	Naziv alarma	Trajanje alarma
1		27/03/25	13:18:40	Kabl 1216 - TS Beograd 15	NAGLA PROMENA PRITISKA FAZA 4	00:00:00
2		27/03/25	13:18:40	Kabl 1151 - TS Beograd 15	SPORA PROMENA PRITISKA FAZA 8	00:00:00
3		27/03/25	13:18:40	Kabl 1151 - TS Beograd 17	SPORA PROMENA PRITISKA FAZA 8	00:00:00
4		27/03/25	13:18:40	Kabl 1151 - TS Beograd 15	NAGLA PROMENA PRITISKA FAZA 8	00:00:00
5		27/03/25	13:18:40	Kabl 1151 - TS Beograd 17	NAGLA PROMENA PRITISKA FAZA 0	00:00:00
6		27/03/25	13:18:40	Kabl 1151 - HRAM	SPORA PROMENA PRITISKA FAZA 8	00:00:00
7		27/03/25	13:18:40	Kabl 1216 - TS Beograd 15	SPORA PROMENA PRITISKA FAZA 4	00:00:00
8		27/03/25	13:18:40	Kabl 1151 - HRAM	SPORA PROMENA PRITISKA FAZA 4	00:00:00
9		27/03/25	13:18:40	Kabl 1151 - TS Beograd 17	SPORA PROMENA PRITISKA FAZA 4	00:00:00
10		27/03/25	13:18:40	Kabl 1216 - TS Beograd 14	NAGLA PROMENA PRITISKA FAZA 0	00:00:00
11		27/03/25	13:18:40	Kabl 1151 - TS Beograd 17	SPORA PROMENA PRITISKA FAZA 0	00:00:00
12		27/03/25	13:18:40	Kabl 1151 - HRAM	NAGLA PROMENA PRITISKA FAZA 0	00:00:00
13		27/03/25	13:18:40	Kabl 1151 - TS Beograd 15	NAGLA PROMENA PRITISKA FAZA 4	00:00:00
14		27/03/25	13:18:40	Kabl 1216 - TS Beograd 15	SPORA PROMENA PRITISKA FAZA 0	00:00:00
15		27/03/25	13:18:40	Kabl 1151 - TS Beograd 17	NAGLA PROMENA PRITISKA FAZA 4	00:00:00
16		27/03/25	13:18:40	Kabl 1151 - TS Beograd 17	NAGLA PROMENA PRITISKA FAZA 8	00:00:00
17		27/03/25	13:18:40	Kabl 1216 - TS Beograd 15	SPORA PROMENA PRITISKA FAZA 8	00:00:00
18		27/03/25	13:18:40	Kabl 1216 - TS Beograd 14	SPORA PROMENA PRITISKA FAZA 8	00:00:00
19		27/03/25	13:18:40	Kabl 1216 - TS Beograd 14	SPORA PROMENA PRITISKA FAZA 0	00:00:00
20		27/03/25	13:18:40	Kabl 1151 - HRAM	NAGLA PROMENA PRITISKA FAZA 4	00:00:00
21		27/03/25	13:18:40	Kabl 1216 - TS Beograd 14	SPORA PROMENA PRITISKA FAZA 4	00:00:00
22		27/03/25	13:18:40	Kabl 1151 - TS Beograd 15	SPORA PROMENA PRITISKA FAZA 4	00:00:00
23		27/03/25	13:18:40	Kabl 1151 - HRAM	SPORA PROMENA PRITISKA FAZA 0	00:00:00
24		27/03/25	13:18:40	Kabl 1151 - HRAM	NAGLA PROMENA PRITISKA FAZA 8	00:00:00
25		27/03/25	13:18:40	Kabl 1151 - TS Beograd 15	SPORA PROMENA PRITISKA FAZA 0	00:00:00
26		27/03/25	13:18:40	Kabl 1216 - TS Beograd 15	NAGLA PROMENA PRITISKA FAZA 8	00:00:00
27		27/03/25	13:18:40	Kabl 1216 - TS Beograd 14	NAGLA PROMENA PRITISKA FAZA 8	00:00:00
28		27/03/25	13:18:40	Kabl 1151 - TS Beograd 15	NAGLA PROMENA PRITISKA FAZA 0	00:00:00
29		27/03/25	13:18:40	Kabl 1216 - TS Beograd 14	NAGLA PROMENA PRITISKA FAZA 4	00:00:00
30		27/03/25	13:18:40	Kabl 1216 - TS Beograd 15	NAGLA PROMENA PRITISKA FAZA 0	00:00:00
31						

Slika 6: Prikaz alarmne liste.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
1	01.01.2020 23.58	2.52	2.31	2.52	2.52	0.58	0.73	0.67	1.09	1.10	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1

Slika 7: Tabelarni prikaz svih merenja

Sistem ima mogućnost za preventivnom detekcijom kvara. Ta funkcionalnost ostvarena je kroz zavisnost pritiska u vremenu $\Delta P/\Delta t$. Sistem ima mogućnost da detektuje brzinu promene pritiska ulja, pa tako imamo mogućnost da sporo curenje ulja detektujemo pre nego se javi alarm pad pritiska opomena. To daje mogućnost dežurnoj ekipi da proveri, detektuje i otkloni potencijalni kvar pre nego što ono izazove veće oštećenje. Na primer, brža promena pritiska ulja nam govori da je došlo do ozbiljnijeg kvara na uljnom sistemu.

Granice za brzinu promene pritiska ulja su podesive i rezultat su dužeg praćenja i analize arhivskih zapisa podataka o promenama pritiska, te će sa iskustvom dati i preciznije rezultate. Po analizi više događaja stvoriće se mogućnost da se iste podese.

5 REZULTATI PRIMENE SISTEMA

Implementacija sistema za monitoring pritiska ulja na 110 kV kablovskim vodovima pokazala je izuzetne rezultate u praksi, naročito u pogledu prevencije kvarova, optimizacije održavanja i smanjenja operativnih troškova.

Jedan od primera uspešne intervencije desio se na kablovskom vodu 110 kV broj 1151 TS Beograd 15 – TS Beograd 17, kada je sistem zabeležio nizak nivo pritiska. Zahvaljujući pravovremenom obaveštavanju dežurne ekipe putem SMS poruke i email-a, izvršena je vanredna terenska kontrola.

Nakon dolaska dežurne ekipe na lokaciju i očitavanja manometra potvrđena je niža vrednost radnog pritiska u odnosu na nominalnu, ali koja je još uvek bila u granicama bezbednog rada. Tim povodom izvršeno je dolivanje ulja u kablovsku žilu faze „4” na deonici između TS Beograd 15 i zaprečne spojnice ZS-2 (Hram Svetog Save), pomoću mobilne pumpe sa uljem istih karakteristika, čime je vraćen optimalan nivo pritiska. Intervencija je trajala manje od jednog dana, bez prekida u radu kablovskog voda.

U tabeli I prikazane su planirane aktivnosti na održavanju i popravci kablovskog voda. Za svaku vrstu radova dat je kratak opis obuhvaćenih aktivnosti, kao i procena ukupnih troškova izražena u evrima.

Tabela I: Procenjeni troškovi

Vrsta radova	Opis	Procena troška (EUR)
Preventivno dolivanje ulja	Terenski izlazak, očitavanje pritiska, dolivanje ulja	1.400,00
Popravka zaprečne spojnice	Iskop, demontaža oštećene zaprečne spojnice, postavljanje posteljice, polaganje nove kablovske žile, izrada nove ravne spojnice, izrada nove zaprečne spojnice, dolivanje ulja, ispitivanje kabla, vraćanje tla u prvobitno stanje i dr.	166.000,00

Na osnovu poređenja procenjenih troškova koji bi se imali za preventivno dolivanja ulja, kao i onih koji bi se imali u slučaju popravke zaprečne spojnice, dolazi se nepobitnog zaključka o praktičnom značaju sistema za monitoring pritiska ulja na 110 kV kablovskim vodovima.

Iz svega navedenog se može zaključiti da preventivno delovanje uz pomoć sistema za monitoring pritiska ulja pruža mogućnost da se preduprede kompleksni kvarovi koji bi zahtevali višenedeljnu sanaciju, uz visoke direktne i indirektne troškove. Ovaj primer jasno ilustruje značaj pouzdanog sistema monitoringa u produženju radnog veka kablovskog voda i očuvanju sigurnosti prenosa električne energije.

6 DALJI RAZVOJ

Pored pomenutih funkcionalnosti, sistem za monitoring radnog pritiska u uljnim 110 *kV* kablovima ima i potencijal za proširenje i nadogradnju. Dalji razvoj aplikacije baziraće se na prikupljanju vrednosti indukovanih struja u električnoj zaštiti kabla, struje opterećenja i potencijalnoj izradi termičkog modela kabla radi uspostavljanja zavisnosti temperature i pritiska ulja. Ovakav model ima potencijal da potpuno autonomno podešava granice alarma pritiska ulja u zavisnosti od opterećenja i temperature, te tako smanji potrebu za stalnim praćenjem sistema od strane osoblja korisnika i ručnim podešavanjem granica alarma.

7 ZAKLJUČAK

Razvijeni sistem za monitoring pritiska ulja na 110 *kV* kablovskim vodovima predstavlja značajan iskorak u unapređenju tehnologije održavanja elektroenergetskih sistema i predstavlja prelazak sa konvencionalnog na održavanje po stanju (CBM). Implementacija ovog sistema omogućila je kontinuirani nadzor i pravovremenu detekciju nepravilnosti, čime je značajno smanjen rizik od ozbiljnih havarija i prekida u radu sistema. Primena funkcionalnosti kao što su automatsko alarmiranje, arhiviranje podataka i mogućnost detaljne analize trenda pritiska omogućavaju efikasno upravljanje kablovskim vodovima i optimizaciju održavanja.

Praktična primena sistema u prenosnoj mreži Republike Srbije već je pokazala pozitivne rezultate, kao što je preventivna intervencija na kablovskom vodu 110 *kV* broj 1151 TS Beograd 15 – TS Beograd 17, koja je sprečila ozbiljan kvar i smanjila operativne troškove. Dalji razvoj sistema, uključujući integraciju termičkog modela i prikupljanje dodatnih parametara, pruža mogućnosti za dodatnu automatizaciju i povećanje efikasnosti.

Kao rezultat ovih unapređenja, sistem za monitoring pritiska ulja ne samo da povećava sigurnost elektroenergetskih mreža, već i doprinosi eliminaciji ekoloških uticaja i smanjenju ekonomskih gubitaka, čime se dugoročno obezbeđuje stabilnost i pouzdanost elektroenergetskih sistema.

8 LITERATURA

[1] CIGRE TB 652 Guide for the operation of self contained fluid filled cable systems