

RADIO RELEJNI LINKOVI ZA POTREBE PRENOSA SIGNALA ZAŠTITE I UPRAVLJANJA DEES

MICROWAVE LINKS FOR TRANSMISSION OF SCADA SIGNALS FOR MEDIUM VOLTAGE POWER STATIONS

Predrag ŠEJAT, Elektrodistribucija Srbije d.o.o. Beograd, Srbija
Sanja JOVANOVIĆ, Elektrodistribucija Srbije d.o.o. Beograd, Srbija

KRATAK SADRŽAJ

Elektroprivredne telekomunikacione mreže nove generacije zasnovane su na koncepciji multiservisnih mreža, u kojima su, delimično ili potpuno, integrisani operativni servisi. Operativni servisi u elektroprivrednom sistemu obuhvataju: operativno upravljanje – SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), telezaštitu, MTK/RTK, operativnu telefoniju, operativne video servise i drugo. Za operativne servise karakteristični su strogi zahtevi za pouzdanost, raspoloživost i kašnjenje, pri čemu se, sa pojavom multimedijalnih servisa, javljaju i zahtevi za veći propusni opseg kao i za sinhronizaciju informacija različitog tipa.

Imajući sve ovo u vidu, „EPS Distribucija“ se, kao i većina elektroprivreda u svetu, opredelila za realizaciju sopstvene telekomunikacione infrastrukture. Za realizaciju telekomunikacion veza velikog propusnog opsega, pored optičkih prenosnih puteva, koriste se radio-relejni linkovi.

U toku 2019.god u distributivnom području Beograd pristupilo se modernizaciji telekomunikacion veza do dvadeset dve trafo stanice naponskog nivoa 35/10kV.

Postojeći analogni radio sistem za daljinski nadzor i upravljanje instaliran je 2008. godine i integrisao je 22 transformatorske stanice 35/10kV na konzumnom području Beograda, pretežno na prigradskom delu konzuma. Prenos podataka između centra upravljanja DDC „Beograd“ i krajnjih daljinskih stanica odvijao se preko jednog kanala analognom radio-mrežom u VHF opsegu, putem MDLC protokola, preko jedne repetitorske lokacije instalirane na tornju „Avala“. Realizovani radio-sistem koristio jedan par frekvencija za razmenu podataka između centra upravljanja i krajnjih daljinskih stanica. Mala propusna moć radio kanala nije davala mogućnost za prenos veće količine informacija i dodavanje novih servisa. Istovremeno, velika zauzetost kanala imala je za rezultat veliko kašnjenje procesnih informacija od daljinskih stanica ka centru upravljanja.

Modernizacija sistema obuhvatila je povezivanje ovih trafostanica sa centrom upravljanja na Slaviji digitalnim radio relejnim vezama, sa propusnim opsegom većim od 100Mb/s.

Ključne reči: telekomunikacije, SCADA, digitalni radio relejni linkovi

ABSTRACT

Electrical utility new generation telecommunication networks are based on the concept of multiservice networks, in which, partly or fully, operational services are integrated. Operational services in the electrical utility companies include: operational management - SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), telecommunication, MTK/RTK, operational telephony, operational video services and more. Operating services are characterized by stringent requirements for reliability, availability, and latency, and, with the emergence of multimedia services, with a requirement for higher bandwidth and synchronization of information of different types.

With all this in mind, EPS Distribution company, like most power companies in the world, has opted for the realization of its own telecommunications infrastructure. In addition to optical transmission paths, radio relay links are used to realize high bandwidth telecommunications.

During 2019, telecommunication connections to twenty-two 35/10kV power substations have been modernized in the distribution area of Belgrade.

The existing analog radio remote control and control system was installed in 2008 and integrated twenty-two 35/10kV power substations, mainly in the suburban part of the consumer area of Belgrade. Data transmission between the control center in Belgrade and the terminal remote stations was carried out through one channel by analog radio network in the VHF band, via MDLC protocol, through one repeater location installed on the tower "Avala". The implemented radio system used one pair of frequencies to exchange data between the control center and the end remote stations. The low bandwidth of the radio channels did not allow for the transmission of

more information and the addition of new services. At the same time, high channel occupancy resulted in a large delay in process information from remote stations to the control center.

The modernization of the system includes the connection of these substations with the control center in Slavia by digital radio relay connections, with bandwidth exceeding 100Mb/s.

Key words: Telecommunications, SCADA, Microwave links

Sanja Jovanović, sanja.jovanovic@ods.rs, tel. 0113655112; Predrag Šejat, predrag.sejat@ods.rs, tel. 0113655020

UVOD

EPS Distribucija d.o.o. Beograd je preduzeće za distribuciju električne energije koje predstavlja složen tehničko-tehnološki i poslovni sistem u okviru JP "Elektroprivreda Srbije". Funkcija elektrodistributivnih (ED) preduzeća je da električnu energiju, preuzetu od operatora prenosnog sistema, distribuiraju do potrošača pri čemu su od jednakog značaja kontinuitet isporuke i kvalitet isporučene energije u skladu sa odgovarajućim tehničkim normativima.

Daljinsko upravljanje trafo stanicama je neophodan servis u obezbeđenju kontinuiranog, stabilnog i kvalitetnog napajanja potrošača električnom energijom.

Daljinsko upravljanje se realizuje iz nadređenog centra upravljanja, preko lokalnog sistema za nadzor i upravljanje, realizovanog u transformatorskoj stanici, u realnom vremenu. Kao takav, ovaj servis postavlja specifične zahteve za komunikacione servise, koje karakteriše prenos podataka u realnom vremenu (tabela 1.) i pogonskih podataka (van realnog vremena) između centra upravljanja (CU) i objekata EES.

Omogućavajući postojanje sistema daljinskog nadzora i upravljanja TS, sistem telekomunikacija postao je neophodan i neizostavan integralni deo upravljanja elektrodistributivnom mrežom EPS Distribucija d.o.o. Beograd.

ZAHTEVI I KARAKTERISTIKE SISTEMA PRENOSA

Tipični zahtevi za operativni servis kojim se realizuje funkcija daljinskog upravljanja dati su u tabeli 1., a karakteristike različitih medijuma i sistema prenosa dati su u tabeli 2.

TABELA 1 - TIPIČNI ZAHTEVI ZA FUNKCIJU DALJINSKOG UPRAVLJANJA, Institut Mihajlo Pupin (1)

	Vreme prenosa	Raspoloživost	Brzine [kb/s]
SCADA	< 1 sec	> 99.98%	0.04 – 64

TABELA 2 - PREGLED KARAKTERISTIKA PRENOSA ZA RAZLIČITE MEDIJUME PRENOSA I TELEKOMUNIKACIONE SISTEME, (2)

	Vreme prostiranja	BER (tipično)	Širina propusnog opsega ili kapacitet kanala
UHF/VHF radio veze	Vreme prostiranja kroz etar 3.3μs/km	<10 ⁻⁶	<64 kb/s
Radio relejni link	Vreme prostiranja kroz etar 3.3μs/km	<10 ⁻⁶	>2 Mb/s
Optički kabl	Vreme prostiranja po optičkom kablju ≈5μs/km	<10 ⁻⁶	>64 kb/s
PDH MREŽA	Vreme prostiranja u kablju ≈5μs/km + max. 0.6ms po 64kb/s kanalu za 2 Mb/s multiplekser + 15μs po 2/8 Mb/s Mux + 1μs po ripiteru	<10 ⁻⁶	>64 kb/s
SDH mreža	Vreme prostiranja u kablju ≈5μs/km + 35μs po 2 Mb/s portu za STM1 + 40μs za agregatni STM 1 +110μs STM1 za 2Mb/s port	<10 ⁻⁶	>64 kb/s

PRETHODNO STANJE

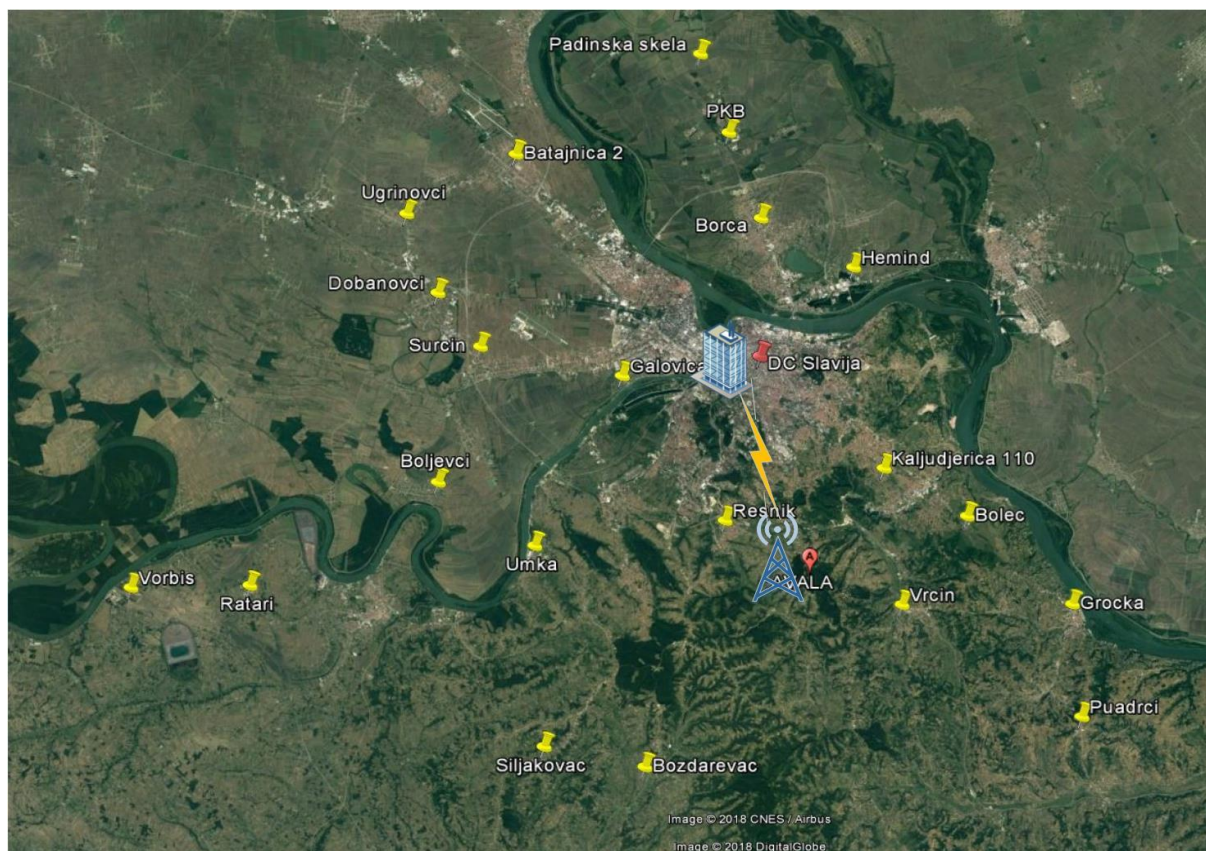
VHF radio sistem za prenos podataka VNDM

Postojeći analogni radio-sistem u VHF opsegu (slika 1.) za daljinski nadzor i upravljanje instaliran je 2008. godine i inicijalno je planiran da integriše 28 transformatorskih stanica 35/10kV na konzumnom području Beograda, pretežno na prigradskom delu. Ovaj sistem koristi jedan par frekvencija (Tx/Rx) za razmenu podataka između centra upravljanja i 22 krajnje daljinske stanice.

Maksimalna brzina prenosa signala je 2400bita/s.

Prenos podataka između centra upravljanja CU Beograd i krajnjih daljinskih stanica odvija se preko jednog kanala (Rx/Tx) analognom radio-mrežom u VHF opsegu, putem MDLC protokola, preko jedne repetitorske lokacije instalirane na lokaciji „Avala“. Repetitor je realizovan u dualnoj konfiguraciji (main/backup).

Realizovani radio-sistem koristi jedan par frekvencija za razmenu podataka između centra upravljanja i krajnjih daljinskih stanica. Kanal od centra upravljanja ka daljinskim stanicama (komandni smer) je raspoloživ po potrebi, dok je kanal od krajnjih daljinskih stanica ka centru upravljanja zauzet veći deo vremena. Velika zauzetost kanala imala je za rezultat veliko kašnjenje procesnih informacija od daljinskih stanica ka centru upravljanja. Istovremeno, mala propusna moć radio kanala ne daje mogućnost za prenos veće količine informacija i dodavanje novih servisa.



SLIKA 1. RASPORED TS KOJIMA SE UPRAVLJA ANALOGNIM VHF RADIJOM (BAZNA STANICA AVALA)

Sistem radio relejnih linkova – okosnica sistema

U periodu od 2011. do 2018. godine, na DP Beograd izgrađena je mreža radio relejnih linkova koja predstavlja okosnicu, *back-bone*, širokopojasne radio mreže za prenos signala daljinskog upravljanja i dispečerske telefonije. Na svim trasama od interesa (ED Centar - Zemun, Zemun - Brestići, Brestići - Avala, Avala - Kosmaj, Zemun - TENT_A, TENT_A - Kosmaj, Hotel Slavija - Rudo_1, Hotel Slavija – Vodotoranj Košutnjak, Hotel Slavija – Palata Albanija, Avala – Vodotoranj Lipovica), realizovane su radio-relejne veze kapaciteta 34.4Mb/s ili 53.572 Mb/s, na frekvencijama 11GHz, 13GHz, 15GHz, 18GHz i 23GHz.

Na slici 2. dat je geografski položaj radio relejnih linkova na području DP Beograd.

PROŠIRENJE I MODERNIZACIJA SISTEMA RADIO RELEJNIH LINKOVA

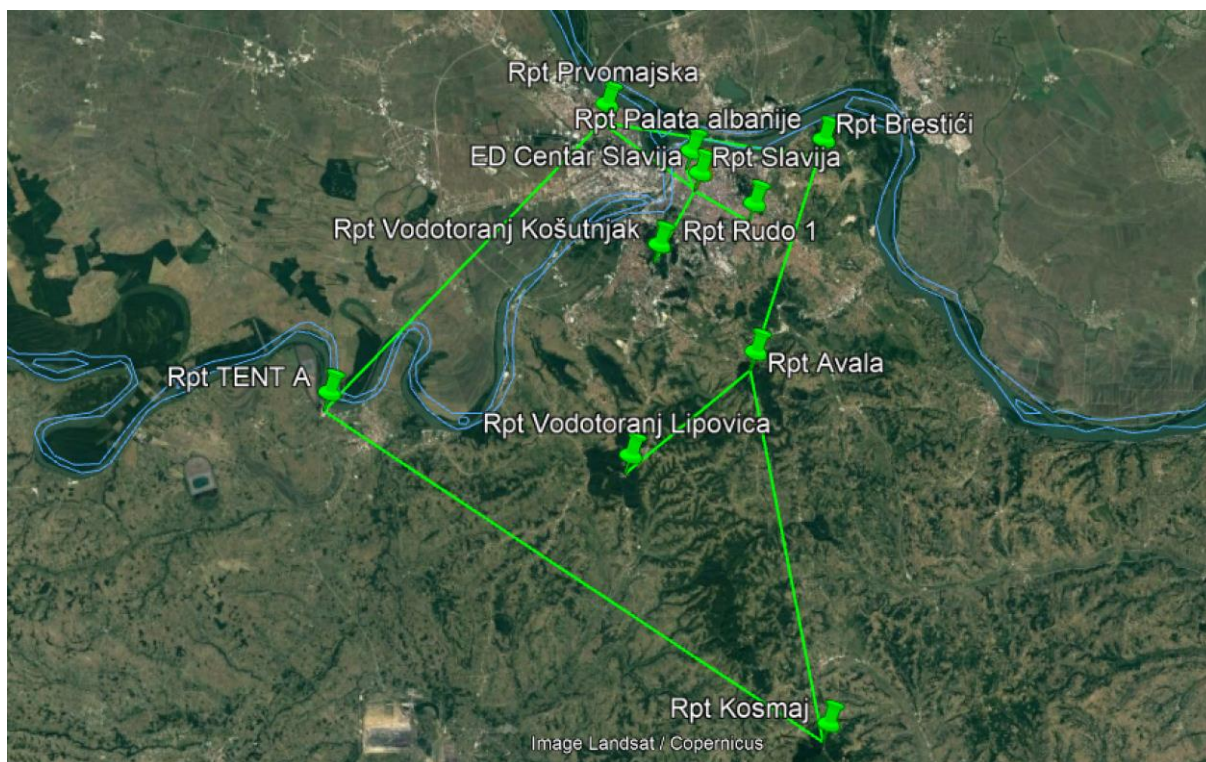
Proširenje i modernizacija okosnice radio-relejnih veza

Da bi veze do TS koje su bile povezane VHF analognim radiom sa DDC Slavija mogle da zadovolje zahteve za većim brzinama postojećeg servisa daljinskog upravljanja TS, dodavanje novih servisa, a samim tim i povećanje saobraćaja, pristupilo se povezivanju ovih TS sa DDC Slavija širokopoljnim radio relejnim linkovima, protoka 108.529Mb/s.

Kako su ove veze povećale količinu saobraćaja i zahteve za brzinama na okosnici radio relejne mreže, date na slici 2., postojeća okosnica je morala da bude modernizovana i proširena, kako su smislu opreme, tako i i zbog potrebe za većim kapacitetima na trasama od interesa.

Od navedenih veza koje čine okosnicu sistema, samo veze Hotel Slavija – Vodotoranj Košutnjak i Hotel Slavija – Palata Albanija nisu morale da budu zamenjene jer su poslednje izgrađene i kao takve su zadovoljavale sve zahtev u pogledu kvaliteta, brzina i kapaciteta prenosa.

Na ostalim trasama, oprema postavljena 2011.godine, maksimalnih brzina prenosa od 30Mb/s, zamenjena je novom, u konfiguraciji 1+0, sa mogućnošću adaptivne modulacije, i kapacitetom od 471.5 Mb/s na kanalu širine 56MHz, osim na dugim trasama TENT_A - Kosmaj i Zemun - TENT_A, na kojima je obezbeđen kapacitet od 358.5 Mb/s i 446Mb/s, respektivno. Korišćene su postojeće frekvencije 11GHz, 15GHz i 18GHz, izuzev na trasi TENT_A – Kosmaj, gde je frekvencija morala da bude promenjena radi postizanja zahtevanih kapaciteta. Projekte i proračune novih radio relejnih veza uradio je Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu.

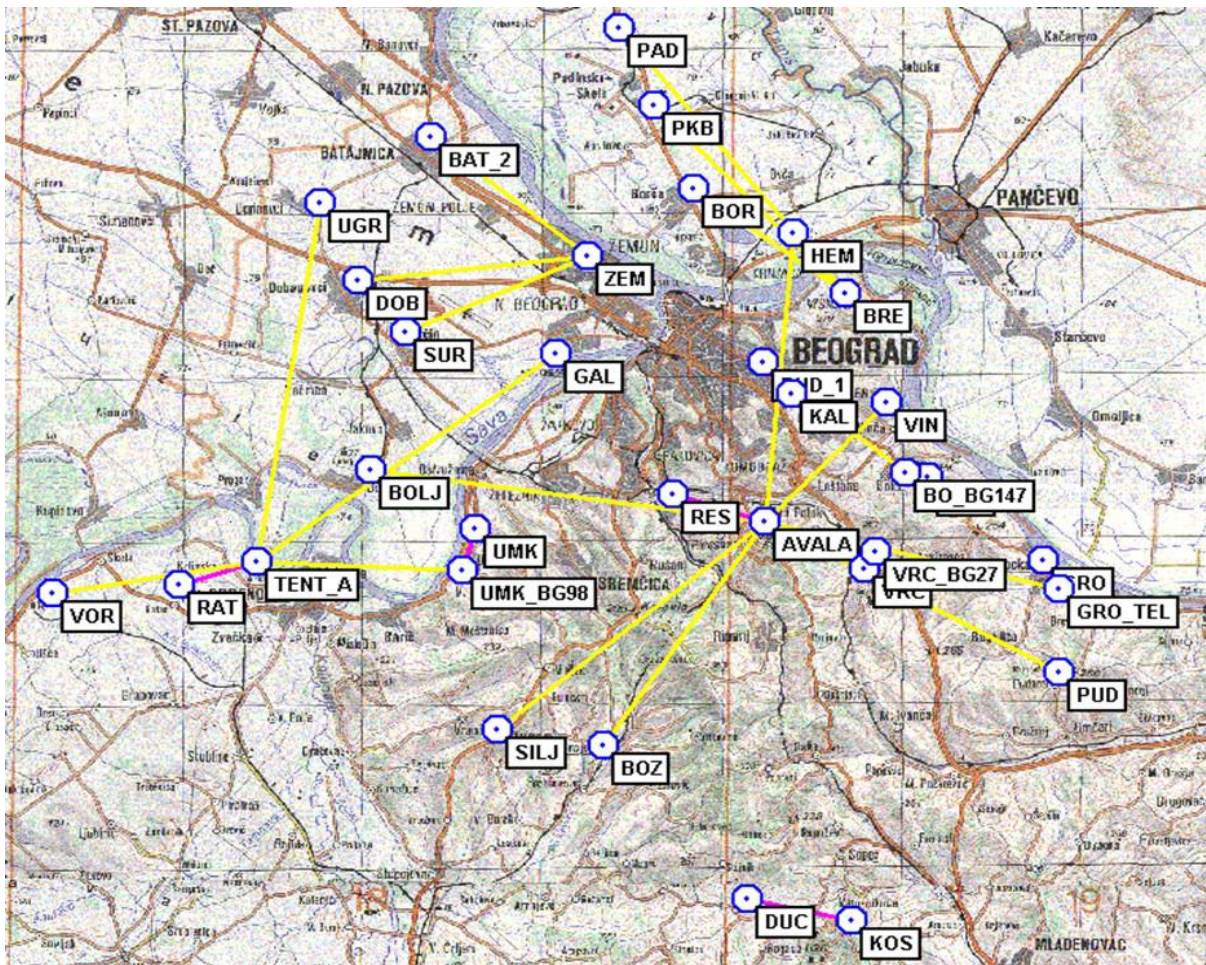


SLIKA 2. OKOSNICA (BACK-BONE) RADIO RELEJNE MREŽE DP BEOGRAD

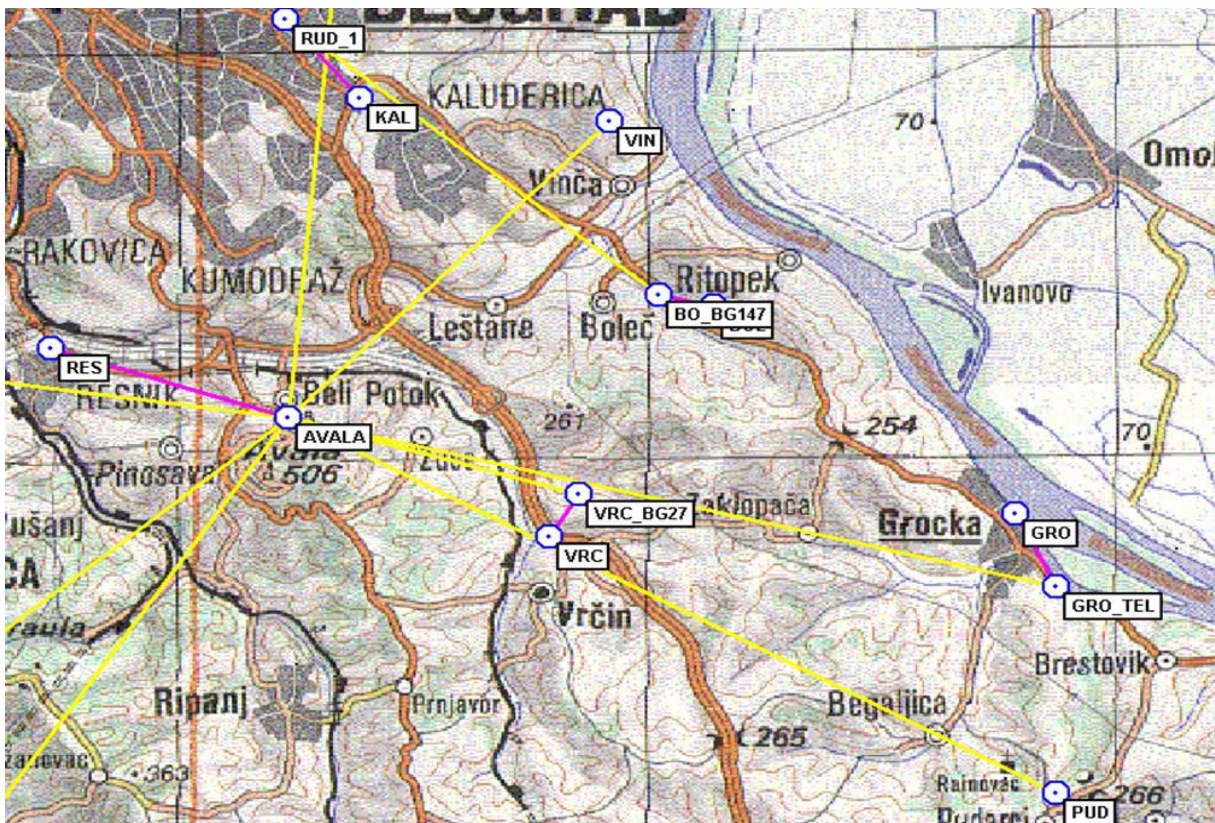
Radio-relejni linkovi do TS

Radio-relejni linkovi projektovani za povezivanje TS do DDC Slavija realizovani su u frekvijskim opsezima 15 GHz i 23 GHz. Kao krajnje tačke radio relejnih linkova korišćene su lokacije okosnice radio-relejne mreže i lokacije trafo-stanica. Međutim, za 4 trase, na kojima parametri veze nisu omogućavali zahtevane karakteristike linka, bilo je potrebno uvesti međutačke. Tehno-ekonomski opravdano se pokazalo korišćenje lokacija (stubova) provajdera mobilne mreže, Telekomia i Telenora.

Geografski prikaz linkova dat je na slici 3. i slici 4.



SLIKA 3. GRAFIČKI PRIKAZ SISTEMA RR VEZA KA TRAF0-STANICAMA



SLIKA 4. GRAFIČKI PRIKAZ SISTEMA RR VEZA - DETALJ MREŽE

Opis opreme za vezu ka trafostanicama

Linkovi su realizovani u frekvencijskim opsezima 15 GHz i 23 GHz. Izabrana oprema ima mogućnost adaptivne modulacije pri čemu obezbeđuje kapacitete od 108.529 Mb/s na radio kanalu širine 14 MHz.

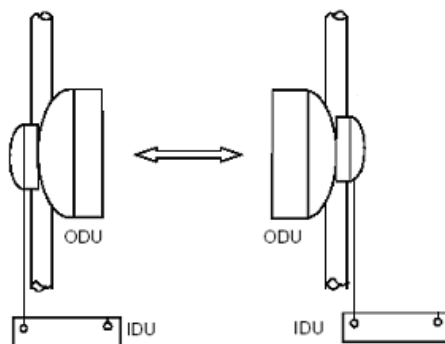
Frekvencijski plan opsega 15GHz (14.4 – 15.35GHz) definisan je preporukom ITU-R F. 636 i CEPT T/R 12-07. Razmak između glavnih kanala je 14 MHz, a razmak predaja/prijem je 728 MHz.

Frekvencijski plan opsega 23 GHz (21.2 – 23.6 GHz) definisan je preporukom ITU-R F. 673 Aneks 3 i CEPT T/R 13-02. Razmak između glavnih kanala je 14 MHz, a razmak predaja/prijem je 1008 MHz.

Radio-relejne veze su projektovane tako da kvalitet prenosa signala odgovara kvalitetu za radio-relejne veze regionalnog značaja navedenom u okviru ITU-R F.1668-1 preporuke, dok su zahtevi za raspoloživost (neraspoloživost) veze definisani u okviru preporuke ITU-R F.1703, pri čemu je vođeno računa da na raspolaganju bude zahtevani kapacitet od 108.529 Mb/s.

Izabrani digitalni radio-relejni uređaji, imaju široku primenu: povezivanje udaljenih objekata, služe kao zamena za iznajmljene linije, mogu da prenose signal video nadzora, podržavaju redundantnost u mrežama, za povezivanje elemenata sistema u bežičnim mrežama, služe kao element pristupne radio mreže za udaljene korisnike, i slično. Koriste ih velike korporacije, Internet servis provajderi, državne ustanove, provajderi mobilnih mreža, ustanove zdravstvene zaštite i školstva, ustanove javne bezbednosti, i drugi.

Za potrebe realizacije radio-relejnih linkova koristi se osnovna konfiguracija sistema 1+0 koja je prikazana na slici 5.



SLIKA 5. BLOK ŠEMA RADIO RELEJNOG UREĐAJA U KONFIGURACIJI 1+0

Izabrani radio-relejni sistem sastoji se samo od jedinice za spoljašnju montažu (*Full Outdoor –radio system*) sa dva LAN porta, i može biti u konfiguraciji:

- Električna Gigabitna Versija
 - LAN1 - 1x10/100/1000BaseT PoE port za data saobraćaj i/ili nadzor,
 - LAN2 - 1x10/100/1000BaseT port za data saobraćaj i/ili nadzor;
- Optička Gigabitna Versija
 - LAN1 - 1x100/1000BaseX port za data saobraćaj i/ili nadzor,
 - LAN2 - 1x10/100/1000BaseT PoE port za data saobraćaj i/ili nadzor,

Uređaj ima i poseban port za 48V DC napajanje.

Jedinica za spoljnu montažu (ODU) je malih dimenzija i male težine (4.25 kg). Projektovana je da omogući lako rukovanje prilikom instalacije ili održavanja i da zadovolji vrlo stroge temperaturne zahteve. Predviđena je za direktnu instalaciju na antenu (slika 6.). Antene prečnika 0.3, 0.6 i 0.9 m povezuju se se direktno na ODU jedinicu, dok se antena prečnika 1.2 m povezuje sa spoljašnom jedinicom kratkim eliptičnim talasovodom (podužnog slabljenja 1.46dB/100m).

Potrošnja uređaja u frekvencijskom opsegu 15 GHz manja je od 39W, dok je u frekvencijskom opsegu 23 GHz manja od 35W.



SLIKA 6. IZGLED POVEZIVANJE ODU JEDINICE I ANTENE

Opis opreme okosnice

Radio-relejni veza okosnice koriste tri frekvencijska opsega: 11, 15 i 18 GHz.

Frekvencijski plan opsega 11 GHz (10.7 – 11.7 GHz) definisan je ITU-R F. 387-10 Aneks 3 i CEPT T/R 12-06. Razmak između glavnih kanala je 56 MHz, a razmak predaja/prijem je 530 MHz.

Frekvencijski plan opsega 15GHz (14.4 – 15.35GHz) definisan je preporukom ITU-R F. 636 i CEPT T/R 12-07. Razmak između glavnih kanala je 56 MHz, a razmak predaja/prijem je 728 MHz.

Frekvencijski plan opsega 18 GHz (17.7 – 19.7 GHz) definisan je preporukom ITU-R F. 595 i CEPT T/R 12-03. Razmak između glavnih kanala je 55 MHz, a razmak predaja/prijem je 1010 MHz.

Radio-relejne veze su projektovane tako da kvalitet prenosa signala odgovara kvalitetu za radio-relejne veze nacionalnog značaja (na trasama: ED Centar - Zemun, Hotel Slavija - Rudo_1 i Avala - Rudo_1) i veze regionalnog značaja (na trasama: Zemun - Brestiči, Brestiči - Avala, Avala - Kosmaj, Zemun - TENT_A i TENT_A - Kosmaj) navedenom u okviru ITU-R F.1668-1 preporuke, dok su zahtevi za raspoloživost (neraspoloživost) veze definisani u okviru preporuke ITU-R F.1703, pri čemu je vođeno računa da Investitoru na raspolaganju bude kapacitet od 471.5 Mb/s na svim trasama, osim na trasama TENT_A - Kosmaj i Zemun - TENT_A na kojima je potrebno obezbediti kapacitet od 358.5 Mb/s i 446Mb/s, respektivno.

Za potrebe realizacije radio-relejni linkova korišćena je osnovna konfiguracija sistema 1+0 koja je prikazana na slici 5. U tom slučaju se koristi jedna unutrašnja jedinica (interfejsna jedinica), i za spoljašnju instalaciju podrazumeva se korišćenje jedne spoljašnje jedinice i odgovarajuće parabolične antene. Maksimalna dužina talasovoda između *outdoor* jedinice i antene je 5m.

Radni temperaturni opseg uređaja je od -33 °C do +55 °C i od -5 °C do +45 °C, za *outdoor* i *indoor* jedinicu, respektivno.

Uređaji zahtevaju napajanje -48V DC (-15 ÷ +20%).

Radio-relejni sistem sastoji se od jedinice za spoljašnju montažu (*Outdoor Unit - ODU*) i jedinice za unutrašnju montažu (*Indoor Unit - IDU*), koje su međusobno povezane koaksijalnim kablom (1/4") preko koga se vrši prenos ulaznih/izlaznih signala, DC napajanja, alarmnih i kontrolnih signala, a čija dužina ne sme biti veća od 300 m.

Jedinica za spoljnu montažu (ODU) je malih dimenzija 254 x 254 x 114 (mm) (za frekvencijske opsege < 18GHz) i 182 x 182 x 65 (mm) (za frekvencijske opsege ≥18GHz) i male težine (od 3.1 do 5.1 kg zavisno od frekvencijskog opsega i izlazne snage predajnika). Projektovana je da omogući lako rukovanje prilikom instalacije ili održavanja i da zadovolji vrlo stroge temperaturne zahteve. Za antene prečnika 0.3, 0.6 i 0.9 m

predviđena je direktna montaža ODU jedinice na antenu, dok se antena prečnika većih od 0.9m povezuje sa spoljašnom jedinicom kratkim fleksibilnim eliptičnim talasovodom.

Potrošnja uređaja u frekvencijskim opsezima 11, 15 i 18 GHz manja je od 73.5, 73.5 i 67.5W, respektivno. Uređaji mogu da imaju električni ili optički interfejs.

Predvidimo je da se ODU jedinice direktno kače na antenu u slučaju antena prečnika 0.3, 0.6 i 0.9 m (slika 6), dok će se antene prečnika većeg od 0.9 m povezivati sa ODU jedinicom fleksibilnim eliptičnim talasovodom (podužnog slabljenja 9.06dB/100m, 13.69dB/100m i 19.8dB/100m za frekvencijske opsege 11, 15 i 18 GHz, respektivno). Maksimalna dužina talasovoda je 5m.

ZAKLJUČAK

U sistemima koji rade u realnom vremenu i zahtevaju visoku raspoloživost i pouzdanost, kao što su sistemi daljinskog nadzora i upravljanja elektroenergetskim sistemom, proces modernizacije mora da bude kontinualan i postepen – novi sistemi moraju se uvoditi na način koji omogućava da se servisi, koje ovi sistemi obezbeđuju, ne prekidaju. Telekomunikacioni sistemi EPS Distribucije d.o.o. Beograd na Distributivnom području Beograda su raznoliki, od analognih do digitalnih, od uskopojasnih do sistema velikih brzina i kapaciteta prenosa.

Opređenja za tehničko-tehnološku koncepciju izgradnje savremenih telekomunikacionih sistema u EPS Distribucija d.o.o. Beograd su nedvosmislena u sledećim aspektima:

- Postepena zamena zastarelih analognih sistema i tehnologija, kroz digitalizaciju servisa i nastavak izgradnje infrastrukture širokopojasnih mreža, tj. sistema prenosa, bilo o kom fizičkom medijumu se radilo;
- Postepena integracija većeg broja heterogenih telekomunikacionih servisa u jedinstvenu multiservisnu mrežu zasnovanu na IP tehnologiji;
- Primena koncepta IP VPN na sopstvenoj infrastrukturi komutacije i prenosa u cilju realizacije zahtevanog nivoa kvaliteta servisa, međusobne izolacije pojedinih servisa i poboljšanja bezbednosti mreže i servisa.

LITERATURA

1. Institut Mihajlo Pupin, 2010, „Studija razvoja telekomunikacionog sistema privrednog društva za distribuciju električne energije “Elektrodistribucija Beograd d.o.o.“, 49
2. Institut Mihajlo Pupin, 2010, „Studija razvoja telekomunikacionog sistema privrednog društva za distribuciju električne energije “Elektrodistribucija Beograd d.o.o.“, 58
3. P.Kuzmanović, S.Jovanović, 2012, „Primena optičkog digitalnog sistema prenosa za potrebe sistema daljinskog upravljanja PD “Elektrodistribucija Beograd” d.o.o.“
4. ETF-Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2008, “Glavni projekat za dobijanje dozvola za radio-veze tipa tačka-više tačaka MOSCAD sistema daljinskog upravljanja u frekvencijskom opsegu 146-174 MHz“
5. ETF-Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2011, “Tehničko rešenje i glavni projekat za dobijanje dozvola za radio-relejnju mrežu za povezivanje repetitora radio sistema za prenos govora privrednog društva ELEKTRODISTRIBUCIJA BEOGRAD“
6. ETF-Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2016, “Tehničko rešenje i glavni projekat za dobijanje dozvola za radio-relejne veze za povezivanje repetitora radio sistema za prenos govora Operatora distributivnog sistema „EPS Distribucija“ na konzumnom području grada Beograda“
7. ETF-Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2018, “Tehničko rešenje i glavni projekat za dobijanje dozvola za radio-relejnju mrežu sistema daljinskog upravljanja trafo stanicama u Beogradu EPS Distribucije d.o.o. Beograd, Modernizacija sistema“
8. ETF-Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, 2019, “Tehničko rešenje i glavni projekat za dobijanje dozvola za okosnicu sistema prenosa EPS Distribucija d.o.o. Beograd, Proširenje i modernizacija sistema“