

KOMUNIKACIONA INFRASTRUKTURA ZA DALJINSKI NADZOR I UPRAVLJANJE SREDNJENAPONSKOM DISTRIBUTIVNOM MREŽOM

J. Mandić-Lukić, Energoprojekt Entel a.d., Srbija
N. Simić, Elektrotehnički fakultet Beograd, Srbija
B. Milinković, Energoprojekt Entel a.d., Srbija
Ž. Vasiljević, Energoprojekt Entel a.d., Srbija

UVOD

U elektrodistributivnim organizacijama srednjenaponske mreže obuhvataju nadzemne i kablovske vodove 35 kV, 20 kV i 10 kV sa odgovarajućom rasklopnom opremom kao i transformatorske stanice 35/0,4 kV, 20/0,4 kV i 10/0,4 kV. Do pre izvesnog vremena ove mreže pretežno nisu bile obuhvaćene daljinskim nadzorom i upravljanjem, ali su zahtevi za povećanom pouzdanošću isporuke električne energije usloveli njihovo širenje i na ove naponske ravni. Objekti u niskonaponskoj ravni za sada nisu, sem u izuzetnim slučajevima, obuhvaćeni ovim procesima. Najsloženiji problemi u širenju sistema nadzora i upravljanja na ove mreže ispoljavaju se u oblasti telekomunikacija, kako zbog velikog broja objekata, tako i zbog širokih i heterogenih teritorija na kojima se oni nalaze. Kao optimalna, a često i jedino moguća rešenja, sagledavaju se razne vrste radio-komunikacionih veza.

SISTEMATIZACIJA RADIO-VEZA

U elektroprivrednim i elektrodistributivnim, kao i u drugim sličnim organizacijama, koriste se radio-veze za funkcije govornih komunikacija kao i za prenos raznih procesnih signala. U ranijim periodima u ovoj su oblasti dominirale uskopojasne radio-veze, koje su funkcionisale u VHF i UHF frekvencijskim opsezima. Njihov osnovni nedostatak je vrlo ograničen transportni kapacitet. Stariji uređaji su za prenos signala podataka raspolagali kapacitetima reda oko 1 kbit/s, dok je kod novijih ostvareno povećanje do oko 10 kbit/s. U mnogim mrežama, koje obuhvataju prostranije teritorije ili gde se, zbog nepovoljnih struktura reljefa, javljaju otežani uslovi prostiranja radio-talasa, neophodne su primene repetitorskih stanica, što znatno povećava njihovu složenost i cene. U mrežama gde su zahtevi u pogledu brzina prenosa signala vrlo mali, ovaj se problem prevazilazi primenom tzv. štafetnog prenosa, gde se signali prenose posredstvom dve ili više usputnih terminalnih stanica. U slučajevima uskopojasnih radio-veza sa štafetnim režimom kašnjenja u prenosu prevazilaze dozvoljene vrednosti.

U slučajevima kada konfiguracija reljefa to dozvoljava, primenjuju se mreže tipa "point to multi point" (PtMP), u kojima se na pogodnim lokacijama postavljaju repetitori preko kojih se obavljaju komunikacije sa većim brojem terminalnih stanica. I ovde se, u slučajevima primene uskopojasnih veza, javljaju problemi kašnjenja, jer repetitori mogu da rade u isto vreme samo sa po jednom terminalnom stanicom. U mnogim postojećim mrežama ovaj se problem (delimično) rešava tako što se, umesto cikličnog prozivanja terminalnih stanica, primenjuje organizacija saobraćaja sa njihovim spontanim javljanjima. Ovo rešenje je pogodno za sisteme u kojima je korelacija javljanja objekata vrlo mala, odnosno u kojima je vremenska raspodela javljanja slučajna. U protivnom, moraju se instalirati posebne SW zaštite od kolizija pri istovremenom javljanju više stanica. Takođe, za neke funkcije, npr. video nadzor, ovo rešenje je vrlo zavisno od širine propusnog opsega.

Savremene koncepcije inteligentnih mreža (Smart Grid) postavljaju pred komunikacione mreže mnogo obimnije zahteve, kako u smislu transportnih kapaciteta, tako i u smislu kvaliteta i pouzdanosti. U ovom radu je prikazano jedno rešenje koje može da predstavlja korak u tom pravcu.

KONCEPCIJSKI PRISTUP REŠENJU

U pristupu rešavanju definisani su sledeći polazni zahtevi:

- Mreže treba da su višenamenske, za prenos raznih digitalnih signala,
- Pojedinačni kapaciteti veza centar – terminalna stanica: 60 - 100 kbit/s,
- Strukture mreža: point to point, point to multipoint, štafetne, kombinovane,
- Skalabilnost mreža: broj terminalnih stanica do više stotina,
- Mogućnost istovremenog funkcionisanja više veza na istom prostoru i u istim frekvencijskim opsezima.

Polazeći od izloženih zahteva odmah se nailazi na dva ključna pitanja: izbor frekvencijskih opsega i opredeljenje za modulacione tehnike.

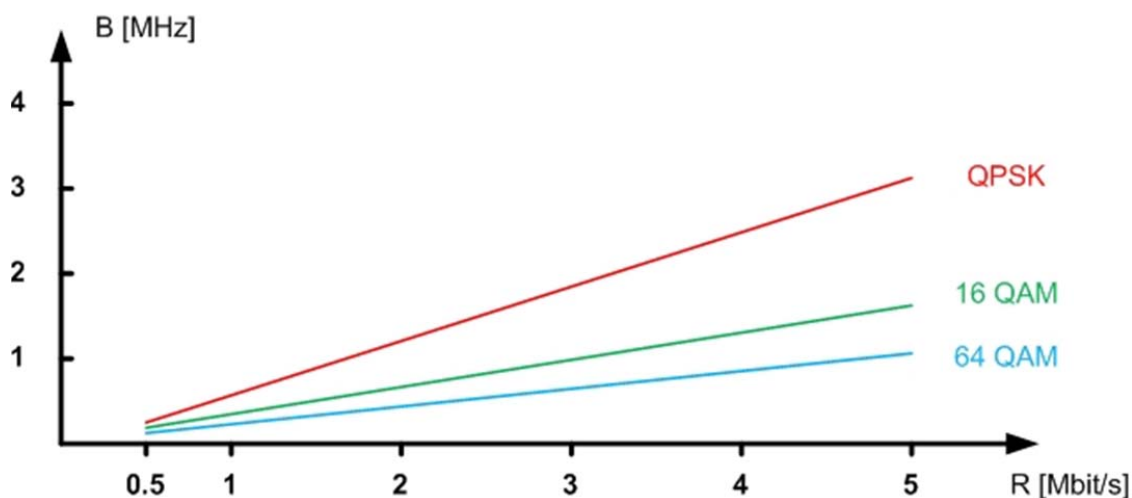
Izbor frekvencijskog opsega u najvećoj meri zavisi od zahtevanih transportnih kapaciteta veza. Za određivanje transportnih kapaciteta bitni su podaci o pojedinačnim kapacitetima kao i o broju terminalnih stanica u jednoj ćeliji mreže. Pod pojmom ćelije podrazumeva se grupa stanica koje komuniciraju sa centrom posredstvom istih elemenata mreže, npr. štafetne linije ili PTP repetitorske stanice. U ovakvim ćelijama ukupni kapacitet približno je određen kao zbir binarnih protoka terminalnih stanica.

U većini poznatih rešenja sličnih sistema, gde se do i od terminalnih stanica prenose signali operativnog nadzora i upravljanja, govorni signali, signali protivpožarnog i protivprovalnog obezbeđenja, kao i video nadzora, procenjuje se da je, po jednoj stanici, potrebno obezbediti binarni protok u granicama 60 – 100 kbit/s.

Broj terminalnih stanica u ćelijama zavisi od više raznih faktora. Tipično u ćelijama sa zvezdastom strukturom broj terminalnih stanica koje komuniciraju posredstvom repetitorske stanice može da bude do dvadeset, ponekad i više, dok u štafetnim strukturama taj broj retko dostiže deset. Prema tome, može se zaključiti da se vrednosti agregatnih protoka u ćelijama pretežno nalaze u granicama 1 do 2 Mbit/s. Ovu konstataciju treba dopuniti podatkom o organizaciji komuniciranja između centra i terminalnih stanica. U mnogim, posebno većim, mrežama se, u cilju uštede frekvencijskog opsega, saobraćaj u oba smera obavlja u istom opsegu, sa vremenskim razdvajanjem uzlaznog i silaznog prenosa. U takvim mrežama su efektivne vrednosti pojedinačnih i agregatnih protoka približno 2,2 puta veće, što znači da mogu da dosežu do približno 5 Mbit/s. U procesu izračunavanja potrebnog frekvencijskog opsega, ove se vrednosti moraju povećati za određeni procenat na ime proširenja opsega usled neidealnog filtiranja, kao i zaštite od višestruke propagacije. Takođe se uvode i dodatna povećanja protoka za korekcije greške koja zavise od primenjenih sistema zaštite. Za dalja razmatranja u okvirima ovog rada tretiraće se vrednosti binarnih protoka u opsegu 0,5 – 5 Mbit/s koje su bliske tipičnim za ove radio-veze. Za faktor proširenja opsega tipično se primenjuje vrednost 1,25.

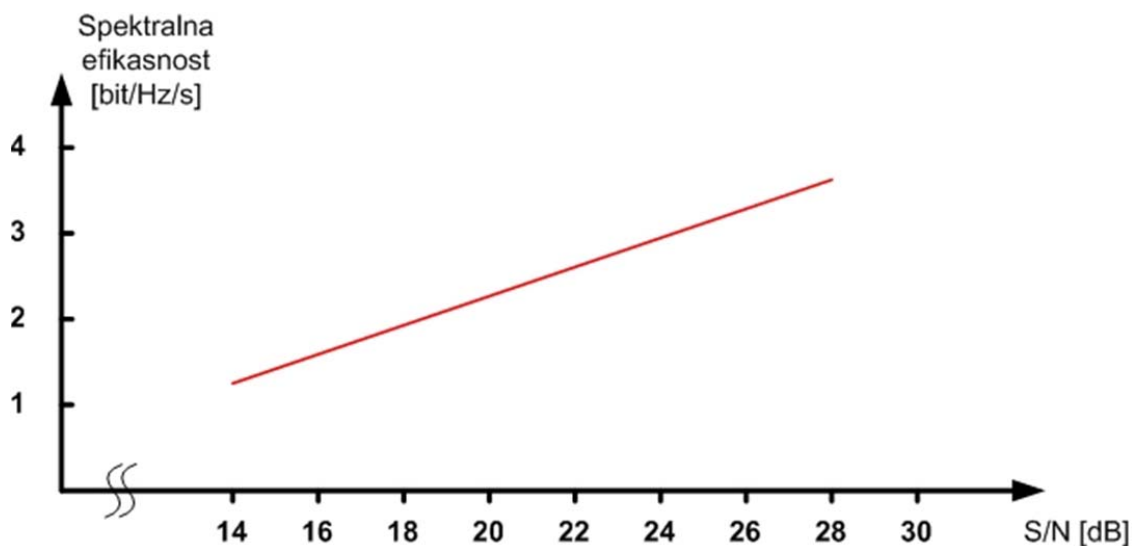
Za određivanje frekvencijskih opsega koje zauzimaju digitalni signali potrebni su podaci o primenjenim modulacionim šemama. U tipičnim radio-vezama ove namene koriste se šeme QPSK, QAM 16 i QAM 64 koje imaju spektralne efikasnosti 1,6, 3,2 i 4,8 bit/Hz/s respektivno.

Na slici 1 prikazane su vrednosti potrebnih frekvencijskih opsega za signale kojima su binarni protoci unutar datih granica, a u zavisnosti od primenjenih modulacionih šema. Na apscisi su binarni protoci u Mbit/s, a na ordinati potrebne širine frekvencijskih opsega u MHz.



Slika 1. Zavisnost potrebnih širina frekvencijskih opsega za signale u opsegu 0,5 -5,0 Mbit/s za navedene modulacione šeme

Sa aspekta iskorišćenja frekvencijskog opsega, prednost pokazuju šeme sa višim vrednostima spektralne efikasnosti. Međutim, cena za taj dobitak su veće zahtevane vrednosti odnosa signal-šum na ulazu prijemnika, što je prikazano na slici 2. [1]



Slika 2. Zavisnost zahtevanog odnosa S/N od spektralne efikasnosti modulacione šeme

Povećanje zahtevanog odnosa signal-šum na ulazu prijemnika nameće ograničenja u smislu zahteva boljih kvaliteta prenosa u radio vezama. To praktično znači da se na trasama sa manje povoljnim uslovima propagacije EM talasa moraju primenjivati šeme sa manjom spektralnom efikasnošću.

U postupku izbora frekvencijskih makro-opsega za predmetne veze, izložene činjenice o granicama potrebnih frekvencijskih opsega za pojedine veze ukazuju na nesumnjive prednosti standardnih frekvencija iznad 1 GHz, posebno za signale kojima su potrebni opsezi 1 MHz i više. Takođe, zbog kraćih dometa i ograničenja propagacije do oblasti optičke vidljivosti, iste frekvencije se mogu ponavljati u bliskim prostorima. Tome takođe doprinosi i činjenica da odgovarajuće antene mogu da imaju osetno veće usmerenosti. Kao značajan argument navodi se i da su opsezi ispod 1 GHz u nekim područjima u velikoj meri popunjeni.

Izbor frekvencijskog opsega za rad predmetnih veza uslovljen je dokumentom „Plan namene radiofrekvencijskih opsega“, izdatim od agencije RATEL. Takođe, neophodan je i uvid u međunarodno standardizovane opsege namenjene za ove vrste veza, jer se samo za njih proizvode odgovarajući uređaji.

Uvidom u proizvodne programe mnogih proizvođača uređaja za radio-veze ove namene konstatuje se da su gotovo svi orijentisani na rad u tzv. nelicenciranim opsezima. [2] Objašnjenje je da je tu moguće fleksibilnije korišćenje raspoloživih opsega, jer ne postoje striktno definisani rasteri frekvencija nosilaca. Takođe, za rad u tim opsezima su takse, koje se plaćaju nadležnim administracijama, male a u većini zemalja se uopšte ne plaćaju. Planovima namene raspodele frekvencijskih opsega međunarodnih organizacija [3],[4] [5] kao i navedenim planom RATEL-a za ovaj način korišćenja određeni su opsezi 2450 – 2500 MHz i 5150 – 5875 MHz.

KARAKTERISTIKE RADIO UREĐAJA

Pored navedenih prednosti rada u nelicenciranim opsezima, postoje i problemi koji se ispoljavaju kao moguća uzajamna ometanja radio-mreža koje rade na istim ili bliskim teritorijama i u istim frekvencijskim opsezima. Takvi se problemi efikasno rešavaju primenom odgovarajućih procesa obrade signala kao što su rad u proširenom spektru, najčešće sa frekvencijskim skakanjem (SSFH) ili rad u paralelnom višekanalnom prenosu (OFDM). Suština tih procesa je da se postigne mogućnost trenutnog prilagođavanja prenošenih signala aktuelnim stanjima sredina prenosa. Signali se prenose u frekvencijskim opsezima koji su znatno širi od njihovih originalnih, a pri pojavama poremećaja uslova propagacije, kao što je selektivni fading ili strana smetnja, napadnuti deo opsega se napušta, a prenos se nastavlja u ostalom opsegu.

Tipične stanice za ovakve mreže predstavljaju konstruktivne celine koje, pored radio-modema, sadrže procesore saobraćaja (ruter ili L3 svič) i druge pomoćne sklopove. Stanice su standardno opremljene za spoljnu montažu sa širokim opsezima temperaturne tolerancije.

U uslovima idealne optičke vidljivosti i uz prosečnu vrednost rezerve za fading od 30 dB, pri protoku od 50 Mbit/s, dužina trase može da bude 10 – 15 km, dok pri 5 Mbit/s (uz neophodno veću rezervu za fading) trase mogu da budu duge i nekoliko desetina km.

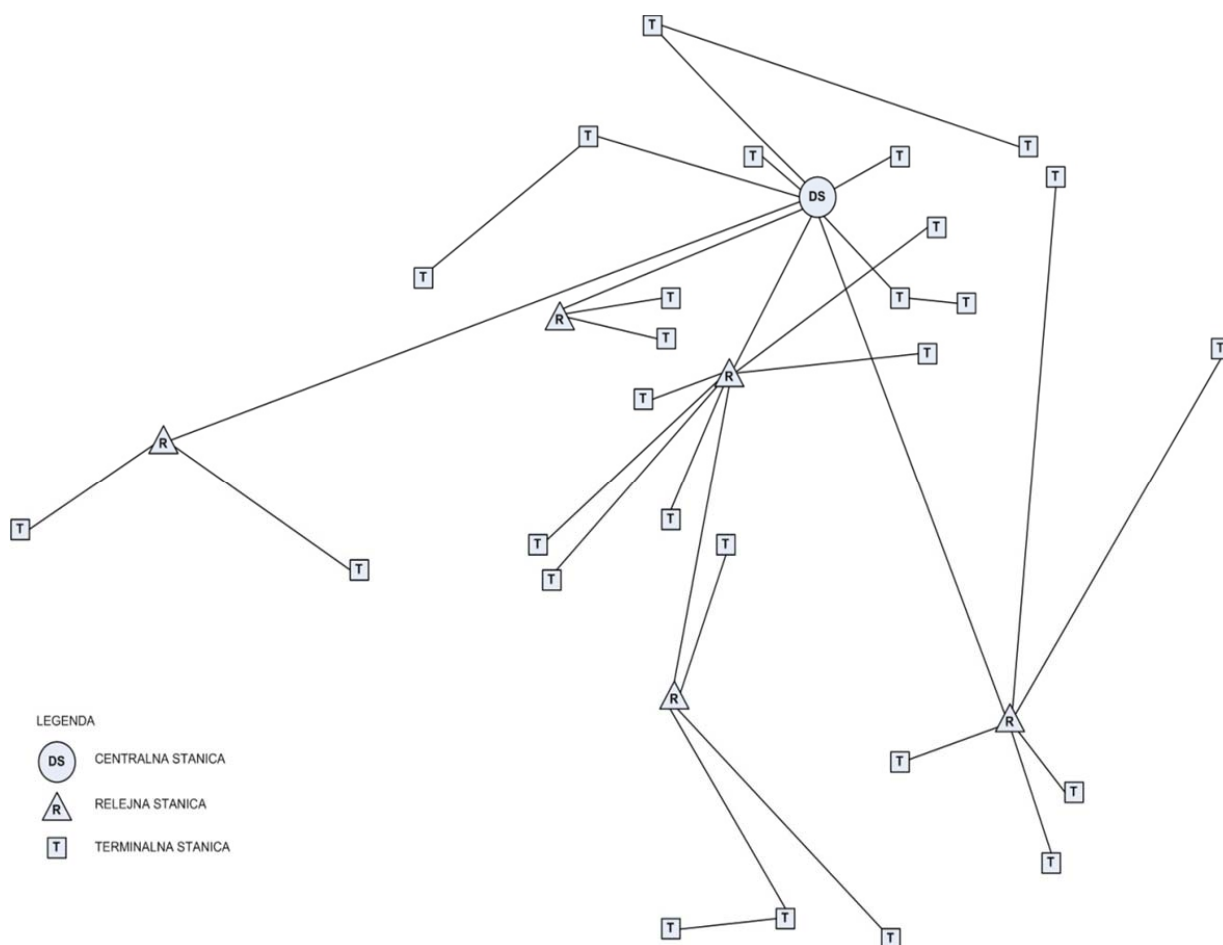
PRIMERI REALIZOVANIH MREŽA

Primer 1

Na području Beograda i šire okoline realizovana je višenamenska radio-mreža za potrebe velikog tehničkog sistema koja služi za prenos signala operativnog upravljanja, kao i signala poslovnog sistema. Mreža trenutno obuhvata 35 objekata povezanih istim brojem deonica veze, ali je u projektu dalje širenje. Na slici 3 prikazana je blok-šema mreže sa naznačenim statusima pojedinih stanica.

Centar mreže, označen sa DS, povezan je sa terminalnim stanicama, označenim sa T, i to sa nekima direktno, sa nekima štafeto, preko drugih T, a sa većinom preko relejnih stanica, označenih sa R. Sve relejne stanice su realizovane kao *point to multipoint*. Dužine deonica su od 2 km do preko 40 km i na svima postoji direktna optička vidljivost.

Mreža je realizovana uređajima koji su vrlo slični opisanim u prethodnom odeljku i radi u nelicenciranom opsegu 5150 – 5875 MHz. Prosečni protoci po deonicama su cca 10 Mbit/s što je približno četvrtina graničnih kapaciteta. Izgradnja mreže počela je 2008. god. i postepeno je dograđivana do sadašnjeg stanja, a planirano je i dalje širenje. U toku dosadašnje eksploatacije nije konstatovan ni jedan poremećaj nastao usled uticaja stranih smetnji.



Slika 3. Blok šema mreže

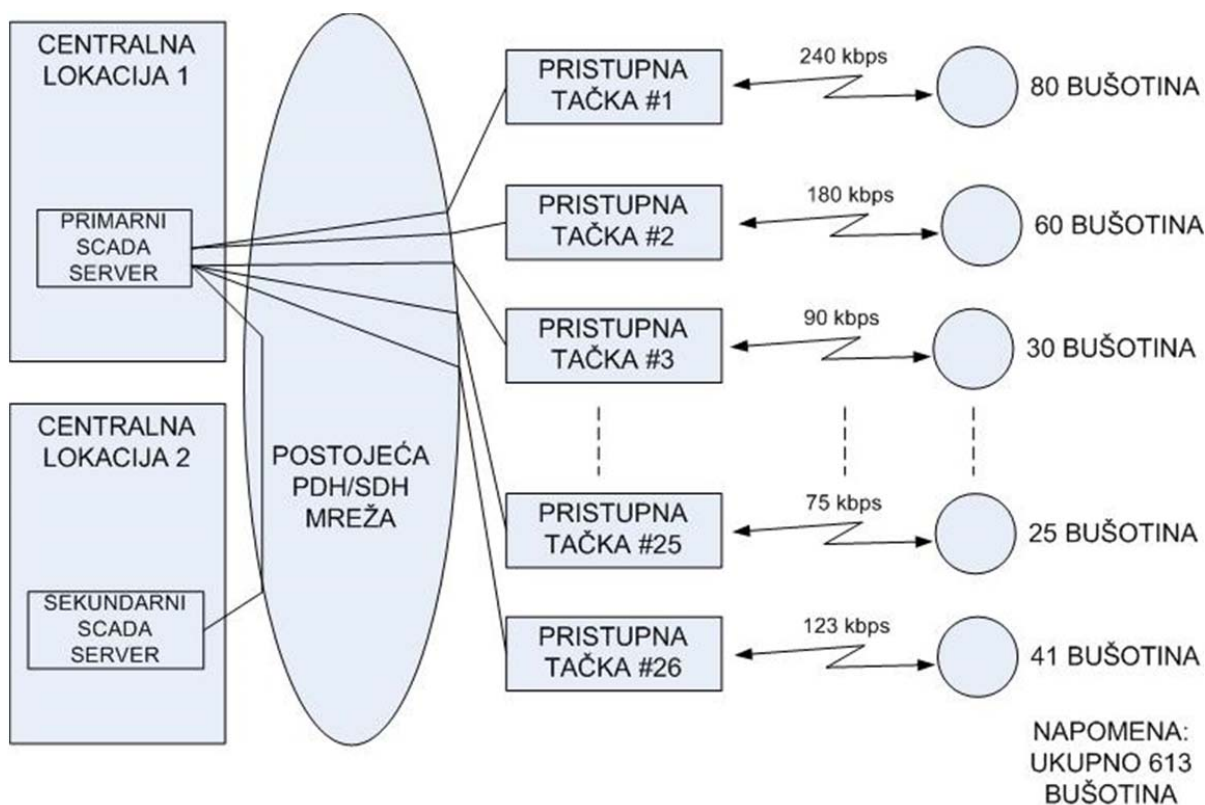
Primer 2

Mreža je realizovana za potrebe prikupljanja podataka (SCADA) sa bušotina nafte i gasa, u regionu Bliskog Istoka. Oblast je veličine 85 km x 20 km i tu je raspoređen ogroman broj bušotina (613) koje imaju različitu namenu. Radio-mreža, koja je projektovana, je velika i zahtevna po pitanju kapaciteta. Više bušotina je povezano na istu pristupnu tačku i to je tačka koncentracije, odakle se signali prenose putem postojeće PDH/SDH mreže.

Radio-mreža je PtMP arhitekture na 2,4 GHz, a po bušotini je pretpostavljen kapacitet 3 kbit/s sa pretpostavkom da postoji 10 senzora sa kojih se prenose signali. Na slici 4 je prikazana blok-šema sistema.

Predloženo rešenje obezbeđuje kapacitet od 1 Mbit/s po kanalu (lokaciji bušotine) do 3 Mbit/s, što je dovoljno za buduće potrebe. Da bi se obezbedila redundantnost, svaka bušotina je povezana na tačku koncentracije ili „bridge“ sa dva linka, gde je jedan radni, a drugi „stand by“. Za to rešenje se koriste dve ili tri (na „bridging“ lokacijama) direkcione antene i odgovarajući broj radio-jedinica koje su posredstvom L2 sviča povezane sa RTU-om (Remote Terminal Unit).

Za veliki broj tačaka koje treba povezati najbolje rešenje je korišćenje komunikacionog sistema sa tehnikom proširenog spektra. Rešenje FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) obezbeđuje bolju otpornost na šum i interferenciju, a i efikasnije korišćenje frekventnog opsega. Predloženo je korišćenje Ethernet TCP/IP protokola (fleksibilno rutiranje, adresiranje, mrežna sigurnost).



Slika 4. Projektovana radio-mreža za prenos SCADA podataka za monitoring udaljenih bušotina

Nakon analize različitih mrežnih arhitektura izabrana je PtMP arhitektura sa redundansom. Mreža je projektovana 2010/2011.

ZAKLJUČAK

Na osnovu izloženih podataka o karakteristikama uređaja koji su dostupni na tržištu, kao i na osnovu iskustava korisnika prikazanih realizovanih mreža, može se konstatovati da se ovakvim rešenjima mogu u potpunosti zadovoljiti svi zahtevi, koji su definisani u ovom tekstu. [6]

Uređaji podržavaju prenos IP signala, što odgovara zahtevima multifunkcionalnosti. Transportni kapaciteti veza za sada prevazilaze uobičajene potrebe većine sistema, ali se već u bliskoj budućnosti očekuje njihov porast, posebno zbog uvođenja servisa video nadzora.

Karakteristike pojedinačnih uređaja dozvoljavaju visoku fleksibilnost u kreiranju konfiguracija mreža, pošto podržavaju sve potrebne funkcije za ostvarenje zvezdastih, prstenastih i štafetnih struktura. Sistemi raspolažu visokim stepenom skalabilnosti, jer uvođenje novih HW jedinica i/ili novih SW elemenata ne zahteva izmene u postojećim. Primenjene tehnike modulacije, SSFH ili OFDM, omogućuju rad više sistema bez opasnosti od uzajamnih ometanja. Konačno, treba istaći da su cene terminalnih uređaja u granicama oko 1000 EUR, a da rad u nelicenciranim opsezima oslobađa korisnika od troškova administrativne takse. [6]

Na osnovu iskazanih stavova može se zaključiti da prikazani sistemi predstavljaju potencijalno kvalitetno rešenje za realizaciju mreža u celini ili okosnica mreža na koje se oslanjaju veze sa skromnijim performansama.

LITERATURA

- [1] K. Feher, 1981, „Digital Communications“, Prentice-Hall
- [2] Tehničke dokumentacije proizvođača radio uređaja – Motorola, MikroTik, Aperto, Telsima, Bel Air
- [3] CEPT/ERC/REC 70-03, Anex 3
- [4] IEEE 802.11a
- [5] ERC DEC (01)06
- [6] J. Mandić-Lukić, N. Simić, Ž. Vasiljević, 2012, „Radio-komunikacije u sistemima upravljanja mrežama srednjeg i niskog napona“, 15. Simpozijum CIGRE Srbija, STK C2/STK D2, rad D2 05