



R B2 10

PRIKAZ REALIZACIJE SISTEMA ZA DINAMIČKO PRAĆENJE TEMPERATURE PROVODNIKA DALEKOVODA REALIZOVANOG NA DALEKOVODU 220 kV TS VALJEVO 3 – TS OBRENOVAC

**ANKA KABOVIĆ*, MILENKO KABOVIĆ, JOVANKA GAJICA INSTITUT
„MIHAJLO PUPIN“ BEOGRAD, SRBIJA
MATEJ KOVAČ, MATJAŽ JARC, VIKTOR LOVRENČIĆ, C&G d.o.o. LJUBLJANA,
BRANKO UHLIK, OTLM d.o.o., LJUBLJANA, SLOVENIJA,
NEBOJŠA PETROVIĆ, ŽELJKO TORLAK, PREDRAG CVETKOVIĆ, EMS a.d.
BEOGRAD, SRBIJA**

Kratak sadržaj— Rad sadrži prikaz rezultata pilot projekta za dinamičko praćenje temperature provodnika dalekovoda (DLR- *Dynamic Line Rating*) u mreži prenosa EMS. Osnovni cilj projekta je da se na bazi višemesečnog praćenja i analize rada DLR sistema instaliranog na 220 kV dalekovodu br. 227/2 TS Valjevo 3 – TS Obrenovac, u vidu sakupljanja rezultata merenja temperature, struje provodnika i inklinacionog ugla, kao i proračuna maksimalnog dozvoljenog strujnog opterećenja, procene stvarne mogućnosti njegovog opterećenja. U radu je dat kratak prikaz instalirane opreme tj. OTLM (*Overhead Transmission Line Monitoring*) senzora, tri meteorološke stanice, i DLR servera za prikupljanje i obradu podataka. Na dalekovodnoj liniji izabrana su tri raspona za instalaciju opreme. Podaci se sa senzora i meteoroloških stanica prenose pomoću GPRS mreže mobilne telefonije i interneta do DLR servera instaliranog u nacionalnom dispečerskom centru EMS-a. Na serveru se vrši prikupljanje i skladištenje primljenih podataka u bazu, kao i proračun maksimalno dozvoljene struje opterećenja dalekovoda za tekuće meteorološke uslove. Na osnovu izmerenih i izračunatih podataka omogućena je analiza razlika proračunate i stvarne vrednosti struje, kao i razlika proračunate i sezonskih vrednosti dozvoljenih pogonskih struja u toku posmatranog perioda. U radu je prikazana analiza merenih podataka za nadgledani dalekovod.

Ključne reči—DLR sistem, meteorološke stanice, OTLM senzor

* Institut “Mihajlo Pupin”, Volgina 15, 11060 Beograd, anka@kondor.imp.bg.ac.rs

1 UVOD

Novo deregulisano ekonomsko okruženje u elektroenergetskom (EE) sektoru primorava na korenite promene u investiranju i donošenju operativnih odluka koje se odnose na dalekovode (DV). Odluke se sada moraju donositi u drugačijem regulatornom i ekonomskom okruženju, gde date tehničke okolnosti imaju kraće vremenske okvire, sa povećanim nesigurnostima i odstupanjem od generalnog plana [1]. Kod donošenja odluka vezanih za dalekovode danas glavnu poteškoću predstavlja nesigurnost vezana za protoke energije, koji zavise od odluka elektrana i marketinških subjekata, koji imaju različite ekonomske pobude od vlasnika mreže prenosa. Dok je sveukupna međunarodna tendencija razvoja usmerena ka otvorenoj ekonomskoj konkurenciji i manjoj regulativi, dotle je uticaj na bilo kog vlasnika mreže prenosa značajno drugačiji.

Zbog toga deregulacija energetske tržišta sa povećanim brojem vetro-parkova i malih elektrana traži nove strategije planiranja dalekovodne mreže. Sve navedeno usložnjava tehničko funkcionisanje EES (elektro energetske sistema), kako na nivou prenosne, tako i na nivou distributivne mreže. Na mnogim mestima u mreži su se pojavila zagušenja, što je rezultiralo porastom cene energije i čestim ugrožavanjem sigurnosti EES.

Pored „klasičnog“ pristupa povećanja prenosnih kapaciteta investiranjem u gradnju/rekonstrukciju dalekovoda, moguće rešenje povećanja kapaciteta mreže je da se ona učini „inteligentnijom“, odnosno dobijanje više informacija o stanju mreže, na osnovu kojih će operatori, donošenjem boljih odluka, moći povećati efikasnost sistema sa postojećim resursima. Za takva razmatranja u efikasnom korišćenju postojećih resursa glavni parametri su temperatura provodnika i mehaničko naprezanje užeta. Oni određuju postojeće rezerve u prenosnom kapacitetu [2]. Iz navedenih razloga je tokom poslednje dve decenije realizovan veliki broj različitih projekata i pilot projekata DLR (*Dynamic Line Rating*) sistema, sa primenom komercijalne opreme za direktni nadzor dalekovoda i određivanje njegove maksimalne opteretljivosti u realnom vremenu.

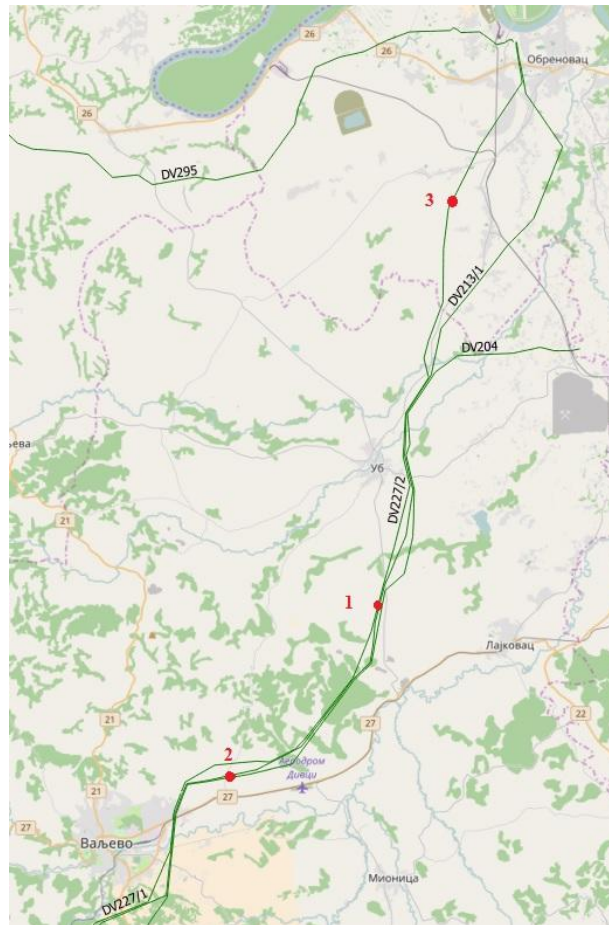
Po broju instaliranih DLR sistema prednjače SAD, ali je i u Evropi takođe realizovan čitav niz projekata sa ciljem testiranja i primene DLR sistema od kojih se po obimu posebno ističe *TWENTIES* [3]. Zbog svega navedenog i EMS AD se opredelio da pored već postavljenih OTLM senzorskih uređaja u martu 2014. godine na dalekovodima 110 kV broj 127/1(TS Novi Sad 1-TS Novi Sad 3) i 400 kV broj 402 (TS Bor 2-RP Đerdap 1), postavi kompletnu senzorsku liniju za nadgledanje 220 kV dalekovoda 227/2 TS Valjevo 3 – TS Obrenovac.

2 OPIS REALIZOVANOG SISTEM NA DV 227/2

Ugradnja DLR sistema kao i potencijalno dodatno opterećenje postojećeg dalekovoda 220 kV br.227/2 TS Obrenovac – TS Valjevo 3 proisteklo je iz razloga planiranog podizanja naponskog nivoa prenosne mreže zapadne Srbije na 400 kV naponski nivo, i neophodnog povećanja prenosne moći ovog dalekovoda prilikom izgradnje novog dvostrukog dalekovoda 400 kV TS Obrenovac– TS Bajina Bašta.

Instalirana senzorska linija na DV 227/2 se sastoji od OTLM senzora [4] za merenje temperature, struje i inklinacionog ugla provodnika dalekovoda i tri meteorološke stanice instalirane na stubovima dalekovoda. Meteorološka stanica broj 2 je instalirana u blizini OTLM senzora (kod Valjeva), dok su druge dve instalirane tako da se omogućuje meteorološka merenja na rasponima dalekovoda koji su pod drugačijim uglom od raspona na kojem je instaliran OTLM (sela Bajevac i Piroman). Na taj način ovako instalirani senzori predstavljaju celoviti DLR sistem na dalekovodu 227/2 kao što je prikazano na slici 1. Generalno pravac trase je severo-istok jugo-zapad, ali sa različitim uglom u odnosu na pravac istok – zapad. Prvi deo trase tj. od Valjeva do sela Bajevac ima ugao od oko 50° u odnosu na sever-jug, dok deonica od sela Bajevac do sela Piroman odstupa oko 15° od pravca sever – jug. Nadmorska visina trase se kreće od 214m (kod Valjeva stub br. 154) do 111m (kod sela Piroman stub

br. 241). Dalekovod prolazi preko terena koji se može okarakterisati kao pretežno ravničarski. Zbog toga je bila procena da je ovaj broj senzorskih elemenata dovoljan.



Slika 1 – Prikaz trase DV 227/2 i mesta instalacije senzorskih elemenata

3 INSTALACIJA SENZORSKIH ELEMENATA NA DV 227/2

Pre instalacije senzorskih elemenata trebalo je odrediti kritične raspone. Kritične raspone je odredio EMS AD. Određivanje kritičnih raspona je veoma važno za tačno određivanje maksimalnog opterećenja DV u realnom vremenu. Pri određivanju kritičnih raspona mogu se koristiti različiti modeli [5]. Postoji nekoliko osnovnih problema koje treba rešiti pri određivanju kritičnog raspona:

- Brzina i smer vetra mogu da se menjaju od raspona do raspona usled meteoroloških razloga.
- Brzina vetra može da se menja u zavisnosti od fizičkih karakteristika terena i okolnih prepreka (drveće, zgrade...).
- Ukoliko se menja pravac prostiranja dalekovoda od raspona do raspona ugao duvanja vetra u odnosu na provodnik biće različit, čak iako je pravac vetra duž linije konstantan.

Pošto je trasa dalekovoda u istoj klimatskoj zoni (nema velike razlike u nadmorskoj visini), nema nekih objekata (prirodnih ili veštačkih) koji bi zaklanjali pojedine delove trase, opredeljenje je da se senzori postave tako da su na delovima trase pod međusobno različitim uglom u odnosu na pravac sever-jug.

OTLM senzorska jedinica služi za direktno merenje temperature, struje provodnika dalekovoda, inklinacionog ugla, temperature i vlažnosti vazduha u kućištu uređaja montiranog na provodnik, kao i

posredno merenje (izračunavanje) njegovog dozvoljenog strujnog opterećenja i ugiba (slika 2). Jedinica se napaja preko strujnog transformatora sa provodnika dalekovoda. Izmereni podaci se čuvaju u memoriji procesorskog modula i zatim se šalju GPRS vezom do servera u Nacionalnom dispečerskom centru EMS-a. Podaci se šalju na svakih 10 minuta, a u slučaju potrebe, kada se temperatura provodnika približi maksimalno dozvoljenoj vrednosti i češće [7].



Slika 2 - Izgled montirane OTLM 7100 jedinice

Meteorološke stanice poseduju senzore koji mere temperaturu, pritisak, vlažnost vazduha, brzinu i smer vetra, kao i sunčevo zračenje. Stanica poseduje procesorski deo sa memorijom koji služi za prihvatanje i čuvanje podataka sa senzora, a zatim i njihovo slanje pomoću GPRS modema do servera u Nacionalnom dispečerskom centru EMS-a. Stanice su instalirane na stub dalekovoda (slika 3) da bi njihova očitavanja bila što bliža merenom provodniku.

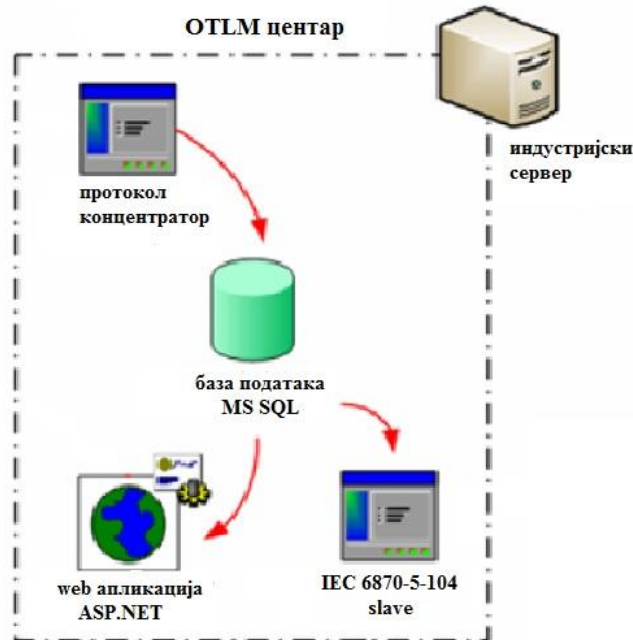


Slika 3 – Izgled montirane meteorološke stanice

Pored merenja temperature provodnika i izračunavanja maksimalnog dozvoljenog strujnog opterećenja OTLM sistem omogućava izračunavanje ugiba provodnika, što je veoma važan podatak za siguran rad sistema. Za proračun ugiba se koristi matematički model koji uzima u obzir mehaničke i fizičke karakteristike provodnika, kao i karakteristike raspona. Tačnost proračuna se proverava pomoću vrednosti dobijenih za inklinacioni ugao sa senzora. Da bi se obezbedio ispravan rad aplikacije za izračunavanje ugiba potrebno je izmeriti početni ugib provodnika, tj. utvrditi oblik lančanice.

4 ПРИКУPLJANJE I OBRADA PODATAKA I POVEZIVANJE SA SCADA SISTEMOM

Podaci sa OTLM senzora i meteoroloških stanica dolaze preko mreže mobilne telefonije pomoću GPRS prenosa do servera u nacionalnom dispečerskom centru (NDC) koji vrši njihov prijem preko Ethernet interfejsa. Na serveru je za tu namenu instaliran specijalizovani softver „OTLM centar“ koji vrši prijem podataka i njihovo smeštanje u odgovarajuće baze (slika 4).



Slika 4 – Struktura „OTLM centar“ aplikacije

Aplikacija „OTLM centar“ omogućava:

- Status upozorenja za prekoračenje određene temperature provodnika sa mogućnošću podešavanja (ujedno se i povećava učestanost merenja temperature npr. sa 10 na 5 minuta).
- Status alarma za prekoračenje određene kritične temperature provodnika sa mogućnošću podešavanja (sa čijim javljanjem se dodatno povećava učestanost merenja temperature na pr. na 3 minuta).
- Izračunavanje dozvoljenog strujnog opterećenja provodnika.
- Izračunavanje ugiba provodnika (na osnovu početnog merenja ugiba i podataka dobijenih merenjima meteorološke stanice koristeći CIGRE matematički model, a za dobijanje preciznih rezultata preporučuje se sprovođenje laboratorijskih ispitivanja provodnika koji odgovara provodniku na merenom dalekovodu).
- Analizu izmernih rezultata.
- Izveštaje sa rezultatima merenja koji se prikazuju u vidu grafikona ili tabela tj. fajlova tipa(.png, .gif, .jpeg, Excel). Pored načina upisivanja podataka, takođe je veoma važno da pri prikupljanju podataka dolaze podaci i o eventualnom neuspešnom prenosu podataka. Trebalo bi da ako server radi normalno, a OTLM ne šalje podatke u određeno vreme da se dobije *email* poruka, a u slučaju da OTLM radi normalno a ne radi server da se dobije SMS poruka.

Prikupljeni podaci sa DLR servera se moraju posle obrade proslediti do SCADA sistema. Način komunikacije serverskog računara sa SCADA sistemom je definisan protokolom IEC60870-5-104 *slave*. Standard IEC60870-5-104 [6] predstavlja pridruženi standard standardu IEC60870-5-101 koji definiše protokole za prenos poruka preko računarskih mreža korišćenjem TCP/IP komunikacionog profila. SCADA sistemu se šalju sledeći podaci: o izmerenoj temperaturi provodnika, izmerenoj struji,

izmernoj vlažnosti vazduha i temperaturi u OTLM kućištu, alarmnom statusu i statusu upozorenja za izmerenu temperaturu provodnika, kao i o statusu OTLM uređaja.

5 ANALIZA RADA DLR SISTEMA NA DV 227/2

Posmatranje rada DLR sistema obavljeno je od juna 2016. do marta 2017. godine. Pošto je uputstvom EMS-a predviđeno sezonsko određivanje dozvoljenog strujnog opterećenja podeljeno na zimski i letnji period, rezultati su tako i klasifikovani na letnji period (od 1. juna do 1. oktobra) i zimski period (od 1. oktobra do 1. marta).

Sagledavajući meteorološke parametre koji su najrelevantniji za određivanje dozvoljenog strujnog opterećenja (temperatura, sunčevo zračenje, brzina i smer vetra), merene tokom letnjeg i zimskog perioda sa postavljenim meteorološkim stanicama na stubovima dalekovoda, može se izvući nekoliko opštih parametara bitnih za nadgledanu deonicu.

Prosečni podaci o meteorološkim parametrima dati su u tabeli 1.

Tabela 1 - Prikaz prosečnih vrednosti za meteorološke podatke dobijenih sa stanica

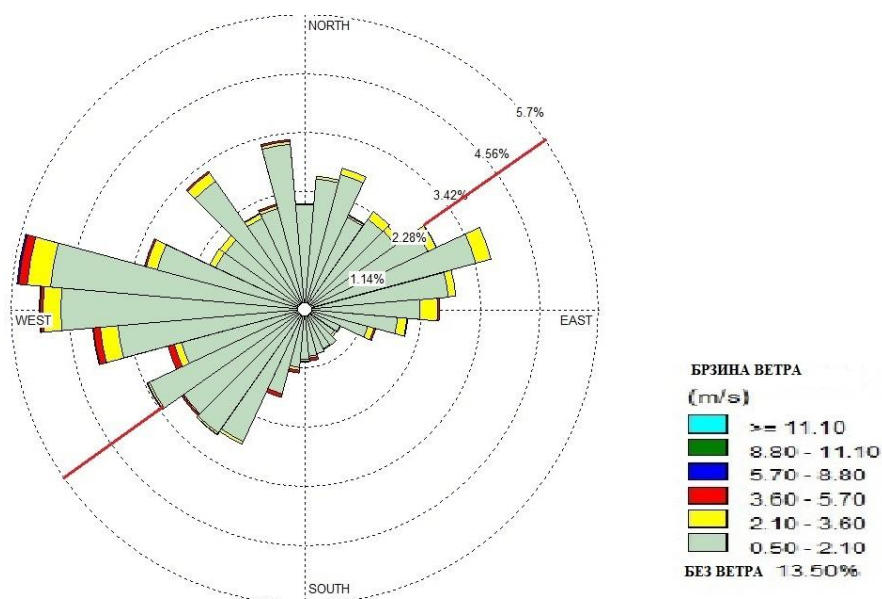
Period od 1. juna do 1. oktobra 2016.

	Prosečna vrednost temperature ambijenta u °C	Prosečna vrednost smeru vetra u °	Prosečna vrednost brzine vetra u m/s	Prosečna vrednost sunčevog zračenja u W/m ²
Meteorološka stanica br. 1	19.2	201.98	1.406	195.59
Meteorološka stanica br. 2	18.42	192.6	1.9	206.71
Meteorološka stanica br. 3	18.97	194.89	1.711	200

Period od 1. oktobra 2016. do 1. marta 2017.

Meteorološka stanica br. 1	4.2	195.06	1.85	69.16
Meteorološka stanica br. 2	3.93	183.7	1.91	68.39
Meteorološka stanica br. 3	3.64	189.68	2.11	71.73

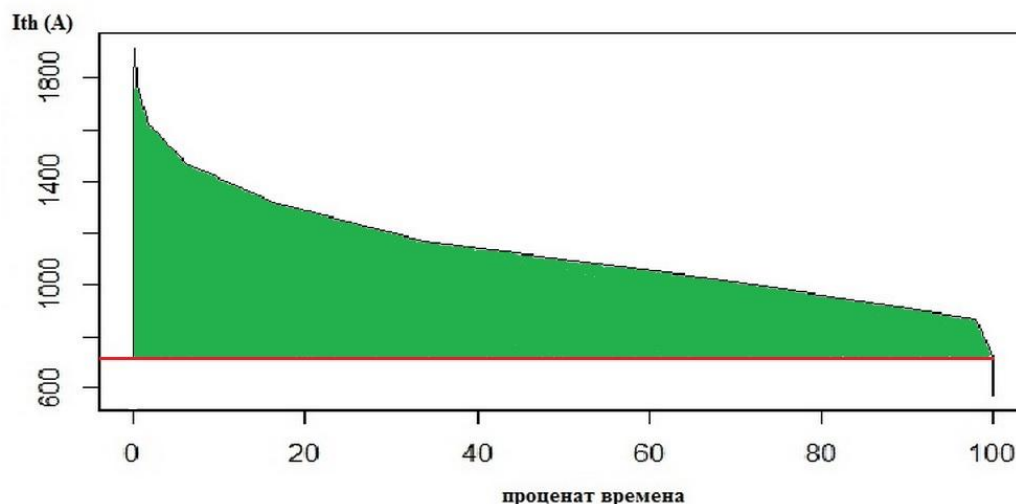
Od meteoroloških parametara posebno je razmatran vetar, kao komponenta koja najviše utiče na dozvoljeno strujno opterećenje. Iako je prosečna brzina vetra najveća kod meteorološke stanice 2 u letnjem periodu, pravac vetra u odnosu na provodnik je takav (slika 5), da raspon kod meteorološke stanice 2 u najvećem broju slučajeva predstavlja kritični raspon dalekovoda. Crvena linija na slici 5 označava pravac provodnika dalekovoda.



Slika 5 - Ruža vetrova za meteorološku stanicu 2 (od 1.6. 2016. godine do 1.2.2017.)

6 KORIŠĆENJE REALNO MOGUĆEG PREOSNOG KAPACITETA DV 227/2

Za jasno sagledavanje efikasnijeg korišćenja preosnog kapaciteta dalekovoda kod dinamičkog određivanja dozvoljenog strujnog opterećenja (ITH) u odnosu na statičko, poslužiće nam grafici kumulativne raspodele verovatnoće prikazani na slici 6 (za letnji period) i slici 7 (za zimski period).

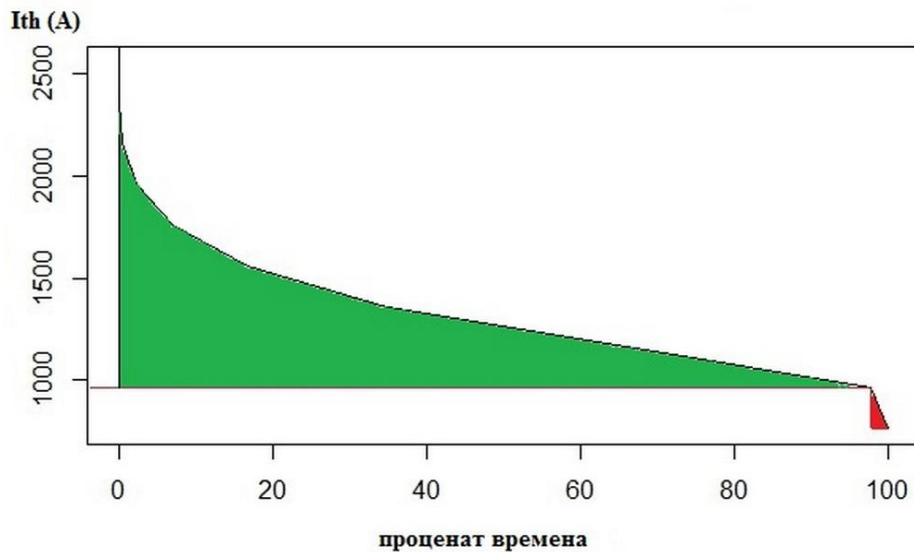


Slika 6 - Prikaz vrednosti ITH iznad statičke u funkciji procenta vremena od 1.6.2016. do 1.10.2016.

Sa slike 6 da se može videti da je u najvećem procentu slučajeva (oko 98%) ITH struja bila proračunata na vrednost veću ili jednaku od 870A što iznosi oko 20% iznad statičke vrednosti za letnji period tj. 720A. U preko 80% slučajeva dozvoljena struja opterećenja je bila preko 30% u odnosu na statičku vrednost. Takođe se vidi da je u 100% slučajeva proračunata ITH struja bila iznad statičke vrednosti.

Sa druge strane sa slike 7 se može videti da je tokom merenja u zimskom periodu u najvećem procentu vremena (oko 98%) ITH struja bila proračunata na vrednost veću ili jednaku statičkoj vrednosti za zimski period tj. 960A. U 90% vremena ITH struja je bila proračunata na vrednost od oko 1060A što

predstavlja 10% iznad statičke (sezonske) vrednosti. S druge strane u oko 2% slučajeva dozvoljeno strujno opterećenje je bilo ispod postavljene statičke vrednosti za zimski period.



Slika 7 - Prikaz vrednosti ITH iznad statičke u funkciji procenta vremena od 1.10.2016. do 1.2.2017.

7 ZAKLJUČAK

Sagledavanjem rezultata na osnovu višemesečnog merenja tokom zimskog i letnjeg perioda pre svega na dalekovodu 227/2, moglo se zaključiti da instalirani DLR sistem povećava propusnu sposobnost dalekovoda. U letnjem periodu je omogućio povećanje od preko 30% u odnosu na statičku (sezonsku) vrednost tokom 80% posmatranog vremena, dok je u zimskom periodu omogućeno povećanje od 10% tokom 90% posmatranog vremena. Pored toga uočeno je da je u zimskom periodu dozvoljeno strujno opterećenje bilo ispod statičke vrednosti tokom 2% vremena. Na taj način bi instalirani DLR sistem obezbedio ne samo povećanje propusne moći, već i povećanje bezbednosti (u slučajevima kada je dozvoljeno strujno opterećenje u realnom vremenu ispod statičke vrednosti). Instalirani sistem je radio pouzdano (izuzev jednog kvara OTLM senzora tokom probnog perioda). Postojao je jedan broj (1.41%) komunikacionih ispada GPRS mreže, kada nije bilo mogućnosti da se dođe do podataka u realnom vremenu sa svih senzorskih mesta. Drugi problemi u radu samog sistema nisu uočeni.

Takođe treba naglasiti da su povećanje propusne moći dalekovoda i povećanje sigurnosti rada operatora prenosnog sistema (zasnovane na podacima u realnom vremenu) osnovne, ali ne i jedine prednosti uvođenja DLR sistema. DLR sistemi pružaju mogućnost za:

- Oslobađanje mogućeg zagušenja dalekovoda i ublažavanje smanjenja prenosnog kapaciteta tokom nepredviđenih situacija i kod havarijskih režima
- Zajedno sa drugim tehnologijama inteligentnih mreža omogućava bolju fleksibilnost mreže
- Poboljšanu integraciju vetro-elektrana i smanjenje emisije štetnih gasova olakšavanjem integracije obnovljivih izvora energije
- Optimalno korišćenje imovine i dodatnu dobit od postojeće imovine
- Bolje cene za korisnike
- Rano otkrivanje leda na provodniku [7]
- Povećanje efikasnosti tržišta

Pored dosad navedenog važno je napomenuti da postojanje kratkoročnog (1 do 4 časa) i dugoročnog (24 do 48 časova) predviđanja daje DLR sistemu još jednu dimenziju. Kratkoročno predviđanje omogućava pravovremene predradnje dispečera u cilju smanjenja mogućih zagušenja, naročito pri havarijskim režimima ili vršnim opterećenjima u EES-u. Dugoročno predviđanje, sa druge strane pomaže pri trgovini energijom, posebno ukoliko su generatori obnovljivih izvora priključeni na mrežu.

8 ZAHVALNICA

Ovaj rad je delimično finansiran od strane Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije (Projekat TR – 32037).

LITERATURA

- [1] T.O. Seppa, S. Damsgaard-Mikkelsen, M. Clemens, R. Payne, N. Coad - Application of Real Time Thermal Ratings for Optimizing Transmission Line Investment and Operating Decisions, 22-301 CIGRE Session 2000.
- [2] Reinhart Girbig, Norbert Fink – Power Line Monitoring System for Force and Temperature, International Wire & Cable Symposium, 2006.
- [3] <http://www.smartgrids.eu/node/18>
- [4] www.otlm.eu
- [5] M.Kabović, etc.- Modeli određivanja kritičnih raspona nadzemnih vodova za DLR sisteme koji mere karakteristiku provodnika u jednoj tački, 32. Savetovanje CIGRE Srbija, Zlatibor 2015.
- [6] G. Clarke, D. Reynders, E. Wright: “Practical Modern Scada Protocols: DNP3, 60870.5 and Related Systems”, ISBN 07506 7995, Elsevier 2004.
- [7] N. Gubelj, V. Lovrenčić, M. Kovač, B. Banić, S. Nikolovski: „Preventing Transmission Line Damage Caused by Ice with Smart On-line Conductor Monitoring“, SST 2016, Osijek, Croatia

DYNAMIC LINE RATING SYSTEM IMPLEMENTATION ON THE OVERHEAD TRANSMISSION LINE 220kV SS VALJEVO 3 – SS OBRENOVAC

**ANKA KABOVIĆ, MILENKO KABOVIĆ, JOVANKA GAJICA
INSTITUTE “MIHAJLO PUPIN” ,BELGRADE, SERBIA
MATEJ KOVAČ, MATJAŽ JARC, VIKTOR LOVRENČIĆ, C&G d.o.o.
LJUBLJANA, BRANKO UHLIK, OTLM d.o.o, LJUBLJANA, SLOVENIA
NEBOJŠA PETROVIĆ, ŽELJKO TORLAK, PREDRAG CVETKOVIĆ, EMS a.d.
BELGRADE, SERBIA**

Abstract— This paper presents the results of the pilot project for dynamically monitoring the temperature of the overhead line conductor (DLR – *Dynamic Line Rating*) in the transmission network of EMS. The main objective of the project is that based on the several months of monitoring and analysis of the DLR system, installed on the 220kV power line 227/2 SS Valjevo 3 –SS Obrenovac, through the collection of the results of the temperature, current and inclination angle measurements, as well as the ampacity calculation, assess the real possibility of its load. The paper gives a brief review of the installed equipment namely OTLM (Overhead Transmission Line Monitoring) sensor, three weather stations, and DLR server for the collection and data processing. On the overhead transmission line three spans were chosen for the equipment installation. Data from the sensors, and weather stations, are transmitted via GPRS network, to the DLR server installed in the National Dispatch Center. Server’s software collects and stores the data in the database, as well as does the ampacity calculation, considering the current meteorological conditions. On the basis of the measured and calculated data, it is possible to analyze the difference between dynamic line rated ampacity and static (seasonal) rated value during the monitoring period. This paper presents the analysis of the measured data for the monitored transmission line.

Key words — **DLR system, weather stations, OTLM sensor**