

6. (12.) savjetovanje
Opatija, 13. - 16. svibnja 2018.

Erika Šehić
HEP ODS d.o.o., Elektrodalmacija Split
Erika.Sehic@hep.hr

Ivan Ajduković
HEP ODS d.o.o., Elektrodalmacija Split
Ivan.Ajdukovic@hep.hr

Slavko Čavka
HEP ODS d.o.o., Elektrodalmacija Split
Slavko.Cavka@hep.hr

Željko Kajić
HEP ODS d.o.o., Elektrodalmacija Split
Zeljko.Kajic@hep.hr

Vedran Nakić
HEP ODS d.o.o., Elektrodalmacija Split
Vedran.Nakic@hep.hr

TESTIRANJE TEHNIČKIH ZNAČAJKI NAPREDNIH MJERNIH UREĐAJA S PLC G3 KOMUNIKACIJOM I SUSTAVA ZA DALJINSKO OČITANJE I NJIHOVO UMREŽAVANJE

SAŽETAK

U radu je opisan tijek pilot projekta opremanja NN trafo područja sa naprednim brojilima koja koriste PLC G3 OFDM tehnologiju.

Testiranje se vršilo na ciljanim lokacijama u NN mreži: višekatna stambena zgrada sa poslovnim prostorima, obiteljske kuće, stara gradska jezgra, prigradsko naseljeno područje te slabo naseljeno seosko područje a sve u cilju provjere mogućnosti PLC G3 tehnologije i uvođenja naprednih funkcija brojila u postojeći sustav daljinskog očitavanja kao što je daljinsko uključenje/isključenje, očitavanje na zahtjev, asimetrija u mreži, angažirana prekomjerna snaga, dnevno prikupljanje krivulja opterećenja, praćenje razine GSM signala.

Ključne riječi: PLC, G3, AMI, Advance Enterprise, Gubici, Postotak očitivosti pametnih brojila

PERFORMANCE TEST OF SMART METERS WITH PLC G3 COMMUNICATION AND SYSTEM FOR REMOTE READING AND THEIR NETWORKING

SUMMARY

This paper describes the pilot project for equipping LV area with smart meters that use PLC G3 OFDM technology.

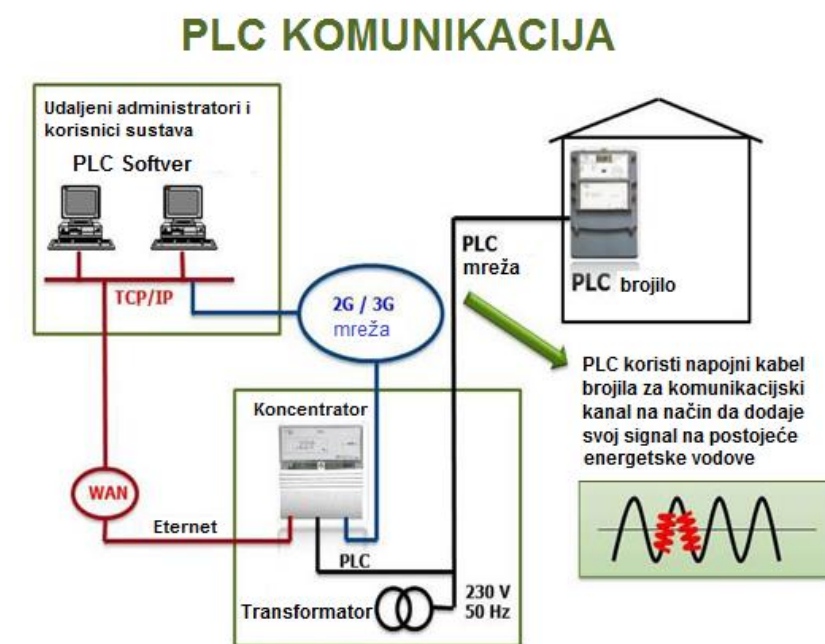
Testing was carried out on specific locations in LV area: multi-storey residential building with commercial stores, family houses, an old city center, suburban area and a poorly populated rural area. Purpose was to test PLC G3 technology and install advanced meter functions in existing remote reading system such as remote on/off, phase asymmetry, engaged overload, daily load profile collection, monitoring of GSM signal level.

Key words: PLC, G3, AMI, Advance Enterprise, Losses, Percentage of reading smart meters

1. UVOD

Za elektrodistribucijske tvrtke je bitno odabrati tehnologiju za očitavanje brojila koja će biti tehnički i ekonomski optimalna a sve zbog pokretanja masovne zamjene brojila. Zbog toga su pokrenuti pilot projekti u Elektrodalmaciji Split te je u ovom radu opisan pilot projekt sa odabranom PLC (Power Line Communication) G3 komunikacijskom tehnologijom.

PLC je komunikacijska tehnologija koja dominira u očitavanju naprednih brojila u Europi [1]. Zbog korištenja NN mreže za očitavanje i komunikaciju sa pametnim brojlilima smanjuju se troškovi za mobilne operatore. Također, brojila se automatski prijavljuju na koncentrator te koncentrator komunicira preko GPRS/LAN/OPTIKE sa bazom podataka. Zbog toga je moguće vrlo brzo zamijeniti stara brojila te nema potrebe za dodatnim ožičavanjem i provjerom komunikacije, čim se brojilo priključi na mrežu odmah se prijavljuje preko NN vodova na koncentrator te koncentrator odmah prikuplja podatke sa brojila.



Slika 1. Blok shema PLC komunikacije

Pilot je imao za zadaću da ukaže na prednosti i mane te tehnologije u odnosu na druge tehnologije te da se testira NN mrežu kao komunikacijski kanal. Da bi pilot projekt bio uspješan s obzirom na daljnju upotrebu PLC G3 tehnologije za mogući odabir pri masovnoj zamjeni brojila potrebno je vrednovati sustav što se smatra uspješnim ako je ostvaren cilj:

- Ostvareno očitavanje mjernih podataka za obračun > **98 %** očitivosti brojila te za krivulje opterećenja > **95 %** očitivosti te ostvarena funkcija daljinskog isključenja i uključivanja brojila.
- Odrediti i locirati gubitke električne energije – smanjenje gubitaka električne energije postigli smo sa zamjenom elektromehaničkih brojila sa elektroničkim brojlilima te je omogućeno otkrivanje krađe na brojilu kroz dojavu statusa brojila. Odredili smo gubitke a za točnu lokaciju gubitaka električne energije se razmatraju druga rješenja otkrivanja krađe.
- Poboljšati urednost plaćanja te postići trend smanjena dugovanja – Ostvarena je urednost plaćanja sa mjesečnim računima koji se izdaju prema stvarnoj potrošnji i smanjeno je dugovanje kupaca zbog daljinskog isklopa brojila.
- Uvesti naplatu prekoračenja priključne snage – Radi se za poslovne korisnike
- Uvesti naplatu preuzimanja prekomjerne jalove energije – Izvršava se za poslovne korisnike

2. ODABIR NN PODRUČJA

Za odabir transformatorskih područja 10/0,4kV vodilo se računa da se radi o testiranju PLC G3 tehnologije u raznim NN mrežama a koja bi se primijenila u cijeloj Hrvatskoj. Testiranje se vrši na sljedećim lokacijama:

1. Obiteljske kuće u prigradskom naselju, rjeđe naseljeno prigradsko područje – TS Gomilica 2 i TS Gomilica 10, zračno-podzemna mreža (lokacija Kaštel Gomilica pored Splita)
2. Višekatna stambena zgrada – TS Turska Kula, podzemna mreža, gusto naseljeno gradsko područje (lokacija Antofagaste 6-16, Split)
3. Seoska mreža – TS Srinjine 1, nadzemna mreža, rjeđe naseljeno ruralno područje (lokacija Srinjine pored Splita).
4. Mješovita mreža – Grad Metković, tri transformatorska područja
5. Stara gradska jezgra, gusto naseljeno područje, zračno-podzemna mreža, (lokacija Grad Omiš)

3. TIJEK PILOT PROJEKTA

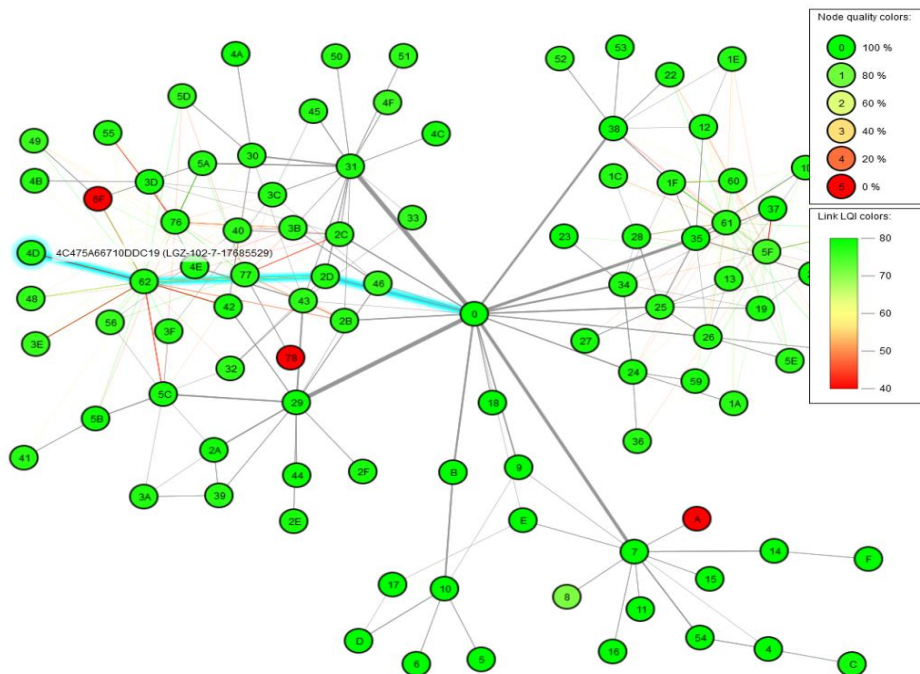
Prilikom izrade OPIA-e (osnovne podloge investicijske djelatnosti) [2] određen je ukupan broj brojila na tim područjima (kućanstvo, poduzetništvo, jednofazna i trofazna brojila) kao i broj potrebnih koncentratora i glavnih (SMA) brojila za trafo stanice. Nakon dobave traženih količina postavlja se jedan koncentrator i jedno kontrolno brojilo u svaku trafo stanicu na NN stranu te se brojila mijenjaju po izvodima, krećući od brojila koja su bliže trafo stanici pa prema daljim brojlilima. Mijenjana su sva brojila u NN području (i isključena) zbog točnog računanja gubitaka s tim da se za isključena MM ostavlja brojilo pod naponom radi očitavanja a isključnik se isključi sa sondom u uredu prije zamjene brojila (s pomoću programa LANDYS&GYR MAP 110). Zbog repetitorskog načina rada brojila i samokonfigurirajuće mreže brojila se montiraju na način da se prvo montiraju brojila koja su bliže trafo stanici pa onda dalja brojila.

3.1.1. PLC G3 tehnologija i napredna mjerna infrastruktura

G3 se temelji na tehnologiji ortogonalne modulacije u frekvencijskoj domeni (OFDM). G3-PLC omogućuje brži i ekonomičniji prijenos podataka preko postojećih vodova, veće količine podataka, bilo na niskom frekvencijskom pojasu CENELEC A (do 95 KHz) ili u pojasu visoke frekvencije (150-500 kHz). PLC koncentrator podataka se ponaša kao PAN koordinator. Nova brojila ili uređaji kada se priključe na mrežu aktivno traže PAN koordinatora šaljući zahtjeve za priključenje, gdje MAC adresa služi kao jedinstvena identifikacija uređaja. Prema unaprijed definiranom ključu, PLC koncentrator odlučuje da li se uređaj može spojiti na mrežu i samo tad uređaj može postati aktivan na mreži. Postoji mogućnost ugradnje dva ili više koncentratora po jednom trafo području kako bi se organizirale dvije ili više logičko odvojene mreže unutar jednog trafo područja. Komunikacija u G3 mreži prati ROUTING princip gdje poruke su ponovljene od uređaja koji se nalaze na putu između pošaljitelja i koncentratora. Svaki uređaj u mreži može komunicirati sa bilo kojim drugim uređajem u mreži ili čak uređajima izvan G3 mreže koristeći IPv6 adresiranje. Da bi se spriječila „kolizija“, svaki uređaj prati „slušaj prije govora“ princip. Sam koncentrator nudi velike mogućnosti praćenja statistike i mnoge funkcionalnosti koje se mogu iskoristiti za detaljnu analizu same mreže. Na slici ispod vidimo mrežu kako je vidi sam koncentrator iz trafostanice. Koncentrator ili PAN koordinator je u sredini, a bojom čvorova (eng. Node) je označena kvaliteta komunikacije samog brojila. Plava linija pokazuje putanju od brojila do koncentratora i nazad.

PLC koncentratore je potrebno parametirati prije ugradnje, kako bi se mogao očitavati preko GPRS kanala. Osim koncentratora u svaku trafostanicu ugrađeno je i kontrolno brojilo kako bi se mogli pratiti gubici na tom trafo području. Vrijeme prijave brojila na koncentrator je u trajanju od

nekoliko minuta, a vrijeme prijave u sustav za daljinsko očitavanje je unutar 12h ovisno o kvaliteti komunikacije. Kao sustav za daljinsko očitavanje koristi se Advance Enterprise 1.11. U sustavu za daljinsko očitavanje moguće je pratiti stanje prijave brojila tj.vrijeme kad se brojilo prijavilo u sustav i da li je komunikacija sa brojiлом uspješna ili ne.



Slika 2. Topologija mreže za TS Gomilicu 10

3.1.2. Uspješnost očitavanja

U sustavu za daljinsko očitavanje konzentator je podešen da očitava svako 12 sati. U tablicama 1 i 2 je prikazana uspješnost očitavanja obračunskih registara G3-PLC i S-FSK tehnologije.

Tablica 1.Postotak očitivosti dnevnih obračunskih registara za G3-PLC tehnologiju

Datum	18.1.2018	19.1.2018	20.1.2018	21.1.2018	22.1.2018	23.1.2018	24.1.2018
Trafo područje /Profili	LP2	LP2	LP2	LP2	LP2	LP2	LP2
TS Gomilica 2	99,54 %	98,85 %	99,54 %	99,08 %	99,08 %	99,54 %	99,54 %
TS Gomilica 10	98,95	98,95 %	98,95 %	98,95 %	98,95 %	98,95 %	98,95 %
TS Kula Norinska	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
TS Metković 6	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
TS Metković 16	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
TS Metković 9	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
TS Omiš (pazar)	95,86 %	94,76 %	95,3 %	96,97 %	96,97 %	96,97 %	96,97 %
TS Srinjine 1	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
TS Turska Kula	98,85 %	98,85 %	98,85 %	98,85 %	98,85 %	98,85 %	98,85 %

Tablica 2. Postotak očitivosti dnevnih obračunskih registara za S-FSK tehnologiju

Datum	18.1.2018	19.1.2018	20.1.2018	21.1.2018	22.1.2018	23.1.2018	24.1.2018
Trafo područje/Profili	LP2	LP2	LP2	LP2	LP2	LP2	LP2
TS Brda 2	96,56 %	94 %	90,9 %	93,57 %	97,86 %	97,86 %	97,86 %

Prema statistici dnevnog očitavanja obračunskih registara PLC-G3 ima postotak očitavanja od 95,67% do 100%, dok za SFSK PLC je 90,9 % do 97,86. Ako gledamo na očekivanu uspješnost očitavanja za G3-PLC, cilj je postignut. Na većini TS dnevno očitavanje je veće od 98% osim na TS Omiš (pazar), gdje je najveći dnevni postotak očitavanja 96,97 %. S obzirom da se radi o staroj gradskoj jezgri i gusto naseljenom području postoji velika mogućnost smetnji i šumova u elektroenergetskoj mreži. U tablici 3 i 4 prikazana je uspješnost očitavanja za dnevne krivulje opterećenja za PLC-G3 i PLC-SFSK tehnologije.

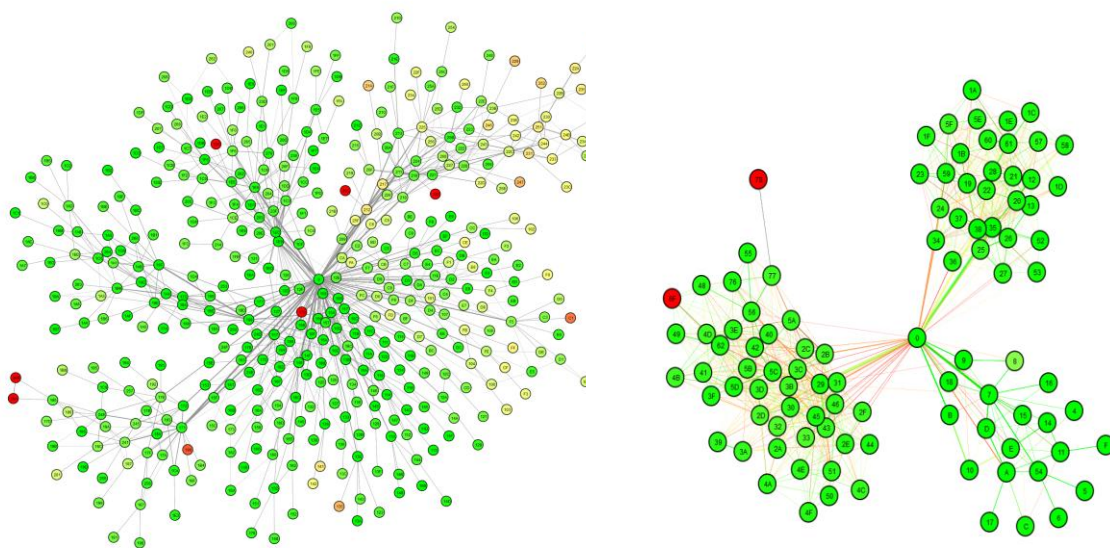
Tablica 3. Postotak očitivosti dnevnih krivulja opterećenja za S-FSK tehnologiju

DAN	01.12-01.01.2018	01-07.01.2018	01-14.01.2018	01-21.01.2018	NE OČITAVA SE
18.1.2018	27,89 %	35,19 %	34,76 %	35,19 %	2,14 %
19.1.2018	27,89 %	35,19 %	34,76 %	35,19 %	2,14 %
20.1.2018	27,89 %	35,19 %	34,76 %	35,19 %	2,14 %
21.1.2018	2,57 %	0 %	0 %	95,27(16.01) %	2,14 %
22.1.2018	0,85 %	0 %	0 %	96,99(18.01) %	2,14 %
23.1.2018	0,85 %	0 %	0 %	96,99 (18.01) %	2,14 %
24.1.2018	0,4 %	0 %	0 %	97,85 (21.01) %	2,14 %

Tablica 4. Postotak očitivosti dnevnih krivulja opterećenja za G3-PLC tehnologiju

Datum	18.1.2018	19.1.2018	20.1.2018	21.1.2018	22.1.2018	23.1.2018	24.1.2018
Trafo područje /Profili	LP1	LP1	LP1	LP1	LP1	LP1	LP1
TS Gomilica 2	98,15 %	97,92 %	96,53 %	97,69 %	98,38 %	98,38 %	98,85 %
TS Gomilica 10	98,95 %	98,95 %	98,95 %	98,95 %	98,95 %	98,95 %	98,95 %
TS Kula Norinska	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
TS Metković 6	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
TS Metković 16	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
TS Metković 9	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
TS Omiš (pazar)	81,5 %	83,15 %	85,09 %	86,64 %	86,64 %	84,26 %	82,88 %
TS Srinjine 1	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
TS Turska Kula	98,85 %	98,85 %	98,85 %	98,85 %	98,85 %	98,85 %	98,85 %

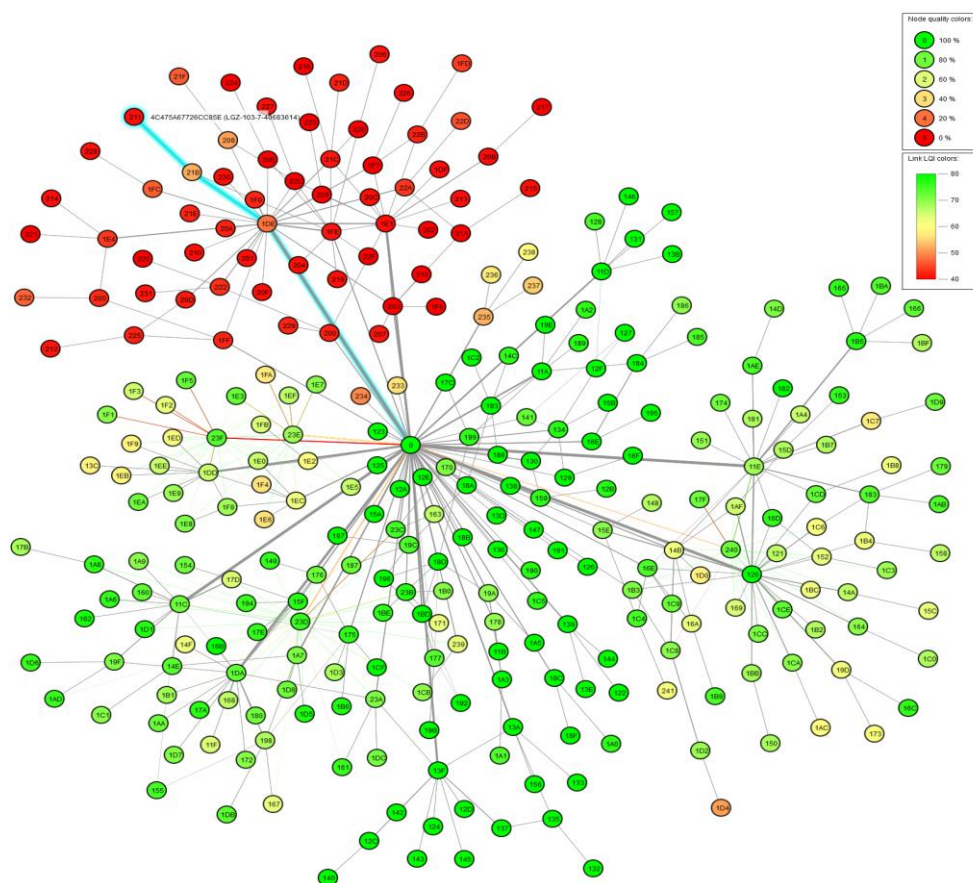
Topologije niskonaponskih mreža su različite, od ruralnog područja kao što su Srinjine do gradskog dijela kao što je Turska Kula. Tu su i dvije mješovite mreže Kaštel Gomilica (prigradsko naselje) i Omiš (stara gradska jezgra).



Slika 3. Topologije mreža od TS Gomilice 2 (lijevo) i TS Srinjine 1 (desno)

Prema statistici dnevnih očitavanja krivulja opterećenja G3-PLC ima bolji postotak očitivosti nego S-FSK. Najveći razlog za to je propustnost tj. dostupnost kanala za komunikaciju. S-FSK koristi dvije nosive frekvencije (63,3 kHz i 74,0 kHz), dok G3-PLC ima 36 nosioca (35-95 kHz), što dovodi do ogromnog povećanja brzine. S-FSK ima brzinu rada na PHY razini 2,4 kbps, dok G3 PLC obično nudi 20 kbps. Iz ovog slijedi da se veća količina podatka može prenijeti preko elektroenergetske mreže pomoću G3, bilo u niskom frekvencijskom pojasu CENELEC A (do 95 kHz) ili u visokofrekvencijskom FCC pojasu (150-500 kHz), gdje su dostupne brzine od 100 kbps do 200 kbps. Prednost G3 PLC u odnosu na S-FSK je i što u slučaju jako loše komunikacije i izvedbe elektroenergetskih vodova G3 PLC može operirati u ROBO modu, koji omogućuje jaču ispravku grešaka i ponavljanje kodiranja uz smanjenje brzine kanala.

Brzina ovih sustava važan je čimbenik u naprednim mjernim sustavima (AMI), jer je potrebna česta komunikacija između instaliranih pametnih uređaja i podatkovnog centra. Jedan od problema s kojim smo se susreli prilikom ugradnje G3-PLC brojila je na TS Brodarici 1, gdje je relativno nova višekatna stambena zgrada sa 5 ulaza. Zanimljiva je činjenica da na jednom ulazu koji se nalazi na sredini zgrade imamo velikih poteškoća sa komunikacijom. Razina LQI je veoma niska i ukazuje na to da su razine šumova dosta visoke. Koncentrator kada pokuša uspostaviti vezu glavnim čvorovima, često ne uspije i smješta ih trenutno na „crnu listu“, te tek nakon određenog vremena uspije ih očitati. Na slici 4. je prikazana topologija TS Brodarice 1, gdje se može uočiti na plavoj liniji putanja komunikacije. U sredini je koncentrator, a prvo brojilo koje je na putanji je jedan od čvorova koji se nalaze u prizemlju ulaza. S obzirom da su brojila tek ugrađena, jasnije stanje ćemo imati kroz mjesec dana gdje planiramo detaljnije analizirati ovaj problem..



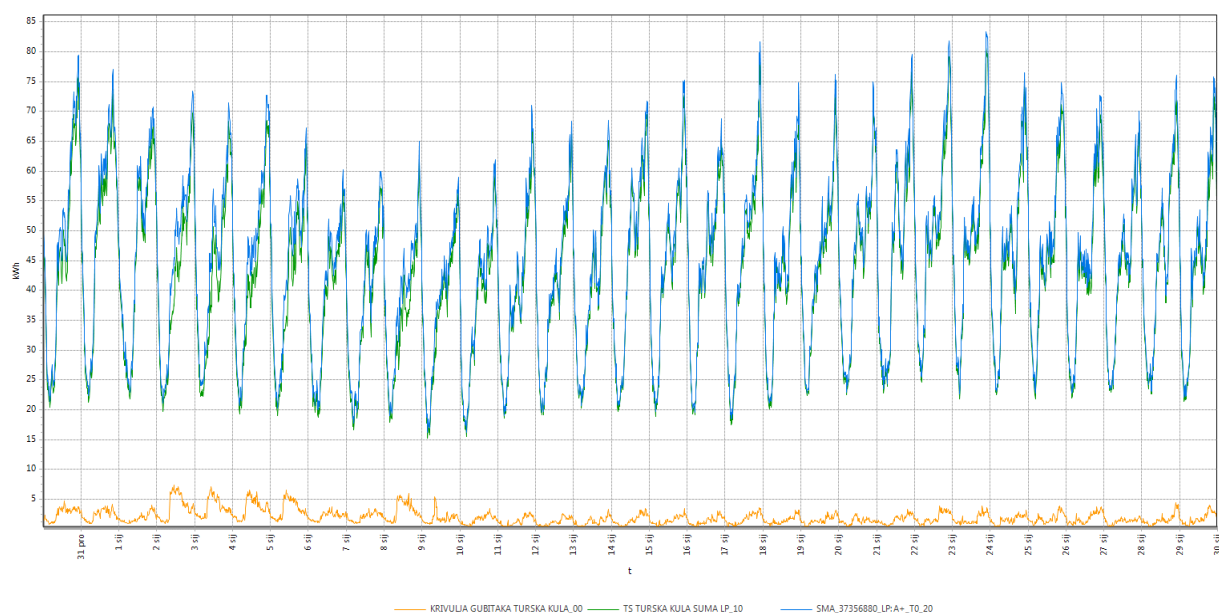
Slika 4. Topologija mreže TS Brodarica 1

3.1.2. Izračun gubitaka

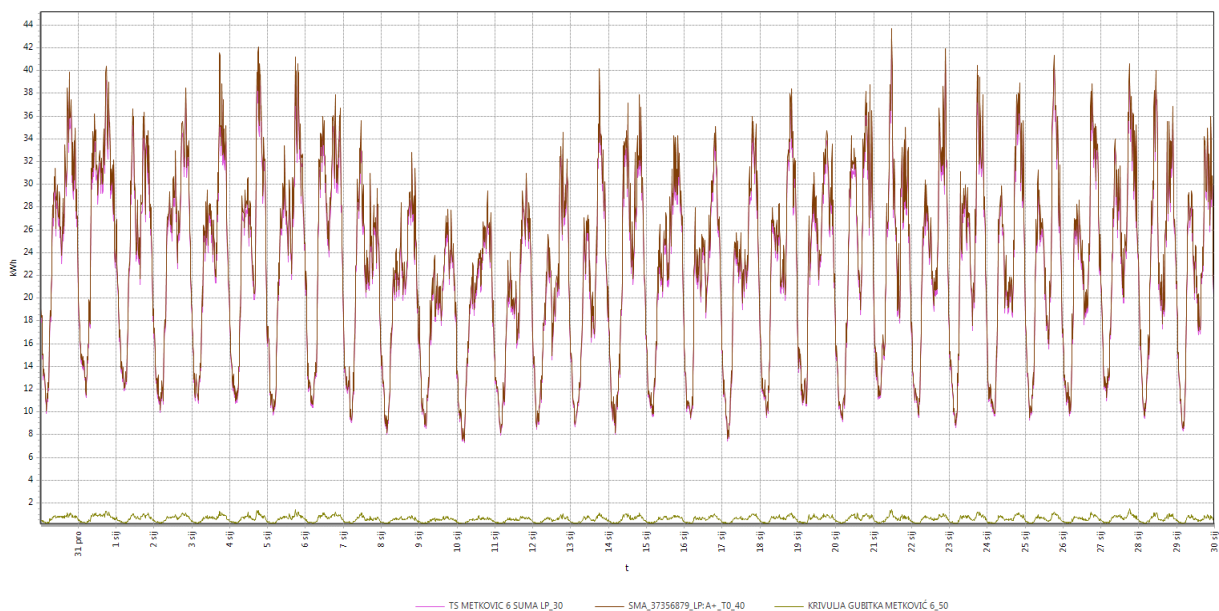
Izvršena je analiza gubitaka energije za dva trafo područja: TS Turska Kula (gradsko područje) i TS Metković 6 (prigradsko područje). Za izračun gubitaka korišten je sustav Advance Enterprise 1.11. Gubitci su izračunati za period od 30.12.2017 do 30.12.2018 godine.

Tablica 5. Pregled gubitaka energije za TS Turska Kula i TS Metković 6

TS	SMA_LP: A+_T0	SUMA_LP: A+_T0	SUMA_KRIVULJA	GUBICI %
TS Metković 6	68.341,44	66.570,23	1.771,21	2,59 %
TS Turska Kula	133.618,56	127.769,03	5.849,53	4,37 %



Slika 5. Slika prikazuje krivulju opterećenja (energije) kontrolnog brojila SMA (plava boja) i sumarnu krivulju opterećenja sa svih PLC brojila za TS Turska Kula (Zelena boja), dok narančastom je označena krivulja gubitaka energije u kWh.



Slika 6. Slika prikazuje krivulju opterećenja (energije) kontrolnog brojila SMA (smeđa boja) i sumarnu krivulju opterećenja sa svih PLC brojila za TS Metković 6 (ljubičasta boja), dok zelenom bojom je označena krivulja gubitaka energije u kWh.

TS Tursku Kulu i TS Metković 6 smo izabrali iz razloga što su kompletno opremljeni G3-PLC brojilima, te je moguće napraviti kompletan izračun pomoću sustava za daljinsko očitavanje.

4. ZAKLJUČAK

G3-PLC tehnologija je pokazala mnoge prednosti u odnosu na stariju verziju S-FSK, od kojih su: veći broj nosioca frekvencija, veće brzine, veća sigurnost mreže, može raditi u ROBO modu uz cijenu niže brzine prijenosa, te je moguć prolazak signala kroz NN/SN transformator. U budućnosti planiramo testirati rad G3-PLC mreže s dva koncentratora na jednom trafo području i povjeriti utjecaj na komunikaciju i opterećenje sustava. Spektralnim analizatorom bi trebalo utvrditi razine šumova na kritičnim mjestima gdje je jako loša komunikacija i što sve utiče na to.

- [1] Ivan Ajduković, dipl. ing. el., Željko Kajić, dipl. ing. el., „Osnovna podloga investicijske djelatnosti, Pilot projekt testiranja PLC G3 tehnologije naprednih brojila i AMI sustava za očitavanje i upravljanje brojiлом“, HEP ODS Elektrodalmacija Split, 03.2016.
- [2] Jürg Haas, IDaniel Lauk, „Standards and Interoperability“,
- [3] Andreas Wirtz, Introducing the power of PLC, Landys + Gyr (Europe) AG
- [4] Franz Buholzer, „Performance of G3 technology in smart metering rollouts“, Landys + Gyr (Europe) AG, rujana 2016.