

# Topologija širokopojsnih PLC mreža za pristup realizovanih na elektroenergetskim distributivnim mrežama niskog napona

Igor Vujičić, Nataša Gospić, Nikola Rajaković

**Sadržaj** — U radu je predstavljen uticaj topologije elektroenergetskih distributivnih mreža niskog napona na topologiju širokopojsnih PLC mreža za pristup koje se realizuju na njihovoj infrastrukturi. Na osnovu istraživanja autori su predložili moguće opcije pozicioniranja PLC bazne stanice i njihov uticaj na topologiju PLC mreže i organizaciju toka saobraćaja u mreži. Analizirana je primena regeneratora signala i gejtveja.

**Gljučne reči** — Elektrodistributivna mreža niskog napona, organizacija, segmentiranje, PLC mreža, topologija.

## I. UVOD

POWER LINE COMMUNICATION (PLC) je tehnologija koja koristi elektrodistributivne vodove srednjeg i/ili niskog napona kao medijum za prenos telekomunikacionog saobraćaja. Poslednja generacija PLC sistema koristi za to frekvijski opseg od 1 do 30 MHz. Ovaj frekvijski opseg omogućuje realizaciju velikih bitskih protoka (200 Mbit/s) [1], koji podržavaju širokopojsne servise (širokopojsni PLC- ŠPLC). Prema području primene, ŠPLC sistemi se dele na PLC sisteme za pristup (*Access PLC*) i kućne PLC sisteme (*In-home PLC*) [2],[3]. Predmet ovoga rada su topologije PLC mreža za pristup, koje se realizuju na infrastrukturi elektrodistributivnih mreža niskog napona (NN mreža).

Na mogućnost korišćenja NN mreža u komunikacione svrhe utiče njihova topologija, kao i specifične karakteristike NN voda kao medijuma za prenos telekomunikacionih signala visoke frekvencije [4]. Elektrodistributivni vodovi predstavljaju okruženje sa značajnim uticajem šumova koji potiču od različitih izvora. Takođe, izražena je i velika varijacija vrednosti impedanse u vremenu. Veliki broj ogranaka na elektrodistributivnoj mreži utiče na pojavu refleksija signala i efekta višestruke propagacije. Pri prostiranju telekomunikacionog signala po elektrodistributivnom

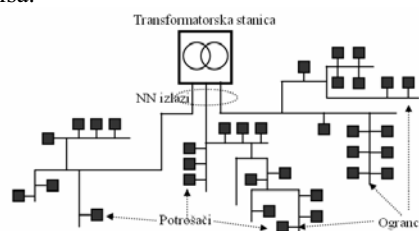
vodu, signal je izložen slabljenju, koje raste sa povećanjem frekvencije signala i dužine voda.

U elektrodistributivnim mrežama su zastupljene različite vrste vodova. Elektrodistributivni vodovi mogu biti nadzemni vodovi, koji se instaliraju po stubovima, ili podzemni kablovi, koji se polažu u zemlju. Pored toga, provodnici se razlikuju po preseku i vrsti materijala od kojih su napravljeni. Nadzemni provodnici mogu biti neizolovani, slaboizolovani i izolovani. Takođe, razlikuju se i po vrsti izolacije.

S obzirom da se PLC sistemi za pristup realizuju na infrastrukturi elektrodistributivnih mreža, može se pretpostaviti da topologija PLC mreže za pristup u velikoj meri zavisi od topologije, strukture i karakteristika elektrodistributivne mreže na kojoj je realizovana.

## II. TOPOLOGIJA ELEKTRODISTRIBUTIVNE MREŽE NISKOG NAPONA

NN mreže se grade u skladu sa postojećim standardima, (*IEC* standardi ili lokalni standardi, usklađeni sa *IEC*). Standardi definišu načine instaliranja različitih vrsta vodova i opreme u NN mrežama. Mreže mogu biti realizovane nadzemnim vodovima ili podzemnim kablovima. Svaki od ovih tipova provodnika ima različite karakteristike za prenos telekomunikacionih signala. Pri izgradnji NN mreže koriste se i kombinovana rešenja (delom se koriste nadzemni, a delom podzemni vodovi). U opštem slučaju, NN mreže imaju radijalnu topologiju (topologiju stabla), ali njihova struktura može biti različita i zavisi od lokacije i dužine mreže, gustine potrošača, i načina izgradnje mreže. Područja kojima se preko NN mreže isporučuje električna energija, mogu biti urbana, suburbana, ili ruralna. Prema tipu potrošača, područja se mogu podeliti na pretežno rezidencijalna, poslovna ili industrijska. Svi ovi faktori utiču na topologiju i način realizacije NN mreže, ali i na topologiju i strukturu PLC mreže, i komunikacione zahteve potencijalnih korisnika PLC servisa.



Sl. 1. Jedna od struktura nisko-naponske mreže

Igor Vujičić, Elektroprivreda Republike Srpske, ZEDP "Elektro-Bijeljina", Majevička 97, 76300 Bijeljina, Bosna i Hercegovina (telefon: 387-65-538449; faks: 387-55-210304; e-mail: [vujicic.igor@gmail.com](mailto:vujicic.igor@gmail.com)).

Nataša Gospić, Saobraćajni fakultet u Beogradu, Vojvode Stepe 305, 11050 Beograd, Srbija; (e-mail: [n.gospic@sf.bg.ac.yu](mailto:n.gospic@sf.bg.ac.yu)).

Nikola Rajaković, elektrotehnički fakultet u Beogradu, Bulevar Kralja Aleksandra 73, 11000 Belgrade, Srbija, (e-mail: [rajakovic@etf.bg.ac.yu](mailto:rajakovic@etf.bg.ac.yu))

Na sl. 1. predstavljena je jedna od mogućih struktura NN mreže [5]. U opštem slučaju, postoji nekoliko grana mreže (NN izlaza iz transformatorske stanice) koji povezuju transformatorsku stanicu (TS) sa grupama korisnika. Svaka od grana može imati različitu strukturu i napajati različit broj korisnika. Koncentracija potrošača po delovima trafo-područja (područja koje napaja jedna TS), odnosno po NN izlazima, takođe može biti različita. Pored toga, raspodela potrošača po NN izlazima može biti simetrična ili asimetrična. NN izlazi, kao i celokupna mreža imaju topologiju stabla.

S obzirom na raznolikost strukture elektrodistributivnih NN mreža, nije moguće definisati tipičnu strukturu NN mreže. Međutim, moguće je definisati neke karakteristične parametre kojima se može opisati NN mreža (Tabela 1 - kolona levo). Vrednosti parametara su različite u zavisnosti od karakteristika područja na kome je NN mreža izgrađena.

TABELA 1: KARAKTERISTIČNI PARAMETRI PROSEČNE STRUKTURE NN MREŽE U SEVEROISTOČNOJ BOSNI I HERCEGOVINI.

Broj potrošača u trafo-području	~ 150 - 250
Broj izlaza	5
Broj potrošača po izlazu	~ 30 - 50
Dužina mreže po izlazu (m)	~ 500

Na osnovu izvršene analize u severoistočnoj Bosni i Hercegovini za 1813 trafo-područja, koja napajaju korisnike u urbanim, suburbanim i ruralnim područjima, može se zaključiti sledeće: 92% trafo-područja napaja do 150 potrošača, dok u 64% slučajeva napaja do 80 potrošača. Prosečan broj NN izlaza je 3, dok 86% TS ima 4 NN izlaza. 50% NN izlaza ima dužinu do 1100m, dok ih je 16% sa dužinom do 250m, u urbanom području umerene gustine potrošača - korisnika.

Bitno je napomenuti da su potrošači koji se napajaju iz NN mreže potencijalni korisnici ŠPLC servisa, i da nisu u obavezi koristiti ŠPLC servise, ako to ne žele.

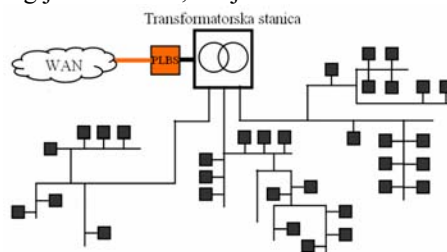
### III. ORGANIZACIJA PLC MREŽA ZA PRISTUP

Topologija PLC mreže za pristup određena je topologijom NN mreže koja se koristi kao medijum za prenos telekomunikacionog saobraćaja. Međutim, organizacija PLC mreže za pristup može biti realizovana na različite načine, u zavisnosti od nekoliko faktora: pozicioniranja PLC bazne stanice (PLBS), načinu segmentiranja mreže itd. U nastavku će se razmotriti nekoliko alternativa u pogledu pozicioniranja PLBS u NN mreži, segmentiranja PLC mreže, korišćenja regeneratorske signala, kao i segmentacija mreže korišćenjem gejtvej uređaja.

#### A. Izbor mesta za instalaciju PLC bazne stanice

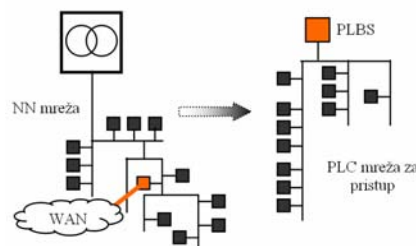
Jedan od osnovnih elemenata PLC mreže je PLBS. PLBS povezuje PLC sistem za pristup sa okosnicom mreže većeg kapaciteta (WAN mrežom), te prema tome zauzima centralno mesto u strukturi PLC mreže. PLBS ne mora biti smeštena u TS. Njena pozicija u PLC mreži za pristup prvenstveno zavisi od mogućnosti njenog povezivanja sa okosnicom mreže. Moguć je izbor između dve alternative u pogledu pozicioniranja PLBS:

- PLBS se može smestiti u TS, gde se realizuje i veza sa WAN mrežom. U ovom slučaju PLC mreža za pristup zadržava topologiju i strukturu NN elektrodistributivne mreže (Sl. 2.);
- PLBS može biti smeštena u objektu korisnika ŠPLC servisa, ako je to mesto pogodno za povezivanje sa WAN mrežom, ili na nekom drugom mestu u mreži, u zavisnosti od područja u kojem se mreža nalazi, odnosno koncentracije i broja korisnika elektrodistributivne i PLC mreže. Na primer, PLBS se može instalirati u kablovskom distributivnom ormaru - KDO. Ukoliko je KDO opremljen komunikacionim kablom namenjenim za realizaciju daljinskog upravljanja i komunikaciju u okviru elektrodistributivnog sistema, preko njega je moguće povezivanje na okosnicu telekomunikacione mreže. U ovom slučaju topologija PLC mreže se razlikuje od topologije NN mreže, što je ilustrovano na Sl. 3.;



Sl. 2. PLC mreža sa PLC baznom stanicom instaliranom u transformatorskoj stanici

Na primer, u suburbanom rezidencijalnom području sa pretežno individualnim stambenim jedinicama pogodno je PLBS instalirati u TS. S druge strane, ukoliko postoji interes za realizacijom mreže u retko naseljenom ruralnom području, pogodnije je PLBS instalirati na nekom od stubova, kako bi se optimizirala rastojanja do korisnika, odakle se veza na okosnicu mreže može realizovati bežičnom tehnologijom.



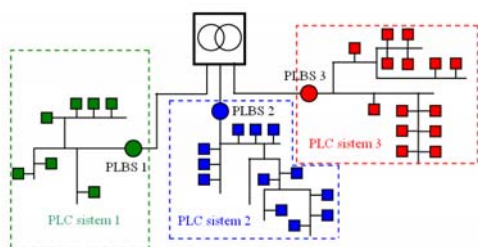
Sl. 3. Različita topologija PLC mreže za pristup i NN mreže, u zavisnosti od pozicije PLC bazne stanice

Pozicioniranjem PLBS van TS, centralna tačka PLC mreže, odnosno tačka povezivanja na okosnicu WAN mreže, pomera se na neko drugo mesto u mreži. S obzirom da se instalacija PLBS vrši na infrastrukturi odabrane NN mreže (sl. 3.), u različitim scenarijima realizacije PLC mreže menja se udaljenost između PLBS i korisnika ŠPLC servisa. Ipak, topologija PLC mreže za pristup ostaje uvek ista, zadržavajući fizičku strukturu stabla.

#### B. Segmentiranje PLC mreže za pristup

U fazi projektovanja PLC mreže za pristup koja će se realizovati na odabranom trafo-području važno je poznavati broj korisnika ŠPLC servisa u početnoj fazi

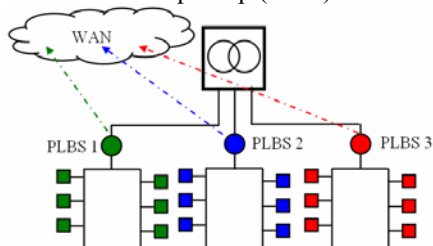
implementacije PLC mreže. Ukoliko je broj zainteresovanih korisnika relativno mali, PLC sistem se može realizovati na čitavoj NN mreži trafo-područja, uz optimalno pozicioniranje PLBS. Kako broj korisnika ŠPLC servisa bude rastao, u cilju smanjenja dužine mreže i broja korisnika koji dele kapacitet transmissionog medijuma, pogodno je podeliti NN mrežu na optimalan broj segmenata. Prikladna je podela mreže po NN izlazima iz TS. Na svakom segmentu NN mreže realizuje se poseban PLC sistem. Na sl. 4. je ilustrovano moguće segmentiranje NN mreže koju čine tri NN izlaza iz transformatorske stanice. U svakom od segmenata instalira se po jedna PLBS na koju se povezuju korisnici u okviru tog dela NN mreže. Zbog manjeg broja potencijalnih korisnika po segmentima mreže u odnosu na celu PLC mrežu, transmissioni kapacitet se deli na manji broj PLC korisnika.



Sl. 4. Segmentiranje mreže po NN izlazima, realizacija PLC podсистema na svakom od segmenata

Segmentiranje PLC mreže za pristup doprinosi smanjenju dužine mreže po segmentu, što je važno sa aspekta elektromagnetne kompatibilnosti sa uređajima ostalih korisnika frekvencijskog spektra, jer omogućuje smanjenje predajne snage signala koji se prenosi u PLC mreži. Može se zaključiti da i PLC podsystemi u okviru NN mreže takođe zadržavaju fizičku topologiju stabla.

Svaka od PLBS kojima je izvršena podela mreže na segmente (PLC podsysteme) može biti zasebno povezana na okosnicu telekomunikacione mreže, formirajući nezavisne PLC mreže za pristup (Sl. 5.).



Sl. 5. Realizacija više nezavisnih PLC mreža za pristup na infrastrukturi jednog trafo-područja

Druga mogućnost je realizacija hijerarhijske PLC mreže za pristup. U ovom slučaju se PLBS koje kontrolišu komunikaciju po segmentima PLC mreže povezuju sa okosnicom telekomunikacione mreže preko centralne bazne stanice (PLBS 0), koja se instalira u TS.

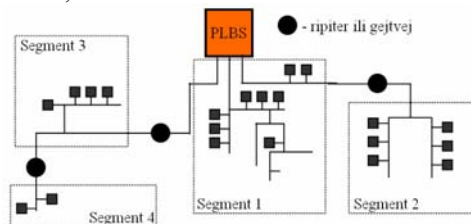
Za komunikaciju PLBS nižeg hijerarhijskog nivoa sa PLBS višeg hijerarhijskog nivoa, odnosno centralnom PLBS, PLC baznim stanicama se mogu dodeliti zasebni vremenski slotovi, ili se za ovu komunikaciju može rezervisati poseban frekvencijski spektar za svaku PLBS. U oba slučaja dolazi do smanjenja dostupnog kapaciteta

mreže. Iz tog razloga realizacija hijerarhijskih PLC mreža za pristup se ne preporučuje.

### C. Upotreba regeneratora i gejtveja u PLC mreži

Pri prostiranju signala kroz elektroenergetski vod dolazi do slabljenja, koje direktno zavisi od rastojanja i frekvencije signala. Udaljenosti na koje je moguće preneti signal u PLC mrežama za pristup, uz obezbeđenje zadovoljavajućeg bitskog protoka, zavisi od emitovane snage predajnika. S druge strane, povećanje emitovane snage signala za posledicu ima jače elektromagnetsko zračenje u okruženje PLC sistema. Da bi se realizovala PLC mreža za pristup koja omogućuje realizaciju bitskih protoka koji mogu podržati širokopojasne servise, i prenos signala na većim rastojanjima sa aspekta NN mreže, neophodno je korišćenje regeneratora signala (ripitera).

Na taj način, na sl. 6., PLC korisnici iz udaljenih delova PLC mreže komuniciraju sa PLBS preko regeneratora koji primljeni signal pojačavaju i re-emituju u drugi segment mreže. Regeneratori omogućuju dvosmernu komunikaciju, i u susednim segmentima mreže koriste ili različite frekvencije, ili različite vremenske slotove. Ako je neophodno, za realizaciju jako velikih rastojanja, koja su najčešća u ruralnim područjima, korisnici se mogu povezati sa baznom stanicom preko više regeneratora. Da bi se ostvarile dobre performanse u PLC sistemu, rastojanja između regeneratora, odnosno mrežnih stanica i regeneratora, ne bi trebalo da budu veća od 100 m [6].



Sl. 6. Segmentiranje PLC mreže za pristup upotrebom regeneratora ili gejtveja

S obzirom da je funkcija regeneratora prosleđivanje toka podataka između susednih segmenata mreže, bez razdvajanja mreže na logičkom nivou, može se zaključiti da PLC mreža za pristup u kojoj se koriste regeneratori takođe zadržava fizičku topologiju stabla.

Logička komunikacija kod PLC mreža za pristup se realizuje kao bus mreža, koja povezuje mrežne stanice na okosnicu mreže preko PLBS, pri čemu svi korisnici dele kapacitet transmissionog medijuma [7].

Mrežna stanica se obično smešta uz brojilo potrošnje električne energije u objektu korisnika, i sa aspekta PLBS u pristupnoj mreži predstavlja korisnički uređaj (CPE). Ukoliko je u objektu korisnika realizovana i PLC LAN mreža, tada se uz brojilo instalira gejtvej koji kontrolišu komunikaciju između PLC modema i PLBS. Gejtvej ima dvostruku ulogu: ulogu PLC korisnika sa aspekta mreže za pristup i ulogu PLBS sa aspekta PLC LAN mreže. Brojilo je tačka gde je jednostavno komunikaciono povezati naponske provodnike sve tri faze, čime se obezbeđuje PLC pristup u svakoj tački unutrašnje električne instalacije. PLC modem se priključuje na električnu instalacionu utičnicu, dok sa korisničke strane može imati različite vrste interfejsa (*Ethernet*, *USB*, i sl.), u zavisnosti



od namene PLC modema. U predajniku PLC modema je integrisan kapacitivni kapler čiji je zadatak elektromagnetno sprezanje telekomunikacionog signala na energetski vod.

Korišćenje PLC gejtveja u PLC mreži za pristup (NN mreži) omogućuje ne samo regeneraciju signala i njegovo prosljeđivanje u susjedni segment mreže, već i kontrolu PLC modema koji se nalaze u segmentu mreže koji je podređen PLC gejtveju (gejtvej ima ulogu lokalne PLBS). Na ovaj se način vrši segmentiranje PLC mreže, gde je za svaki segment odgovoran PLC gejtvej koji se nalazi između PLBS i tog dela PLC mreže. I u ovom slučaju, svaki segment takođe ima fizičku topologiju stabla, kao što je to slučaj i kod realizacije mreže sa nekoliko PLC sistema u okviru jedne NN mreže. Topologija ovakvog segmenta može biti i tipa zvezde. To je slučaj ukoliko je izvršeno segmentiranje mreže instaliranjem PLC gejtveja npr. u centralnom mernom ormaru sa brojilima, u zgradi sa velikom koncentracijom korisnika.

U opštem slučaju, PLC mreža za pristup može se segmentirati primenom određenog broja regeneratora i gejtveja. Ono što ograničava realizaciju većeg broja mrežnih segmenata u okviru PLC mreže za pristup je interferencija između susjednih segmenata. Zbog toga se mora koristiti širi frekvencijski spektar koji se deli između mrežnih segmenata, što vodi smanjenju ukupnog kapaciteta mreže (kao što je slučaj u NN mreži na kojoj se realizuje više PLC sistema za pristup).

Instaliranje regeneratora i gejtveja uvećava troškove realizacije PLC mreže. Ovi troškovi se mogu izbeći ukoliko neki od PLC modema, optimalno raspoređenih u mreži preuzmu njihovu funkciju. U krajnjem slučaju, svaki PLC modem može vršiti i funkciju regeneratora, deleći PLC mrežu na veoma kratke mrežne segmente, koji značajno smanjuju potrebnu emisionu snagu signala i elektromagnetno zračenje. Ovakvo ekstremno rešenje je svojevremeno predlagao alternativni telekomunikacioni operator *ONELINE*, u Nemačkoj [6]. Svakako, PLC modemi sa funkcijom regeneratora su složeniji, i njihova primena u PLC mreži zahteva složen sistem upravljanja koji bi omogućio optimalno dodeljivanje frekvencija ili vremenskih slotova u okviru PLC mreže. Pored toga, regeneratori uzrokuju dodatno propagaciono kašnjenje zbog vremena koje je potrebno za konverziju i regeneraciju signala. Iz ovih razloga se može očekivati da ukupan broj regeneratora, odnosno gejtveja, koji će se primenjivati u PLC mreži za pristup, bude ograničen.

S obzirom na topologiju i strukturu NN mreža u BiH, a imajući u vidu rezultate relevantnih projekata koji su sprovedeni u EU, u najvećem broju slučajeva PLBS će se instalirati u TS. Izuzeci bi se mogli pojaviti u ruralnim područjima, gde su NN vodovi veoma dugački. Ukoliko bi, u ovim područjima, opredeljenje za povezivanje sa okosnicom mreže bila bežična tehnologija, PLBS bi se mogle pozicionirati van TS, kako bi se optimizovala upotreba ripitera i rastojanja koja će se realizovati PLC tehnologijom.

#### IV. ZAKLJUČAK

Fizička topologija PLC mreže za pristup direktno zavisi od topologije NN mreže na čijoj infrastrukturi je realizovana. Mesto instalacije PLBS u PLC mreži za pristup ne menja fizičku strukturu mreže, topologiju stabla. Logički, PLC mreža je realizovana kao *bus* topologija. Kako bi se do kraja sagledale mogućnosti primene PLC tehnologije u mrežama za pristup koje bi se realizovale na elektrodistributivnoj infrastrukturi elektroprivreda u regionu, potrebno je ispitati i uticaj karakteristika različitih vrsta i tipova vodova na PLC komunikaciju. Takođe, potrebno je detaljno definisati različite klase PLC ćelija i njihove karakteristike, kako bi se izvršila kvalitetna tehno-ekonomska analiza, čiji bi se rezultati koristili za određivanje zahteva za protocima u okviru definisanih PLC ćelija, i modela tarifiranja širokopojasnih PLC servisa.

#### LITERATURA

- [1] Dostupno na: <http://www.ds2.es>
- [2] I. Vujičić, N. Gospić, "Pružanje širokopojasnih usluga preko energetskih vodova", XII Telekomunikacioni Forum - TELFOR 2004, Sekcija 1, rad 1.10, Beograd, novembar 2004. Dostupno na: <http://www.telfor.org.yu>
- [3] I. Vujičić, N. Rajaković, "Prenos informacija energetskim vodovima – potencijal za diversifikaciju servisa elektroprivrede", Zbornik radova sa 27. savetovanja JUKO-CIGRE, Knjiga 2, R B2-01, Zlatibor, maj 2005.
- [4] I. Vujičić, N. Gospić, "Communication Performances of Power-line Channel", *Electronics*, vol. 9, No. 1, pages 46-50, *YU ISSN 1450-5843*, October 2005.
- [5] I. Vujičić, N. Gospić, N. Rajaković: "Structuring of Electricity Distributive Lines for Transmission of Broadband Telecommunication Signals", Zbornik radova - Telsiks 2007, Niš, septembar 2007.
- [6] Group of authors: "Report on presenting the architecture of PLC system, the electricity network topologies, the operating modes and the equipment over which access PLC system will be installed", *Deliverable D44*, OPERA.IST Integrated Project No. 507667, Funded by EC, 2005. Dostupno na: <http://www.ist-opera.org/opera1>
- [7] H. Hrasnica, A. Haidine, R. Lehnert: "Broadband Powerline Communications – Network Design", *John Wiley & Sons Ltd*, England, 2004.

#### ABSTRACT

Relationship between Low Voltage Power Distribution Network topology and topology of broadband PLC access networks, realized over its infrastructure, is presented. In the paper topology of LVDPN in north-east of B&H is analyzed. Based on that, several options of positioning of PLC Base station are proposed and their impact on broadband PLC access network structure and traffic flow is discussed. Use of repeaters and gateways are analyzed as well. The main aim of the paper is to prove that broadband PLC access networks will be one of the means to resolve "last mile" problem.

#### TOPOLOGY OF BROADBAND PLC NETWORKS REALIZED OVER LOW VOLTAGE POWER DISTRIBUTION LINES

Igor Vujičić, Nataša Gospić, Nikola Rajaković