

**PREGLED RASPOLOŽIVIH TELEKOMUNIKACIONIH TEHNOLOGIJA
I PREPORUKE ZA NJIHOVU IMPLEMENTACIJU ZA POTREBE AUTOMATIZACIJE
ELEKTRODISTRIBUTIVNE MREŽE**

**OVERVIEW OF AVAILABLE TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES
AND RECOMMENDATIONS FOR THEIR IMPLEMENTATION IN AUTOMATION OF POWER
DISTRIBUTION NETWORK**

Đorđe VLADISAVLJEVIĆ, Elektrodistribucija Srbije d.o.o. Beograd, Ogranak Novi Sad, Srbija
Slavko DUBAČKIĆ, Elektrodistribucija Srbije d.o.o. Beograd, Ogranak Novi Sad, Srbija
Aleksandar BOŠKOVIĆ, „Fakultet tehničkih nauka“ Novi Sad, Srbija

KRATAK SADRŽAJ

U okviru sistema za distribuciju električne energije rastu potrebe za proširenjem, funkcionalnim unapređenjem, integracijom i centralizacijom postojećih (SCADA, DMS, AMR) i uvođenjem novih (OMS, DERMS, AMI/MDM) sistema za automatizaciju distribucije. Rast ovih potreba zahteva proširenje i unapređenje postojećih telekomunikacionih prenosnih puteva u okviru telekomunikacionog sistema ODS Elektrodistribucije Srbije. Sistem za distribuciju električne energije čini veliki broj elektroenergetskih objekata i potrošača, a sve češće i proizvođača električne energije, do kojih se, u skladu sa potrebama navedenih tehnoloških sistema, moraju obezbediti telekomunikacioni linkovi odgovarajućeg kapaciteta i kvaliteta. Na tržištu je dostupan širok spektar komunikacionih tehnologija u okviru kojih je potrebno napraviti racionalne izbore rešenja koja su tehnički i finansijski optimalna i primerena potrebama i mogućnostima. Odabrana rešenja treba da obezbede dovoljnu pouzdanost i bezbednost podataka, kao i odgovarajuće brzine prenosa podataka. Stoga je u radu dat pregled raspoloživih komunikacionih tehnologija, kao i preporuke za njihov izbor i implementaciju za potrebe automatizacije elektrodistributivne mreže.

Ključne reči: telekomunikacione tehnologije, automatizacija elektrodistributivne mreže

ABSTRACT

There has been a growing need for extension, functional upgrading, integration, and centralization of the existing systems for automation of electrical distribution networks (SCADA, DMS, AMR). There has also been a growing need for implementation of new such systems (OMS, DERMS, AMI/MDM). Constant growth of the abovementioned needs requires extension and upgrading of the existing telecommunication links within the ODS ODS Elektrodistribucija Srbije telecommunication system. The power distribution system consists of a large number of power substations and consumers, as well as producers. In accordance with the requirements of the abovementioned technical systems, all these subjects have to be equipped with telecommunication links of adequate capacity and quality. There is a wide array of telecommunication technologies on the market. According to existing needs and capacities, technically and financially optimal choices and solutions should be made among these technologies. Chosen solutions should guarantee reliability and data protection, as well as adequate data rate. This paper gives an overview of the available telecommunication technologies, as well as recommendations for their choice and the implementation in automation of power distribution networks.

Key words: telecommunication technologies, automation of power distribution network

djordje.vladisavljevic@ods.rs
slavko.dubackic@ods.rs
aboskov@uns.ac.rs

UVOD

Telekomunikaciona (TK) infrastruktura ODS „Elektrodistribucija Srbije“ predstavlja osnovu nad kojom se nadograđuju i implementiraju poslovni i tehnički procesi. Nastajala je postepeno, u skladu sa zahtevima korisnika, pratile su se raspoložive tehnologije ali i ekonomski aspekti [1].

TK infrastruktura predstavlja multiservisno orijentisanu arhitekturu namenjenu implementaciji različitih sistema/aplikacija/servisa. Pouzdanost sistema se ogleda i u tome što je sve veći broj sistema u realnom vremenu koji se oslanjaju na nju. Brzine prenosa podatka koje se obezbeđuju zadovoljavaju potrebe servisa koji, po pravilu, imaju velike zahteve za protokom i postoji rezerva za buduća proširenja [2].

KORISNIČKI ZAHTEVI ZA IMPLEMENTACIJU TK SISTEMA

Da bi se definisali TK zahtevi, mora se početi od korisničkih/funkcionalnih zahteva pojedinih podsistema za automatizaciju distribucije [2], odnosno moraju se sagledati sledeći implementacioni zahtevi koji su u vezi sa TK potrebama ovih podsistema:

- Koje su sve vrste i koliki je broj objekata/potrošača iz pojedinih klasa objekata koji su uključeni u posmatrani podsistem za automatizaciju distribucije?
- Koliki je obim i potrebna brzina prenosa podataka u okviru posmatranog podsistema za automatizaciju, iskazano u odnosu na smer prenosa (od EEO/potrošača – ka EEO/potrošaču) i u odnosu na različite vrste podataka koje treba preneti za podsistem?
- Koja je minimalna frekvencija osvežavanja podataka potrebna za svaku vrstu podataka u okviru posmatranog podsistema za automatizaciju (za svaki od zahtevanih TK servisa)?
- Kolika su očekivana vremena odziva na pojedine komande koje se izdaju u okviru podsistema za automatizaciju?
- Kolika je procentualna zastupljenost objekata/potrošača u odnosu na vrstu EE mreže (kablovska/nadzemna)?
- Koji je minimalni nivo zaštite podataka potreban?
- Koji je dominantni tip naselja (urbani, prigradski, ruralni) u kome se nalaze EEO/potrošači?

Kada se formulišu odgovori na gore navedena pitanja, odnosno, kada se definišu ključni korisnički zahtevi za potrebne TK veze, moguće je definisati okvirne tehničke karakteristike tih veza. Nakon toga je moguće ciljano analizirati sve moguće raspoložive (komercijalno dostupne) TK tehnologije koje bi mogle biti pogodne za implementaciju za određene klase TK veza.

PREGLED AKTUELNIH KOMUNIKACIONIH TEHNOLOGIJA

Za svaki segment komunikacionih potreba u distributivnom elektroenergetskom sistemu DEES moguće je pronaći različite komunikacione tehnologije i TK opremu kojima bi se mogla realizovati zahtevana klasa TK veze sa procenjenim prenosnim kapacitetima [2].

Sopstveni optički sistemi prenosa

Korišćenje sopstvenih optičkih kablova i sistema prenosa (gde bi troškovi korišćenja bili samo troškovi održavanja opreme i kablova) se nesumnjivo nameće kao najbolje rešenje, jer bi prenosni kapaciteti bili praktično neograničeni, tako da bi se mogle zadovoljiti sadašnje i buduće TK potrebe u DEES, a pouzdanost na vrlo visokom nivou.

Prevažno se koriste samonosivi optički kablovi (ADSS) i optički kablovi u faznom provodniku (OPPC) implementirani po stubovima nadzemnih visokonaponskih (VN), srednjenaponskih (SN) i niskonaponskih (NN) vodova. Postoji mogućnost primene i podzemnih potpuno nemetalnih optičkih kablova (u zaštitnoj PE cevi) koji bi se polagali u isti rov sa SN EE napojnim kablovima u situacijama kada se polažu novi podzemni kablovi ili se vrši zamena postojećih SN EE kablova novim, na pogodnim trasama između VN/SN i SN/NN objekata. Poželjno je masovnije korišćenje optičkih kablova u zaštitnom zemljovodnom užetu/provodniku (OPGW), ali, na žalost, samo je mali broj trasa DV 35kV je projektovan i realizovan sa zaštitnim provodnikom koji bi mogao da se zameni OPGW optičkim kablom.

Na žalost, ovo rešenje je istovremeno investiciono najskuplje i vrlo teško primenjivo za potrebe automatizacije srednjenaponskog DEES, osim ako se ne koriste mogućnosti za povoljno polaganje podzemnog optičkog kabela

koje se ukazuju kod izgradnje novih podzemnih SN EE kablova ili ako se iskoristi izgradnja novih nadzemnih SN vodova, pa se još u fazi projektovanja obezbede konstruktivni i sigurnosni preduslovi da se u toku izgradnje ili naknadno izvrši polaganje ADSS optičkih kablova po novom SN nadzemnom vodu.

Širokopolasni sistemi radio veza

Osnovna prednost radio sistema u odnosu na kablovske sisteme je jeftinija i brža implementacija, a glavni nedostatak promenljiv kvalitet prenosa zbog promena uslova propagacije radio signala.

Dosadašnja iskustva u korišćenju širokopolasnih PTP (PointToPoint) i PtMP (PointToMultipoint) radio sistema u Elektrodistribuciji Srbije su u većini slučajeva pozitivna. Ovakvi sistemi su relativno jednostavni za implementaciju i pružaju pouzdanu vezu prilično velikog kapaciteta [3].

Trenutno se u okviru TK sistema na konzumnom području Elektrodistribucije Srbije koriste dva tipa širokopolasnih radio sistema PTP i ova tehnologija se pokazala kao dosta efikasna i isplativa. Za potrebe povezivanja poslovnih objekata koriste se PTP linkovi u licenciranom 8GHz, 11GHz i 13GHz opsegu, dok se za potrebe povezivanja EEO sa nadležnim dispečerskim centrom koriste PTP linkovi u nelicenciranom 5GHz opsegu. U slučaju korišćenja nelicenciranog opsega javljaju se već pomenuti problemi sa zauzetošću spektra, tako da treba potencirati korišćenje licenciranih opsega kada god je to moguće.

Većina postojećih širokopolasnih radio sistema PtMP radi u nelicenciranom 5GHz opsegu jer trenutna regulativa ne prepoznaje izgradnju sopstvenih TK sistema ovog tipa na licenciranom opsegu. Alternativa je izgradnja sopstvenih WiMAX i/ili LTE sistema na nekom od licenciranih opsega kada to zakonski bude moguće.

Takođe, ovakva rešenja često uslovljavaju postojanje visokih antenskih stubova tako da je i to jedan od parametara koji treba uzeti u obzir prilikom planiranja širokopolasnih PTP i PtMP radio sistema.

Oprema koja se koristi u okviru širokopolasnih PTP i PtMP radio sistema se pokazala kao nešto zahtevnija u pogledu napajanja pa je u slučaju implementacije ovakvih sistema veoma bitno obezbediti kvalitetne uređaje za besprekidno napajanje opreme.

Korišćenje širokopolasnih PTP i PtMP radio sistema za potrebe automatizacije srednjenaponske DEES nije uvek najoptimalnije rešenje, jer je na ovaj način teško (u nekim slučajevima gotovo nemoguće) doći do svih distributivnih EEO. Potrebno je dobro isplanirati TK podsistem ovog tipa i koristiti ga samo u slučajevima kada je potrebno da se na pojedinim EEO realizuju neki napredni i zahtevni servisi (na objektima gde se realizuje video nadzor, kontrola pristupa, DMS funkcije, na TK čvorištima, itd.).

Pored navedenog, treba imati u vidu da se u poslednje vreme na svetskom tržištu pojavila PtMP oprema više proizvođača, koja radi na nižim licenciranim frekvencijskim opsezima, kao što su opsezi 900MHz, 700MHz pa čak i UHF (450MHz), ali koja za rad koristi nešto uže frekvencijske podopsege, i u skladu sa tim nude niže digitalne protoke od opreme na višim opsezima (2.4GHz i 5GHz). Međutim, kao značajnu prednost („u zamenu“ za niže digitalne protoke) ova oprema nudi veći domet veze i bolje performanse u situacijama i okruženjima kada nije moguće ili nije isplativo obezbediti tzv. „Line of Sight“ prostiranje EM talasa.

U poslednje vreme trend u svetu je izgradnja malih sopstvenih 4G (LTE - LongTerm Evolution) sistema na nekom od licenciranih opsega i ovo je svakako jedna od tehnologija koja bi mogla naći široku primenu u automatizaciji DEES. Jedan od ključnih ciljeva u razvoju LTE je bilo smanjivanje kašnjenja u sistemu i povećanje protoka i kapaciteta mreže, što ide u prilog činjenici da je ova tehnologija vrlo pogodna za korišćenje za potrebe automatizacije DEES.

Uskopolasni sistemi radio veza

Korišćenje uskopolasnih digitalnih radio sistema za potrebe automatizacije srednjenaponske DEES se po svojim karakteristikama nameće kao najoptimalnije rešenje [4]. Naročito ako se opredelimo za korišćenje radio opreme koja je specijalno dizajnirana za potrebe prenosa podataka (paketni digitalni radio).

Prednosti uskopolasnih radio sistema su korišćenje licenciranog frekventnog opsega, velike zone pokrivanja i izbegavanje dodatnih konvertora protokola.

Prednosti uskopolasnih radio sistema su korišćenje licenciranog frekventnog opsega, velike zone pokrivanja i otpornost na uticaj atmosferskih padavina. Jedna od mana je nešto manja brzina prenosa podataka (nego kod širokopolasnih TK sistema), međutim, u slučaju TK podsistema za potrebe SN SDU ove brzine mogu da zadovolje većinu potreba.

Korišćenjem paketnog digitalnog radija se izbegava korišćenje dodatnih konvertora protokola i većina proizvođača nudi opremu koja radi sa veoma širokim ulaznim naponskim opsegom (npr. od 10V do 30V, u nekim slučajevima i do 60V).

Korišćenje digitalnog paketnog radija za potrebe automatizacije srednjenaponske DEES se u većini slučajeva može pokazati kao najbolje i najpouzdanije rešenje. Ovakvi sistemi su dosta fleksibilni, relativno lako se implementiraju i u slučaju potrebe proširuju.

PLC sistemi

Komunikacija preko EE vodova (Power Line Communications - PLC) omogućava upotrebu elektro mreže za prenos podataka. Osnovna ideja PLC-a je smanjenje operativnih troškova i rashoda za realizaciju novih telekomunikacionih mreža.

Postojeća EE distributivna mreža omogućava PLC tehnologiji da bude najisplativija među svim žičnim rešenjima, sa malim troškovima instalacije. Ostale prednosti su malo kašnjenje, efikasan rad, kao i nezavisnost od trećih lica, obezbeđujući direktnu i potpunu kontrolu mreže od strane vlasnika postrojenja za proizvodnju i distribuciju električne energije.

Sa druge strane najveći problem u primeni PLC tehnologije predstavlja slabljenje signala usled gubitaka u visokofrekventnom kanalu, refleksije elektromagnenih talasa na neusklađenim krajevima vodova, uticaja kapacitivnih opterećenja i propagacije po više putanja. Ostale mane koje proizlaze iz same prirode EE mreže su vremenski promenljiva topologija mreže, visoki nivoi šuma i elektromagnetne interferencije, koje rezultiraju visokim nivoima bitskih grešaka (BER, Bit-Error Rates) i bezbednosnim problemima. Iz ovih razloga, postoje slučajevi gde prednost postojećeg komunikacionog kanala može biti eliminisana cenom sprežnih uređaja i dodatnih repetitora.

Uprkos pomenutim nedostacima, od PLC-a se očekuje značajna uloga u formiranju „inteligentnih“ distributivnih mreža. Srednjenaponska distributivna mreža predstavlja najpodesniju oblast za PLC zbog svoje razgranate topologije i raznovrsnosti smart grid aplikacija, međutim, na tržištu Srbije gotovo da nema ponude TK opreme kojom bi se realizovali PLC sistemi u srednjenaponskoj EE mreži.

Jedno od rešenja bi moglo biti i izgradnja kombinovanih mreža, kao što su PLC/bežične mreže, koje koriste prednosti obe tehnike i na taj način pružaju mogućnost realizacije veoma efikasnih i isplativih tehničkih rešenja. PLC može da se koristi praktično u svim ravnama EE mreže, visokonaponskoj, srednjenaponskoj i niskonaponskoj.

Javni mobilni sistemi radio veza

Razvoj i omasovljenje GSM mreža kao i povećanje kapaciteta i pouzdanosti učinilo je da korišćenje ovih servisa javne mobilne mreže bude dosta jednostavno i efikasno. Međutim, komercijalni karakter ove mreže predstavlja ozbiljan nedostatak o kom se mora voditi računa kada se ide na masovnu i raznovrsnu primenu ovog rešenja za realizaciju nekih tehnoloških podсистema DEES o čemu se mora voditi računa kada se ide na masovnu i raznovrsnu primenu ovog rešenja za realizaciju nekih tehnoloških podсистema DEES.

Mobilni operateri nude uslugu prenosa podataka na celoj teritoriji Elektrodistribucije Srbije. Najčešće je to forma u kojoj se kreira jedan APN (Access Point Name), koji predstavlja zatvorenu i zaštićenu grupu korisnika. Veza ka lokalnoj mreži korisnika se ostvaruje izgradnjom posebne (najbolje optičke) veze ka telekom operateru ili jednostavnim dodavanjem APN noda na lokaciji lokalne mreže korisnika.

U implementaciji SN SDU korišćenje APN-ova operatera mobilne telefonije može biti preporučljivo za servise koji ne zahtevaju rad u realnom vremenu.

Jedna od najbitnijih karakteristika jeste raspoloživost usluge. Raspoloživost, ili bolje reći neraspoloživost, usluge je jedan od najvećih problema kod ovakvog načina prenosa podataka. Jednostavno postoje delovi teritorije koji uopšte nisu pokriveni nikakvim signalom operatera. Takođe, kada je raspoloživost servisa u pitanju, javljaju se problemi preopterećenosti mreže, ispada bazne stanice operatera, lošeg signala i slično. Ovde se mogu samo postavljati usmerene eksterne antene i uticati na operatera da poboljša uslugu.

Javni KDS sistemi

Javni KDS sistemi sada već predstavljaju vrlo ozbiljnu alternativu za TK povezivanje SN/NN EEO (eventualno i klase SN EEO) pa čak i klasa SN i NN potrošača. Naime, ovi sistemi se grade sa sve više optičkih linkova i tehnički kvalitetnije, sve bolje se održavaju i sad su već vrlo široko rasprostranjeni (praktično do skoro svih potrošača električne energije) posebno u gradovima i drugim većim naseljima. Prilikom donošenja odluke o masovnijem korišćenju KDS priključaka i servisa potrebno je izvršiti ozbiljnu tehno-ekonomsku analizu svakog pojedinačnog dela DEES i EEO do kog je potrebno ostvariti TK vezu.

IZBOR ODGOVARAJUĆE KOMUNIKACIONE TEHNOLOGIJE

Imajući u vidu sve navedeno u prethodnim poglavljima, jasno je da postoji vrlo široka lepeza tehničkih mogućnosti, rešenja i tehnologija i da je potrebno napraviti racionalnu selekciju i izbor rešenja koja su tehnički i finansijski optimalna i primerena potrebama i mogućnostima.

Potrebno je birati rešenja koja na prvom mestu obezbeđuju dovoljnu pouzdanost i bezbednost podataka, kao i odgovarajuće brzine prenosa podataka. U tom smislu, nameće se kao najlogičniji korak izgradnja sopstvene IKT infrastrukture dovoljnog kapaciteta (i na taj način obezbeđivanje kvalitetnog kontinuiteta poslovnih i tehničkih procesa).

Na osnovu iskustva iz do sada implementiranih TK podsistema za potrebe automatizacije DEES, kao i na osnovu izvršene analize rešenja koja se nude na našem tržištu, procena je da bi optimalno rešenje za realizaciju TK podsistema za potrebe automatizacije srednjenaponskog DEES trebalo da bude jedna od TK tehnologija navedenih u prethodnom poglavlju (u nekim slučajevima i kombinacija dve ili više navedenih tehnologija).

U TABELI 1 su navedene glavne prednosti i mane nekoliko komunikacionih tehnika koje nalaze svoju primenu u okviru automatizacije DEES.

TABELA 1 - KOMUNIKACIONE TEHNOLOGIJE: PREDNOSTI I NEDOSTACI

Tehnologija	Prednosti	Nedostaci
Optika i KDS	<ul style="list-style-type: none">• Veliki kapacitet• Razvijena tehnologija• Stabilne karakteristike	<ul style="list-style-type: none">• Cena izgradnje sopstvenih optičkih sistema veza• Ograničeno pokrivanje konzumnog područja• Pouzdanost, održavanje i raspoloživost u slučaju korišćenja iznajmljenih KDS sistema
Bežični sistemi radio veza	<ul style="list-style-type: none">• Brza instalacija• Razvijena tehnologija• Veliki kapaciteti kod širokopojasnih sistema radio veza	<ul style="list-style-type: none">• Ograničeno pokrivanje konzumnog područja• Kapacitet kod korišćenja uskopojasnih sistema radio veza• Problemi sa ishodovanjem dozvola za odgovarajuće frekventne opsege• Pouzdanost, održavanje i raspoloživost u slučaju korišćenja javnih mobilnih sistema
PLC	<ul style="list-style-type: none">• Odlična pokrivenost• Brza instalacija• Dostupna infrastruktura	<ul style="list-style-type: none">• Slabljenje signala• Visok nivo šuma• Slaba ponuda opreme na teritoriji Srbije

ZAKLJUČAK

U ovom radu su prikazani pojedini elementi TK infrastrukture Elektrodistribucije Srbije namenjene za automatizaciju DEES. Pre svega cilj je bio je da se ukaže da je pravilno projektovanje i odabir opreme u okviru TK podsistema veoma važan za pouzdano i kvalitetno funkcionisanje čitavog sistema za automatizaciju DEES. Isto tako uvođenje u redovnu praksu da se uzimaju u obzir potrebe razvoja i realizacije delova TK sistema još u fazi projektovanja EE linijskih objekata (nadzemnih i podzemnih SN EE vodova), moglo bi vrlo značajno da doprinese pojeftinjenju implementacije optičkih TK linkova i sistema i time podizanju kapaciteta i pouzdanosti celokupnog TK sistema, koji se primenjuje za funkcionalne potrebe DEES.

Za pravilan odabir opreme u okviru TK podsistema neophodna je saradnja stručnih lica iz više oblasti, kako bi se na osnovu precizno definisanih korisničkih potreba izabrala odgovarajuća TK oprema. Potrebno je birati rešenja koja na prvom mestu obezbeđuju dovoljnu pouzdanost i bezbednost podataka, kao i odgovarajuće TK prenosne kapacitete za prenos podataka. Jedno od rešenja bi moglo biti i izgradnja kombinovanih mreža, kao što su žične/bežične mreže, koje koriste prednosti obe tehnike i na taj način pružaju mogućnost realizacije veoma efikasnih i isplativih tehničkih rešenja.

Poželjno je da se što više unificira oprema koja se koristi u okviru TK podsistema za potrebe automatizacije DEES na konzumnom području EDS Distribucije.

Poslednjih godina se u Elektrodistribuciji Srbije sve veća pažnja poklanja upravljanju DEES. Sve više servisa će biti u realnom vremenu (realtime), sve više servisa će morati da se pružaju uživo (online). Reakcija na ispade u DEES će morati biti sve brža, a tendencija je da se traži se realtime/online praćenje sve većeg broja komponenata koje čine EE mrežu DEES. TK infrastruktura će morati da striktno prati i adekvatno odgovori na ovakve zahteve korisnika koji se sumarno ogledaju u zahtevu da se implementira sve veći broj TK servisa i da postojećim i novim sistemima omogućava sve veće digitalne kapacitete i protoke, kao i redundantnost i bezbednost podataka.

LITERATURA

- [1] Dubačkić S., Bošković A., Telekomunikaciona infrastruktura Elektrovojvodine orijentisana ka servisima, Srpski nacionalni komitet Međunarodnog saveta za velike električne mreže, 32. Savetovanje CIGRE Srbija, R D2 21, 17.-21.5.2015., Zlatibor.
- [2] Dubačkić S., Bošković A., Telekomunikaciona infrastruktura za potrebe distributivnog elektroenergetskog sistema, IX međunarodni forum o čistim energetske tehnologijama "Energetski horizont Srbije 2020", str. 65, 29.-30.9.2015, Novi Sad.
- [3] Vladislavljević Đ., *et al.*, Motorola Connect Plus Sistem – više (od) komunikacije, XI međunarodni forum o čistim energetske tehnologijama "Čista energija – šansa za sve", 26.-27.9.2017, Novi Sad.
- [4] Vladislavljević Đ., *et al.*, Digitalni sistemi radio-veza u funkciji sistema daljinskog upravljanja srednjenaponskom distributivnom mrežom, Nacionalni komitet CIRED Srbija, 11. Savetovanje o elektrodistributivnim mrežama Srbije sa regionalnim učešćem – CIRED, 24.-28.9.2018, Kopaonik.