

# Standardi za uskopojasnu komunikaciju preko elektroenergetske mreže – NB-PLC

Aljoša Petojević  
Smart Digital  
Novi Sad, Srbija  
aljosa.petojevic@gmail.com

Dejan Nemeć  
Departman za energetiku, elektroniku i telekomunikacije  
Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu  
Novi Sad, Srbija  
denem@uns.ac.rs

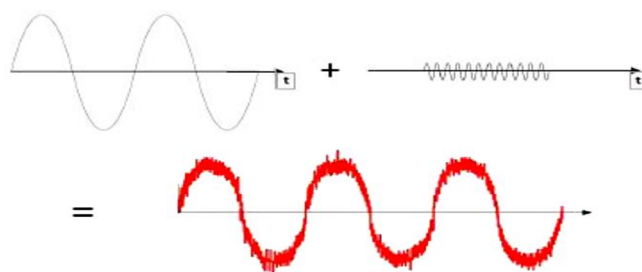
**Sažetak** – Prenos podataka preko elektroenergetske mreže (PLC) danas se koristi u različite svrhe. Sve češće se pojavljuje kao tehnologija koja omogućava komunikaciju računara u domovima, gde menja Ethernet ili Wi-Fi. U industrijskim sistemima u konceptu *Smart Grid* igra veoma značajnu ulogu, jer omogućava povezivanje električnih brojlara koja šalju podatke ka centru za obradu podataka u cilju uštede električne energije. Postoji više klasa PLC sistema, a ovaj rad se bavi standardima za uskopojasni prenos podataka preko elektroenergetske mreže (NB-PLC). Prikazane su karakteristike PRIME, G3-PLC i IEEE P1901.2 standarda i njihove osnovne razlike.

**Ključne riječi** – PLC; NB; PRIME; G3-PLC; IEEE P1901.2; energetska mreža.

## I. UVOD

PLC (*Power Line Communication*) predstavlja telekomunikacionu tehnologiju koja omogućava prenos podataka preko elektroenergetske mreže. Ova tehnologija omogućava da električni uređaji opremljeni PLC tehnologijom istovremeno mogu slati i primati podatke kroz kablove za napajanje. Postoji više različitih arhitektura koje rade na različitim frekventnim opsezima i sa različitim brzinama prenosa podataka, od 100 bit/s do 2 Gbit/s. I ove niske brzine imaju značajnu primenu u praksi, recimo prilikom povezivanja električnih brojlara koja imaju potrebu za pravovremenom razmenom veoma male količine podataka. PLC tehnologija se može koristiti u različitim scenarijima gde postoji potreba za prenosom podataka: u distributivnim elektroenergetskim mrežama (*smart grid*), objektima (npr. HAN – *Home Access Network*), vozilima, plovilima, avionima [1].

PLC signal podataka se generiše kao diferencijalni napon između dva provodnika koji se propagira između predajne strane ka prijemnoj. Kao i ostale telekomunikacione tehnologije koje koriste žičani medijum za prenos, podaci koji se šalju preko PLC-a modulišu se i injektiraju u medijum za prenos, a prijemna strana te podatke demoduliše kako bi ih reprodukovala u izvornom obliku. U medijumu postoji signal koji obezbeđuje električnu energiju i signal koji prenosi podatke. Sl. 1 prikazuje princip formiranja signala u medijumu za prenos [1].



Slika 1. Integracija frekvencija mrežnog napona sa PLC signalom [1]

Postoji mnogo tipova PLC sistema koji funkcionišu na raznim frekvencijama, te se tako PLC može podeliti na tri klase:

- UNB-PLC (*Ultra NarrowBand PLC*)
- NB-PLC (*NarrowBand PLC*)
- BB-PLC (*BroadBand PLC*)

Tačan spektar koji PLC koristi zavisi od države ili kontinenta gde se koristi. Za teritoriju Evropske Unije za definisanje frekventnih opsega nadležan je CENELEC (*European Committee for Electrotechnical Standardization*), za Sjedinjene Američke Države FCC (*Federal Communications Commission*), EPRI (*Electric Power Research Institute*) za Kinu i ARIB (*Association of Radio Industries and Businesses*) za Japan. Tab. I prikazuje osnovne karakteristike različitih klasa PLC-a.

TABELA I. KLASA PLC SISTEMA [2]–[4]

PLC klasa	Frekvencijski opseg	Brzina	Domet	Primena	Standard
UNB-PLC	0,3-3 kHz	~100 kbit/s	>150 km	„posl. milja“	TWACS
NB-PLC	3-500 kHz	~500 kbit/s	više km	„posl. milja“	PRIME, G3, ITU-T G.hnem, IEEE P1901.2
BB-PLC	1,8-250 MHz	~500 Mbit/s	<1500 m	HAN	PRIME, G3, ITU-T G.hnem, IEEE P1901.2
UltraBB-PLC	2-20 GHz	~1 Gbit/s	NA	HAN	NA

Nadležne internacionalne i nacionalne regulatorne organizacije su prilagodile ili su u fazi prilagođavanja PLC regulativnih standarda i tehnologija sa fokusom na protoke unutar predefinisanih frekvencija i propusnih opsega, tipova modulacija, načina kodovanja i elektromagnetnih ograničenja.

Ovaj rad daje pregled standarda i tehnika koje se koriste u NB-PLC. Cilj rada je da se navedu osnovne karakteristike i objasne glavne razlike ovih standarda.

## II. NB-PLC KARAKTERISTIKE I STANDARDI

NB-PLC funkcioniše na nižim frekvencijama (3-500 kHz), sa nižim brzinama prenosa podataka do 500 kbit/s i sa dometom od nekoliko kilometara koji se može povećavati regeneratorima i pojačavačima signala. Postoji dosta sistema koji rade u ovom propusnom opsegu ali među značajnijim treba izdvojiti tri specifikacije:

- PRIME
- G3-PLC
- IEEE P1901.2

ITU-T preporuke G.9955 i G.9965 iz 2011. god. predstavljaju prve internacionalne standarde koje su sebi sadrže specifikacije fizičkog i nivoa podataka tri NB-PLC tehnologije: G.hnem, PRIME i G3-PLC [5].

Različiti regioni u svetu koriste i različite frekvencije, što je uslovljeno prvenstveno elektroenergetskim mrežnim infrastrukturama i sistemima napajanja objekata. Tab. II prikazuje koji su frekventni opsezi dozvoljeni i koja regulatorna tela nadgledaju korišćenje NB-PLC po regionima.

TABELA II. REGULISANI FREKVENTNI OPSEZI ZA NB-PLC [6]

Region	Regulatorno telo	Frekventni opseg	Korisnik
Evropa	CENELEC	3-95 kHz	A – Distributeri električne energije
Evropa	CENELEC	95-125 kHz	B – Korisnički band
Evropa	CENELEC	125-140 kHz	C – Korisnički band i CSMA regulisani pristup
Evropa	CENELEC	140-148,5 kHz	D – Korisnički band
Japan	ARIB	10-450 kHz	Neregulisano
Kina	EPRI	3-90 kHz	Neregulisano
Kina	EPRI	3-500 kHz	Neregulisano
SAD	FCC	10-535 kHz	Neregulisano

PLC tehnologija prenosa koristi razne tipove modulacija, a neke od njih su standardne modulacione tehnike koje koriste i neke druge telekomunikacione tehnologije, kao što su:

- OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)
- BPSK (*Binary Phase Shift Keying*)
- FSK (*Frequency Shift Keying*)
- S-FSK (*Spread-Frequency Shift Keying*)
- DCSK (*Differential Code Shift Keying*) „vlasnička“ modulaciona tehnika Yitran.

Tab. III prikazuje odnose kvalitet/cena između modulacionih tehnika koje se koriste u PLC-u. Jasno se vidi da OFDM nudi najveće i najbolje performanse prenosa podataka, ali ova tehnika zahteva veoma veliku procesorsku snagu što

povećava cenu. BPSK i FSK sa druge strane su pouzdani i jednostavniji te ne zahtevaju veliku procesorsku snagu ali sa mnogo manjim sposobnostima prenosa podataka. Trend je pomeranje ka OFDM sa PSK (*Phase Shift Keying*), koji bi se koristio u G3 i verovatno IEEE P1901.2 standardima.

TABELA III. EFIKASNOST MODULACIONIH TEHIKA U PLC-U [6]

Modulaciona tehnika	Efikasnost prenosa podataka	Cena
BPSK	Srednja	Niska
FSK	Srednja	Niska
S-FSK	Mala	Srednja
OFDM	Visoka	Visoka

Postoje razni standardi u PLC tehnologiji (Tab. IV) koji omogućavaju stabilnu i pouzdanu komunikaciju sa različitim mogućnostima, a posebno u SG-u (*Smart-Grid*) i HN (*Home Networking*).

Frekventni opsezi ovih standarda usklađeni su sa smernicama CENELEC, FCC, ARIB i HomePlug Powerline Alliance. Ako se usvoji svetski PLC standard ovakvo stanje može biti pozitivno za opšte prihvatanje PLC-a. Najbolje prihvaćeni standardi su PRIME, G3-PLC i IEEE P1901.2 i trenutno se radi na prihvatanju ovih standarda na globalnom nivou.

TABELA IV. NB-PLC STANDARDI I KARAKTERISTIKE [6]

Standard	Tehnologija	Frekventni opseg	Propusna moć
G3-PLC	OFDM	36-90,6 kHz	5,6-45 kbit/s
PRIME	OFDM	42-89 kHz	21,4-128,6 kbit/s
IEEE P1901.2	OFDM	9-500 kHz	do 500 kbit/s
ANSI/EIA 709.1,2	BPSK	86-131 kHz	3,6-5,4 kbit/s
KNX	S-FSK	125-140 kHz	1,2 kbit/s
IEC 61334	S-FSK	CENELEC-A	2,4 kbit/s

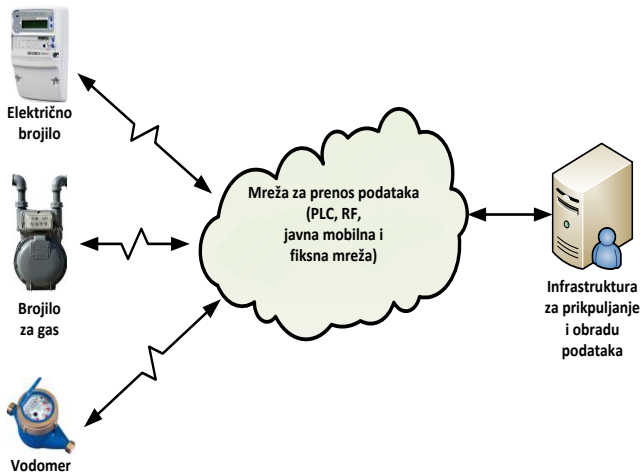
## III. PRIME STANDARD

PRIME (*PowerLine Intelligent Metering Evolution*) je specifikacija NB-PLC, koju je izradila PRIME Alliance za *Smart Grid*, industrijsku i naučnu komunikaciju po standardu ITU G.9904 (*International Telecommunication Union*). PRIME je smišljen 2007. godine, a prve publikacije vezane za PRIME standard objavljene su 2008. godine. Najpopularnija upotreba PRIME proizvoda je u domenu AMI (*Advanced Metering Infrastructure*) sa milionskim brojem prodatih uređaja. AMI je sistem merenja i prikupljanja podataka. AMI sistem uključuje merače potrošnje na strani korisnika (npr. *smart* brojlara), komunikacione mreže i pružatelje usluga kao što su elektrodistribucija, vodovod, distributeri gasa ili sisteme za prijem podataka i sisteme održavanja koji te informacije prosleđuje pružaocima usluga (Sl. 2) [7].

*Smart* brojlara prikupljene podatke šalju kroz poznate sisteme komunikacija kao što su PLC, fiksne radio mreže ili preko javnih mreža (mobilna telefonija, fiksna telefonija itd.), a podaci se prikupljaju u koncentratorima koji dalje komuniciraju sa pružaocima usluga koji skladište te podatke radi obrade i izdavanja računa korisnicima.

PRIME specifikacija definiše sledeće nivoe [8]:

- fizički nivo (*physical layer*),
- MAC nivo (*Media Access Control*) i
- nivo konvergencije (*convergence layer*).



Slika 2. Ilustracija AMI sistema

#### A. PRIME Fizički nivo

Distributivne mreže su sastavljene od različitih tipova provodnika koji su na svojim krajevima priključeni u razne tipove električnih uređaja, sa različitim impedansama koje vremenom variraju. Takve varijabilne karakteristike utiču na prenos podataka. PRIME na fizičkom nivou koristi OFDM i DPSK (*Differential Phase Shift Keying*) modulacione tehnike, kao i konvoluciono kodovanje, skremblovanje i interliving.

PRIME kada koristi frekvencije iz CENELEC A opsega ima mogućnost prenosa podataka od 5,4 do 128,6 kbit/s. Verzijom 1.4 specificiran je protok uvećan za osam puta korišćenjem frekvencija do 471 kHz.

#### B. PRIME MAC nivo

MAC nivo kontroliše pristup medijumu za prenos. U PRIME pod mreži postoje dva tipa uređaja:

- osnovni čvor i
- servisni čvor.

Osnovni čvor upravlja pod mrežnim resursima i konekcijama. Svi ostali koji nisu uređaji osnovnog čvora, jesu servisni čvorovi. Servisni čvorovi se registruju preko osnovnog čvora kako bi postali delovi pod mreže. PRIME topologija neke pod mreže je u formi stabla sa osnovnim čvorom kao *trunk*-om. Za proširenje pod mreže, osnovni čvor može iz stanja terminalnog čvora prekonfigurisati funkciju servisnog čvora u prenosni (*switch*) mod, pretvarajući ih u tačke koje mogu dalje konektovati servisne čvorove na sebe. Naponski vodovi su deljeni komunikacioni mediji kroz koje osnovni čvorovi i svičevi objavljuju svoje prisustvo putem *beacon* poruka emitovanih u tačno određenim intervalima. Ove *beacon* poruke obezbeđuju vremensku sinhronizaciju u pod mreži, tako da je vreme podeljeno na SCP (*Shared Contention Period*) i CFP (*Contention Free Period*). U toku SCP perioda čvorovi mogu

pristupiti kanalu putem protokola CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance*), a u toku CFP perioda pristup kanalu obezbeđuje osnovni čvor.

Za korigovanje prezauzetosti kanala PRIME koristi dinamičko dodeljivanje adresa servisnim čvorovima u pod mreži. Osnovni čvor i servisni čvorovi održavaju konekciju međusobno razmenjujući *keep alive* poruke. PRIME MAC nivo uključuje i kontrolne mehanizme za otvaranje i zatvaranje konekcija tipa *unicast*, *multicast* i *broadcast*. Kako bi obezbedio stabilnu konekciju između dva konektovana uređaja, PRIME koristi *Selective Repeat ARQ* (*Automatic Repeat- reQuest*).

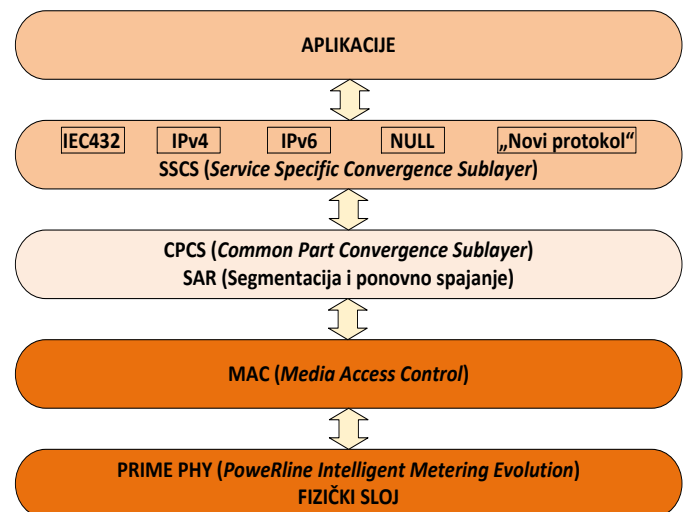
Na MAC nivou PRIME specificira kriptovanje paketa sa AES-CCM (*Advanced Encryption Standard – Counter with CBC-MAC*) koji koristi 128-bitni ključ i mehanizam izvođenja ključeva preporučen od strane NIST-a (*National Institute of Standards and Technology*).

#### C. PRIME nivo konvergencije

PRIME konvergentni nivo je podeljen na CPCS (*Common Part Convergence Sublayer*) i na SSCS (*Service Specific Convergence Sublayer*). CPCS obezbeđuje mehanizam za segmentaciju i ponovno spajanje SSCS (Sl. 3). PRIME u ovom momentu specificira četiri SSCS:

- IPv4 (*Internet Protocol, version 4*) SSCS,
- IPv6 (*Internet Protocol, version 6*) SSCS,
- NULL SSCS, transparentni SSCS za uređivanje čvorova i prilagođenu upotrebu,
- IEC 61334-4-32 (*International Electrotechnical Commission*) SSCS za upotrebu sa DLMS/COSEM (*Automatic Meter Reading* slični sistemi). DLMS (*Device Language Message Specification*) je generalizovani koncept za apstraktno modeliranje komunikacionih entiteta, a COSEM (*Companion Specification for Energy Metering*) postavlja pravila, bazirana na postojećim standardima.

Pored postojećih SSCS, PRIME ima mogućnost da specificira i nove protokole u SSCS nivou konvergencije.



Slika 3. PLC nivoi [9]

#### IV. G3-PLC STANDARD

G3-PLC je stvoren kao *open* standard koristan za *Smart Grid* koncept. Razvijan od strane Maxim-a i Enedis (nekadašnji ErDF – *Electricité Réseau Distribution France*), G3-PLC danas služi kao bazna tehnologija za definisanje standarda kao što su IEEE P1901.2, ITU G.hnem/G.9955, IEC/CENELEC i IEC/ISO. Jedan od projekata baziran na G3-PLC standardu je pametno brojilo Linky koji je izradio Enedis. G3-PLC Alliance je konzorcijum koji je oformljen 2011. godine sa ciljem da promovira ovaj standard kao globalni. Preko sedamdeset članica širom sveta pristupilo je G3-PLC Alliance. Putem članstva u alijansi svi članovi dele svoja iskustva i saznanja. Članice alijanse su iz različitih oblasti – proizvođači opreme, proizvođači elektronskih komponenti, sistem integratori, IT prodavci, *automotive* kompanije kao i kompanije za distribuciju električne energije.

U nadolazećim godinama izvori obnovljive energije, *Smart Grid* i električna vozila će imati veoma važnu ulogu u stvaranju boljeg i kvalitetnijeg načina života u našem društvu. Stvaranjem efikasne, jeftinije, izdržljive, sigurne i nadograđive komunikacione tehnologije, prilagođene za *Smart Grid*, G3-PLC se nametnuo kao jedno od dobrih rešenja. G3-PLC je kompatibilan sa svim poznatim vrstama elektroenergetskih mreža implementiranih širom sveta i ne predstavljaju mu problem i starije mreže koje postoje (Sl. 4).

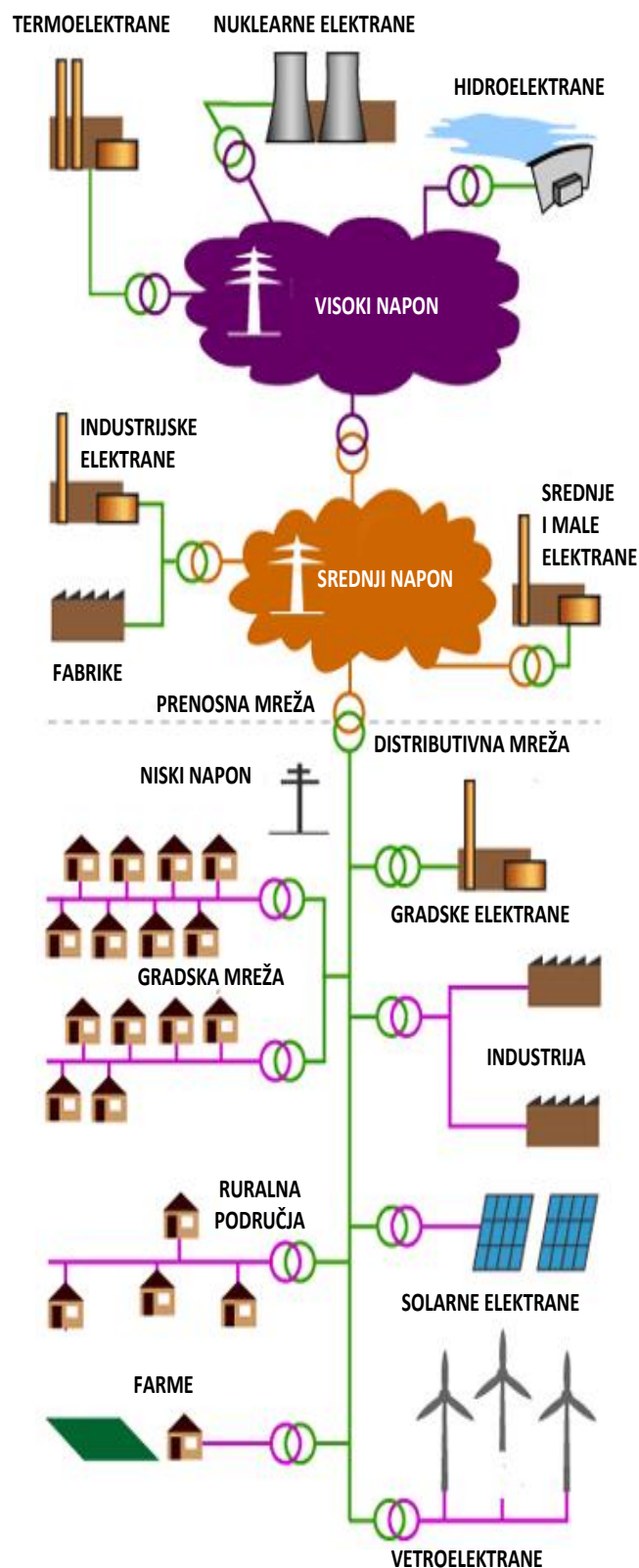
Karakteristike G3-PLC tehnologije su mnogobrojne, ali mogu se izdvojiti kao značajne:

- komunikacija u realnom vremenu,
- visok nivo mehanizma zaštite,
- veoma velika izdržljivost,
- velike brzine prenosa podataka,
- bidirekciona komunikacija,
- *plug&play* mogućnosti.

G3-PLC tehnologija je osmišljena za aplikacije koje su interesantne za:

- *smart metering*,
- uličnu javnu rasvetu,
- *Smart Grid* menadžment,
- *Home Energy* menadžment,
- kontrolu i regulaciju punjenja i pražnjenja električnih vozila,
- *Smart Cities*.

G3-PLC je dizajniran da podrži sadašnje i buduće mrežne aplikacione potrebe. Kao jedini CENELEC/FCC PLC standard čiji proizvođači podržavaju IPv6 adresiranje, G3-PLC potencijalno može uštedeti ogromne količine novca gledajući sa aspekta kupovine nove mrežne opreme. Sl. 5 prikazuje G3-PLC protokol stek, s tim što se G3-PLC odnosi na prva dva OSI nivoa (fizički i nivo podataka).



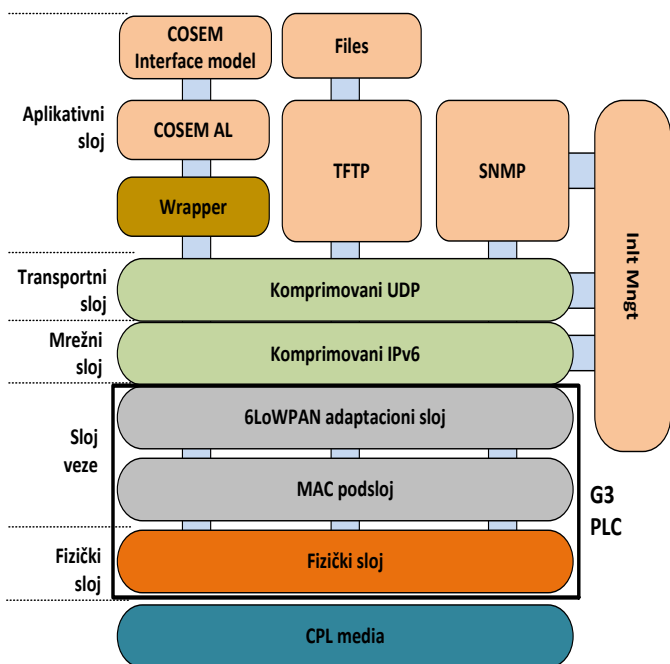
Slika 4. Različiti sistemi za proizvodnju električne energije [10]



Standardi koji se odnose na G3-PLC jesu:

- IEEE P1901.2— zagarantovana interoperabilnost sa G3-PLC,
- ITU G.hnem annex G.9955,
- IEC/CENELEC T13,
- ISO/SAE vodeća tehnologija za komunikaciju električno vozilo-punjač.

- AES-128 kriptografski mehanizam za optimalnu sigurnost podataka.
- Koegzistencija sa starijim S-FSK (IEC 61334) i širokopojasnim IEEE P1901 i ITU G.hn standardima.
- Podržava IPv6 da omogući pristup sistemima i aplikacijama za upravljanje električnom energijom zasnovanim na Internetu.



Slika 5. G3-PLC protokol stek [11]

Specifičnosti G3-PLC tehnologije jesu:

- G3-PLC u cilju efikasnijeg iskorišćavanja kanala koristi OFDM tehniku na fizičkom nivou i modulacije BPSK, QPSK, 8PSK.
- Kompatibilan je sa regulativama CENELEC, ARIB, and FCC (10-490 kHz).
- Baziran na standardima u IEEE, ITU, IEC/CENELEC i IEC/SAE.
- Dvonivovsko FEC (*Forward Error Correction*) kodovanje za ispravljanje greške za robusni prenos podataka na kritičnim kanalima.
- Adaptivno tonsko mapiranje za optimalnu iskorišćenost propusnog opsega.
- Procena kanala za odabir optimalne šeme modulacije između susednih čvorova. „Robustan“ režim za poboljšanje komunikacije pod uslovima kada je prisutan veliki šum u kanalu.
- MAC nivo je zasnovan na IEEE 802.15.4 koji odgovara malim brzinama prenosa podataka.
- 6LoWPAN (*IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks*) adaptacioni nivo za prenošenje IPv6 paketa preko mrežnih kanala.

TABELA V. FREKVENCIJE I BROJ OFDM NOSILACA U G3-PLC [11]

Prema planu	Frekventni opseg (kHz)	Broj OFDM nosioca
CENELEC-A	35,9375-90-625	36
CENELEC-B	98,4375-121,875	16
FCC	154,6875-487,5	72
ARIB	154,6875-403,125	54

## V. IEEE P1901.2 STANDARD

IEEE P1901.2 standard specificira komunikacije u NB-PLC ispod 500 kHz. Podržava kako *indoor* tako i *outdoor* komunikacije preko niskonaponske mreže između trafostanica i električnog brojila ispod 1000 V, kroz transformatore sa niskonaponske na srednjenaponske mreže napona od 1000 V do 72 kV i između transformatora srednjenaponske na niskonaponsku mrežu, kako u urbanim sredinama tako i u ruralnim sredinama udaljenih više desetina kilometara. Ovaj standard je namenjen za primenu komunikacije sa električnim brojlama i distributera električne energije, električnih vozila sa stanicama za punjenje baterija električnih vozila, za razne HAN komunikacione scenarije. Javna rasveta i solarni paneli su takođe potencijalni korisnici ovog standarda.

IEEE P1901.2 standard je dizajniran za primenu na većini električnih brojila raznih globalnih proizvođača, opremi za srednje i niske napone, opremi u automobilske industriji za PEV (*Plug-in Electric Vehicles*) i PHEV (*Plug in Hybrid Electric Vehicle*), EVSE (*Electric Vehicle Supply Equipment*), opremi rasvetnih tela i kućnih električnih aparata [12].

IEEE P1901.2 je kompatibilan i interoperabilan sa PRIME i G3-PLC OFDM tehnologijama.

## VI. ZAKLJUČAK

Postoji više specifikacija protokola koji se odnose na NB-PLC i one su svrstane u različite standarde. NB-PLC sistemi rade na frekventnom opsegu od 3 kHz do 500 kHz, sa mogućnošću prenosa do 500 kbit/s. Koriste se uglavnom za kontrolne, komandne i *Smart Grid* aplikacije, gde je akcenat stavljen na stabilnost i pouzdanost u odnosu na brzinu prenesenih podataka. *Smart Grid* aplikacije su jedan od primera rastućeg koncepta IoT (*Internet of Things*) u kojem se gotovo svaki zamišljeni entitet može opremiti jedinstvenim identifikatorom UID (*Unique Identifier*) i kapacitetom za komunikaciju preko mreže. NB-PLC se koriste za komunikaciju uređaja koji se koriste prilikom proizvodnje i distribucije električne energije (električna brojila, trafo stanice i slično), a sve u cilju veće efikasnosti i većih ušteda.

## LITERATURA

- [1] Aljoša Petojević, Dejan Nemeč, "PLC (Power Line Communication) – perspektiva, pravni okvir i način funkcionisanja", 17. Međunarodni simpozijum INFOTEH-JAHORINA, 21-23 Mart 2018.
- [2] H. C. Ferreira, L. Lampe, J. Newbury, T. G. Swart, "Power Line Communications – Theory and Applications for Narrowband and Broadband Communications over Power Line", John Wiley & Sons Ltd, 2010.
- [3] Markus Rindchen: "An Overview on Global Powerline Standards and European EMC Certification", Ninth Workshop On Power Line Communications, Klagenfurt, 2015
- [4] Broadband over power lines, Wikipedia, [https://en.wikipedia.org/wiki/Broadband\\_over\\_power\\_lines#cite\\_note-21](https://en.wikipedia.org/wiki/Broadband_over_power_lines#cite_note-21), Januar 2019.
- [5] Stefano Galli, Thierry Lys, "Next Generation Narrowband (Under 500 kHz) Power Line Communications (PLC) Standards", China Communications, Vol. 12, Issue: 3, IEEE Communication Society, China Institute of Communications, March 2015.
- [6] Web pages, "What is Power Line Communication", by Cypress Semiconductor, 2011, [https://www.eetimes.com/document.asp?doc\\_id=1279014](https://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1279014), Decembar 2018.
- [7] White paper, "Advanced Metering Infrastructure and Customer Systems – Results from the Smart Grid Investment Grant Program", U. S. Department of Energy, September 2016.
- [8] PRIME Alliance Technical Working Group, "PRIME v1.4 White Paper", PRIME Alliance, 2015.
- [9] On-line help, "PLC Version 5.4", Perytons Network Visibility, March 2013, <http://www.perytons.com/help/PerytonsPLC54help/index.htm#!Documents/supportedlayers.htm>, Decembar 2018.
- [10] G3-PLC Alliance, "G3-PLC Overview", 2016, <http://www.g3-plc.com/what-is-g3-plc/g3-plc-overview/>, Decembar 2018.
- [11] Technical overview of G3-PLC, G3-PLC Alliance, April 2017, <https://www.trialog.com/en/technical-overview-of-g3-plc/>, Decembar 2018.
- [12] J. LeClare, A. Niktash, V. Levi, "An Overview, History, and Formation of IEEE P1901.2 for Narrowband OFDM PLC", Maxim Integrated Products, Inc, 2013. <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/5676>, Decembar 2018.

## ABSTRACT

Data transmission with power line communication is used for various purposes. It increasingly appears as a technology that allows computers to communicate in homes, where they change Ethernet or Wi-Fi. In industrial systems, the Smart Grid concept plays a very important role because it enables the connection of electric meters that send data to the data center in order to save electricity. There are several classes of PLC systems, and this paper deals with standards for narrowband data transmission over the electricity network (NB-PLC). The characteristics of PRIME, G3-PLC and IEEE P1901.2 standards and their basic differences are shown.

## NARROWBAND POWER LINE COMMUNICATION STANDARDS

Aljoša Petojević, Dejan Nemeč