

Ivica Hadjina  
HEP ODS d.o.o.  
[Ivica.Hadjina@hep.hr](mailto:Ivica.Hadjina@hep.hr)

Marko Parać  
HEP ODS d.o.o., Elektrodalmacija Split  
[Marko.Parac@hep.hr](mailto:Marko.Parac@hep.hr)

Slavko Čavka  
HEP ODS d.o.o., Elektrodalmacija Split  
[Slavko.Cavka@hep.hr](mailto:Slavko.Cavka@hep.hr)

Ivan Ajduković  
HEP ODS d.o.o., Elektrodalmacija Split  
[Ivan.Ajdukovic@hep.hr](mailto:Ivan.Ajdukovic@hep.hr)

Vedran Nakić  
HEP ODS d.o.o., Elektrodalmacija Split  
[Vedran.Nakic@hep.hr](mailto:Vedran.Nakic@hep.hr)

Željko Kajić  
HEP ODS d.o.o., Elektrodalmacija Split  
[Zeljko.Kajic@hep.hr](mailto:Zeljko.Kajic@hep.hr)

## TESTIRANJE TEHNIČKIH ZNAČAJKI NAPREDNIH MJERNIH UREĐAJA SA PLC SFSK KOMUNIKACIJOM I SUSTAVA ZA NJIHOVO UMREŽAVANJE

### SAŽETAK

U radu je opisan pilot projekt opremanja cijelog NN područja TS Brda 2 u Splitu sa naprednim brojlama koja koriste PLAN+ (engl. Power Line Automation Network) inačicu PLC SFSK komunikacije sa maksimalnom brzinom do 2400b/s i nadzornim mjerenjem sa snimcima stanja u mreži.

Uz priložena statistička izvješća o uspješnosti očitavanja pridodana je usporedba sa sličnim sustavom koji radi na brzinama do 1200b/s te su naznačene potencijalne koristi uvođenjem u sustav naprednih funkcija brojila poput daljinskog uključanja/isključanja, daljinskog ograničavanja snage i praćenja indeksa prosječnog trajanja prekida i indeksa prosječne učestalosti prekida.

**Ključne riječi:** PLC, SFSK, nadzorno mjerenje, AMR, SAIDI, CAIDI, SAIFI, preopterećenje

## PERFORMANCE TEST OF SMART METERS WITH SFSK COMMUNICATION AND SYSTEM FOR THEIR NETWORKING

### SUMMARY

This paper describes the pilot project of equipping the entire area of LV substation Brda 2 in Split with smart meters that use PLAN+ (Power Line Automation Network) version of the PLC SFSK communication with a maximum speed up to 2400b/s and control metering with reports from the grid.

Attached statistical reports on meter reading performance are complemented by a comparison with a similar PLC SFSK system that works at speeds up to 1200b/s. The potential benefits of deployment of advanced functions are listed such as remote disconnection/reconnection, remote demand limiting and monitoring of System Average Interruption Duration and Frequency Indexes.

**Key words:** PLC, SFSK, control metering, AMR, SAIDI, CAIDI, SAIFI, overload

## 1. UVOD

Prije pokretanja procesa masovne zamjene brojila bitan je odabir tehnologije kojom će se izvršavati daljinsko prikupljanje mjernih podataka. Za elektrodistribucijske tvrtke je najjeftinije i najprirodnije iskoristiti vlastitu niskonaponsku mrežu kao komunikacijski kanal za prijenos informacija sa brojila električne energije kod krajnjih kupaca do sustava za daljinsko očitavanje brojila.

Pilot projektom se dobio uvid u današnje mogućnosti PLC tehnologije, prednosti i mane, u odnosu na konkurentske bežične tehnologije, kao mogućem odabiru pri procesu masovne zamjene brojila. Za prihvaćanje postotne uspješnosti daljinskog očitavanja primijenjeni su jednaki kriteriji kao kod GPRS-a, tj. zahtijevana je veća očitavnost od 98% za obračunske registre [1] i knjige događaja te veća uspješnost od 95% za krivulje opterećenja.

Izjednačavanjem kriterija uspješnosti očitavanja do izražaja dolaze sve prednosti PLC tehnologije. Potvrđene su vrednovanjem funkcionalnosti sustava u cjelini s usmjerenošću na specifične zahtjeve distribucijske djelatnosti kao što je analiza krivulja opterećenja na razini mjerenja kod kupca i u trafostanici, tehničkih i netehničkih gubitaka energije i snage, pokazatelja kvalitete isporučene energije, nesimetričnost mreže, informacijama o pogonskim događajima te financijskom dobiti pri daljinskom uključanju/isključanju i ograničavanju snage, najnižoj cijeni očitavanja mjernih uređaja i sl. Uz automatiziranost prijave brojila u sustav i autonomnost pri prikupljanju mjernih podataka, PLC koncentrador usmjeravanjem pojedinačnog ili općeg zahtjeva do brojila, pridjeljivanjem većeg prioriteta, uspješno odrađuje očitavanje na zahtjev kao i ostale funkcije poput daljinskog isključenja/uključenja, ali i održavanja mjerne opreme poput nadogradnje sistemskog programa u brojilima. U odnosu na GPRS tehnologiju je nedostatak što u trenutku nedostupnosti brojila ne možete znati je li razlog neočitavanja posljedica smetnji tj. razine signala ili jer brojilo nije na naponu (nenajavljena zamjena brojila, odvrtnje osigurača prije brojila ili jer je mjerno mjesto u međuvremenu priključeno na susjednu trafostanicu).

Bez obzira na primijenjenu inačicu PLC tehnologije, je li to SFSK ili neka od naprednijih OFDM tehnologija, utjecaj na organizaciju rada, analiza potrebnih resursa i način uvođenja naprednog mjeriteljstva u distribucijsku mrežu je jednak. Iz ovog razloga slijedi prikaz tijeka projekta, uz opis problema i pozitivnih iskustava, kroz faze planiranja, pripreme i ugradnje PLC brojila i koncentratora te uspostave sustava za daljinsko prikupljanje podataka sa kojim je napravljena analiza mjernih podataka.

## 2. TIJEK PILOT PROJEKTA

U okviru pilot projekta je opremljeno cijelo područje TS Brda 2, 10/0.4 u naselju Neslanovac u Splitu sa naprednim brojilima koja koriste PLAN+ (engl. Power Line Automation Network) inačicu PLC SFSK komunikacije sa maksimalnom brzinom do 2400b/s. U pripremnoj fazi projekta je trebalo detaljno ustanoviti broj mjernih mjesta prema broju faza i kategoriji koja su priključena na TS Brda 2 10/0.4 prema digitalnoj ortofoto karti na Slici 1. Ispitivanjem na terenu to je potvrđeno pomoću 3-faznog 6-linijskog identifikatora ARiADNA iLF6 (proizvođač Ariadna Instruments).



Slika 1. Digitalna ortofoto karta TS Brda 2 10/0.4

Niskonaponsko područje TS Brda 2 napaja transformator 10/0.4 kV, 500 kVA, Dyn5. Mreža se sastoji od podzemnih kabela: PP00-A 4x16 d=70 m, PP41-A 4x16 d=62 m, PP41-A 4x35 d=11 m i PP41-A d=182m. Zračni dio mreže sačinjavaju: X00 4x16 d=796 m, X00/0-A 3x35+71.5 d=347 m i X00/0-A 3x70+71.5 d=449m. Priloženi podatci su specificirani u [2].

## 2.1 Inicijalne postavke napredne mjerne infrastrukture

Prije pokretanja postupka masovne ugradnje brojila potrebno je na razini HEP ODS-a osnovati poseban stručni tim koji će usuglasiti konačne inicijalne postavke za PLC brojila, koncentratore podataka i sustav za automatizirano prikupljanje mjernih podataka jer se ovaj postupak provodi samo jednom i vrijedi za isporuku mjernih uređaja za sva niskonaponska područja.

PLC konzentator podataka treba programirati za automatizirano prikupljanje podataka sa PLC brojila i očitavanje kontrolnog brojila na zahtjev. Prije ugradnje u mrežu u PLC konzentator podataka su upisani parametri potrebni za očitavanje na GPRS/UMTS kanalima preko HEP VPN mreže uz sinkronizaciju sa sistemskim vremenom sustava za daljinsko prikupljanje podataka Advance ECONOMIC System 1.10. U sustavu Advance je trebalo postaviti sve vrste mjernih rezultata i obrasce za pojedine tipove brojila kako bi se omogućio prihvati i zapisivanje aktiviranih mjernih podataka na brojilima. Popis osnovnih postavki mjernih uređaja u pilot projektu sadržan je u Tablici I.

Tablica I. Ispis osnovnih inicijalnih postavki mjernih uređaja na području TS Brda 2 10/0.4

OBIS oznaka	Opis	ZCXi 110A	ZCXi 110C	ZMXi 310A	ZMXi 310C	SMA 405
1-1:1.8.0	Energy Total +A	900 s	900 s	900 s	900 s	900 s
1-1:1.8.0	Energy Total +A	1 day	1 day	1 day	1 day	1 month
1-1:1.8.T	Energy Total +A (T=1,2)	1 day	1 day	1 day	1 day	1 month
1-1:2.8.0	Energy Total -A	1 day	1 day	1 day	1 day	1 month
1-1:2.8.T	Energy Total -A (T=1,2)	1 month	1 month	1 month	1 month	1 month
1-1:5.8.0	Energy Total QI	/	1 day	/	1 day	1 month
1-1:6.8.0	Energy Total QII	/	1 day	/	1 day	1 month
1-1:7.8.0	Energy Total QIII	/	1 day	/	1 day	1 month
1-1:8.8.0	Energy Total QIV	/	1 day	/	1 day	1 month
1-1:9.8.0	Energy Total +VA	/	/	/	/	1 month
1-1:10.8.0	Energy Total -VA	/	/	/	/	1 month
1-1:15.8.0	Energy Total  +A + -A	/	/	/	/	1 month
1-1:128.8.0	Energy Total  AL1 + AL2 + AL3	/	/	/	/	1 month
1-1:1.6.0	Maximum Demand +A	/	/	/	/	1 month
1-1:1.6.T	Maximum Demand +A (T=1,2)	1 month	1 month	1 month	1 month	1 month
1-1:2.6.0	Maximum Demand -A	/	/	/	/	1 month
1-1:2.6.T	Maximum Demand -A (T=1,2)	1 month	1 month	1 month	1 month	1 month
1-1:9.6.0	Maximum Demand +VA	/	/	/	/	1 month

Od mnoštva različitih događaja treba ukazati na najvažnije kao što su nestanak i uspostava napona, automatski obračunski zapis, registraciju otvaranja i zatvaranja poklopca priključnice brojila, indikator promjene parametara na brojilu ručnim, daljinskim ili pristupom pomoću sonde. Istodobno je u kontrolnom brojilu SMA405 za cijelu TS dodatno aktivirano mnoštvo registara za snimak trenutnog stanja mrežnih pokazatelja te parametara kakvoće električne energije poglavito praćenjem pojava podnapona i prenapona te nadstruja. Također se snimaju za cijelu TS krivulje koje su sadržane u Tablici II.

Tablica II. Ispis postavki nadzornog brojila SMA405 za snimanje krivulja na području TS Brda 2 10/0.4

OBIS oznaka	Period	Opis	OBIS oznaka	Period	Opis
1-1:1.5.0	900 s	Last Average Demand +A	1-1:32.5.0	600 s	Voltage L1
1-1:2.5.0	900 s	Last Average Demand -A	1-1:52.5.0	600 s	Voltage L2
1-1:5.5.0	900 s	Last Average Demand QI	1-1:72.5.0	600 s	Voltage L3
1-1:6.5.0	900 s	Last Average Demand QII	1-1:31.5.0	600 s	Phase Current L1
1-1:7.5.0	900 s	Last Average Demand QIII	1-1:51.5.0	600 s	Phase Current L2
1-1:8.5.0	900 s	Last Average Demand QIV	1-1:71.5.0	600 s	Phase Current L3
1-1:9.5.0	900 s	Last Average Demand +VA	1-1:91.5.0	600 s	Neutral Current
1-0:12.7.127	600 s	Relative THD [%] voltage	1-0:12.5.129	600 s	Voltage Unbalance
1-0:11.7.127	600 s	Relative THD [%] current	1-0:11.5.129	600 s	Current Unbalance

## 2.2 Ugradnja mjernih uređaja

Realizacijom pilot projekta ukazala se potreba pojačane suradnje i koordinacije različitih odjela unutar distribucijskog područja kao i možebitne promjene u organizaciji rada. Sa radnicima u skladištu mjernih uređaja je usuglašen plan izdavanja PLC brojila za ugradnju i zaprimanja deinstaliranih brojila. Pomoću uređenih popisa za ručno očitavanje brojila i hodograma moglo se pristupiti tiskanju radnih naloga za zamjenu brojila uzevši u obzir da se zamjena provodi od trafostanice prema krajevima izvoda. Ovo je bitno u fazi uspostavljanja ruta i repeticijskih procedura u PLC brojilima prilikom uspostavljanja PLC mreže. U TS Brda 2 je ugrađen PLC koncentrador podataka tipa DC450PEUJ000v2 na kojeg su kaskadno spojena preko RS485 sučelja sva brojila na kontrolnim mjernim mjestima: kontrolno mjerenje za cijelu TS sa prijenosnim omjerom 800/5 A i brojilom tipa SMA405CT44.2409 te naknadno ugrađena kontrolna mjerenja na svakom od pet niskonaponskih izlaza sa brojilima tipa ZMD405CT44.2407 gdje prva dva izvoda imaju prijenosni omjer 600/5 A, a preostala tri izvoda prijenosni omjer 300/5 A. Odjelu za vođenje pogona najavljeni su planirani prekidi zbog ugradnje kontrolnih mjerenja u TS kao što je i prije ugradnje na mjerna mjesta izvršena provjera u baždarnici jesu li strujni mjerni transformatori u razredu točnosti. Na području TS Brda 2 je do sada ugrađeno 137 jednofaznih PLC brojila tipa ZCXi110APU1L1D1.21 i 78 trofaznih PLC brojila tipa ZMXi310APU1L1D3.21 za kategoriju kućanstvo te 1 jednofazno PLC brojilo tipa ZCXi110CPU1L1D1.21 i 5 trofaznih PLC brojila tipa ZMXi310CPU1L1D3.21 za kategoriju NN-poduzetništvo. Sva PLC brojila imaju integrirani isklonik. Navedena PLC i kontrolna brojila te PLC koncentrador podataka proizvodi tvrtka Landis+Gyr. Na području TS Brda 2 se još nalazi od ranije instalirano 1 jednofazno brojilo tipa ME372 i 3 trofazna brojila tipa MT372 sa isklonikom na GPRS komunikaciji te 7 mjernih mjesta sa elektromehaničkim brojilima kod kojih nije moguća zamjena jer su kuće zatvorene ili kupci ne dozvoljavaju zamjenu. Poseban problem na području TS Brda 2 što se više od 95% mjernih mjesta nalazi unutar stambenih kuća te im nije moguće pristupiti bez privole vlasnika.

Pri ugradnji PLC brojila u mrežu treba voditi evidenciju na dnevnoj osnovi jesu li se sva brojila prijavila na PLC koncentrador podataka, zatim jesu li se sva brojila prijavila u sustav za daljinsko prikupljanje mjernih podataka te je li za sva brojila proveden radni nalog o zamjeni u obračunskom sustavu i ažuriran podatak o trafostanici sa koje se mjerno mjesto napaja. Uočene promjene u odnosu na digitalnu ortofoto kartu je potrebno dojaviti u Odjel za tehničku dokumentaciju. U početnoj fazi rada PLC brojila potrebno je nadgledati prikupljanje mjernih podataka i otklanjati nedostatke što je u konačnici rezultiralo nadogradnjom sistemskog programa PLC koncentratora podataka i trofaznih PLC brojila. Na pojedinim mjernim mjestima analizatorom PLC signala je izmjerena visoka razina smetnji pomoću uređaja PLAN Analyzer (proizvođač Landis+Gyr). Izvršeno je i kontrolno mjerenje instrumentom PQube-PCM (proizvođač Tectra) i ustanovljena sukladnost opskrbnog napona prema EN 50160 za TS Brda 2 [3].

Slijedi opis nekoliko specifičnih slučajeva koji su se dogodili tijekom masovne ugradnje PLC brojila. Jedno trofazno brojilo uredno se prijavilo na koncentrador podataka i zaprimljeno je u sustav daljinskog očitavanja sa svim mjernim podacima. Nakon toga se brojilo nije odazivalo nekoliko dana. Izvidom na terenu je ustanovljeno da je trofazno mjerno mjesto pretvoreno u dva jednofazna mjerna mjesta, ali sa ugrađenim brojilima koja nisu PLC tehnologije. Ovo ukazuje na potrebu za koordinacijom Odjela za mjerenja sa Odjelom za izgradnju kada bude došlo do masovne ugradnje brojila. Drugi interesantan slučaj se odnosi na ugrađeno trofazno PLC brojilo koje se nije nikako prijavljivalo na koncentrador. Na terenu je ustanovljeno da na prvoj fazi u priključnici brojila preko koje brojilo šalje PLC signal koncentratoru nema napona. Kupac je potvrdio da je navodno bušilicom probio jedan vodič u zidu kuće te da u instalaciji ima samo dvije faze. Trofazno PLC brojilo sada u knjizi događaja ukazuje na tzv. stanje „curenja faze“ (engl. phase leakage) koje nastaje kada su na priključnici brojila prisutna dva fazna napona, a na instalaciji je priključeno i radi trofazno trošilo. Treći događaj se odnosi na situaciju kada se nakon dužeg urednog očitavanja jedno jednofazno PLC brojilo prestalo odazivati PLC koncentratoru, dok je drugo jednofazno PLC brojilo koje se nalazi u istom mjernom ormaru povremeno očitavano. Izvidom na terenu je ustanovljeno da su oba mjerna mjesta prespojena na susjednu TS Brda 12, ali je ostao kabel pod naponom iza ploče koji prolazi kroz kuću i dolazi sa TS Brda 2. Slična situacija je bila kada je pet mjernih mjesta na jednom odcjepu „preselilo“ na TS Brda 7 i onda je na zahtjev Odjela za mjerenja vraćen na TS Brda 2. Ovo ukazuje na potrebu koordinacije Odjela za mjerenja sa Odjelom za održavanje nadzemnih vodova kada se uspostavlja PLC sustav, dok kod ugradnje brojila koja ne komuniciraju preko niskonaponske mreže to nije potrebno.

## 2.3 Odnosi s kupcima

Tijekom procesa ugradnje PLC brojila bile su samo dvije reklamacije kupaca. Prva reklamacija se odnosila na slučaj samostalnog uključivanja lampe na dodir nakon ugradnje PLC brojila jer je PLC

signal koji ima razinu napona oko 1 V simulirao dodir. Problem nastaje kada lampe nisu dobro napravljene te zemlja i nula nisu odvojene. S obzirom da lampa na dodir nije imala dokaz o usklađenosti uređaja i oznaku „CE“ za razliku od ugrađenih PLC brojila koja rade u skladu sa normom CENELEC EN 50065-1 unutar maksimalne dopuštene razine signala u frekvencijskom pojasu od 3 do 95 kHz rezerviranom isključivo da distribucijske tvrtke, kupac je odlučio odustati od korištenja lampe za dodir. Na drugoj lokaciji je bila reklamacija da se svako jutro iza 4 h ujutro čuje udarac na brojilu što je ukazivalo na isklonik brojila. Proizvođač je potvrdio da PLC PLAN+ brojila imaju motornu sklopku te zbog životnog vijeka motora rade kontrolu motora tako da se svaki dan odradi tzv. "breaker check". Postavljanjem gume između ploče i kućišta brojila prigušene su vibracije na prihvatljivu razinu.

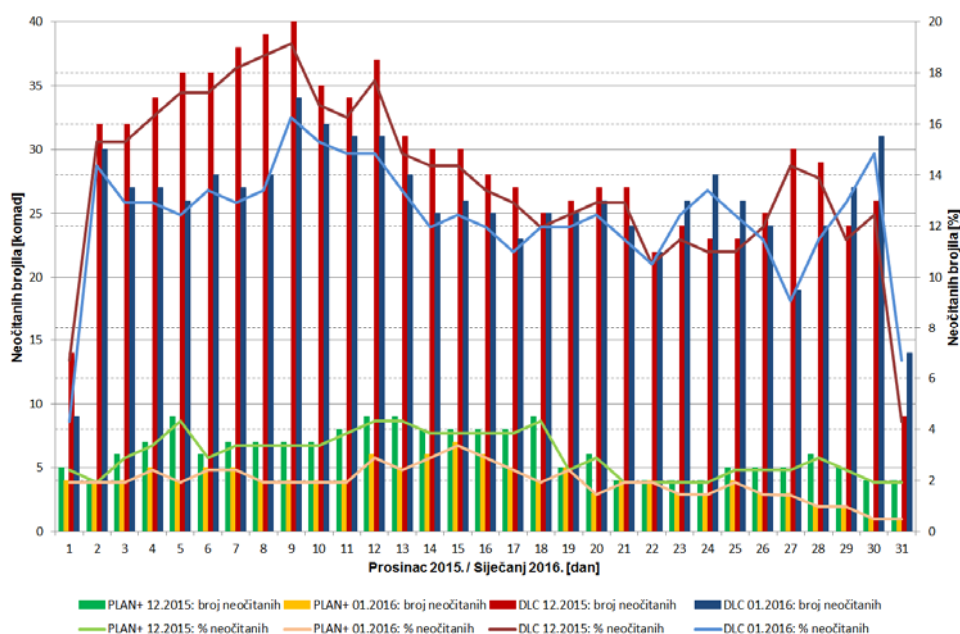
PLC brojila su ugrađivana početkom 6-mjesečnog obračunskog perioda u rujnu 2015., a primjena mjesečnog izdavanja računa je počela u siječnju 2016. Kupci nisu razumjeli obavijest da prestanu plaćati račune prema akontacijama već prema obračunima na temelju mjesečnog očitavanja brojila. Istodobno su iskazali zadovoljstvo zbog mjesečnih očitavanja i obračuna. S obzirom da pojedini kupci ne dozvoljavaju pristup mjernom mjestu i zamjenu brojila, Odjel za pravne poslove je pokrenuo prekršajne prijave. Zbog rezultata analize mjernih podataka poduzet je niz aktivnosti koje su u tijeku sa ciljem smanjenja gubitaka.

### 3. REZULTATI VREDNOVANJA TEHNIČKIH ZNAČAJKI SUSTAVA

Vrednovanje tehničkih značajki PLAN+ inačice PLC SFSK sustava koji je implementiran na području TS Brda 2 10/0.4 izvršeno je evaluacijom funkcionalnosti sustava u cjelini.

#### 3.1 Uspješnost daljinskog očitavanja registara

Analiza prikupljanja dnevnih vrijednosti registara za prosinac 2015. i siječanj 2016. po danima prikazana je na Slici 2. Uspoređena su dva PLC SFSK sustava sa sličnom topologijom niskonaponske mreže i tada istim brojem ugrađenih PLC brojila: na TS Centar 10/0.4 u Križu sa DLC sustavom i P2LPC koncentраторom (brzina do 1200b/s; nosive frekvencije 83,2 kHz i 93,6 kHz) te TS Brda 2 10/0.4 u Splitu sa PLAN+ sustavom i DC450 koncentраторom (brzina do 2400b/s; nosive frekvencije 63,3 kHz i 74,0 kHz). Bitno je napomenuti da nije moguća potpuno egzaktna usporedba s obzirom da topologije i izvedbe niskonaponske mreže nisu identične te da su smetnje kod PLC komunikacije stohastičke naravi.

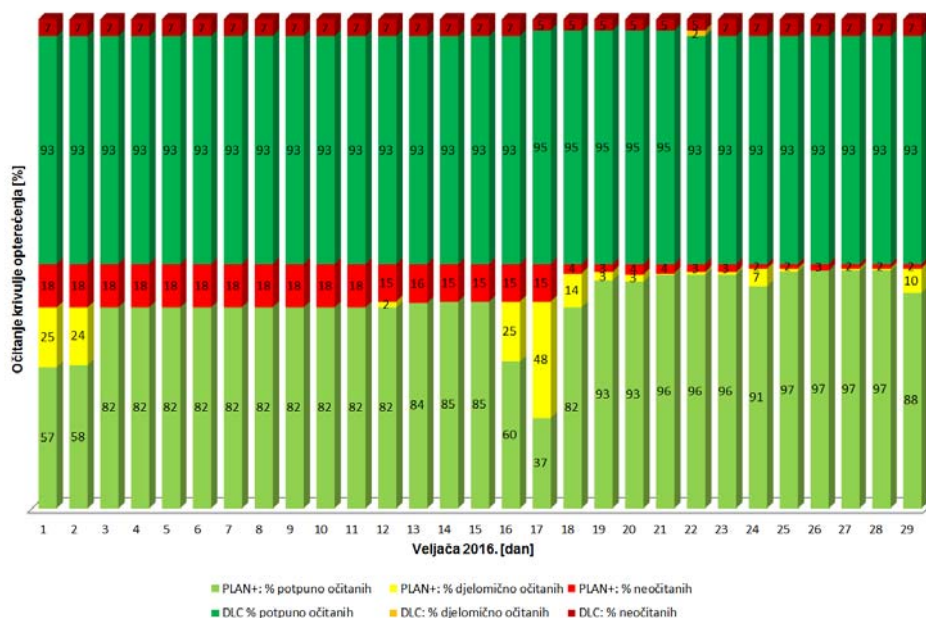


Slika 2. Usporedba očitavanja obračunskih registara za SFSK PLC tehnologije: PLAN+ vs. DLC

Starijim DLC sustavom svaki dan je bilo neočitano od 9 do 40 brojila na 209 mjernih mjesta, dok je novijim PLAN+ sustavom broj neočitanih brojila bio od 1 do najviše 9 na 209 mjernih mjesta. Uvidom na terenu TS Brda 2 ustanovljeno je da određeni broj brojila nije bio na naponu zbog odvrtnja osigurača kada vlasnici nisu bili prisutni u kućama. Uzevši u obzir ovu činjenicu realan postotak uspješnosti očitavanja obračunskih registara sustavom PLAN+ je svakog dana bio iznad 98%.

### 3.2 Uspješnost daljinskog očitavanja krivulja

Za usporedbu od DLC instalacija je odabrana TS Mertojak 4 u Splitu koja ima stalno 87 PLC brojila i novu podzemnu kabelsku mrežu od TS do stambene zgrade sa četiri ulaza. Na TS Brda 2 je do 24.02.2016. bilo instalirano 209 PLC brojila, a nakon toga 221 PLC brojilo. Na Slici 3. je prikaz postotne uspješnosti očitavanja 15-minutne krivulje opterećenja za veljaču 2016. po danima. Dnevne djelomično prikupljene krivulje opterećenja najčešće su posljedica prekida napajanja u mreži ili ugradnje brojila.



Slika 3. Usporedba očitavanja krivulje opterećenja za SFSK PLC tehnologije: PLAN+ vs. DLC

DLC inačicom SFSK tehnologije na TS Mertojak 4, unatoč povoljnijoj topologiji mreže, bitno kraćim kabelima i manjem broju instaliranih brojila, postotak neočitanih krivulja se kreće između 5% i 7%. PLAN+ inačicom SFSK tehnologije na TS Brda 2 od 18.02.2016. imamo bitno poboljšan postotak očitavanja krivulje opterećenja nakon podizanja razine kredita za pojedina trofazna PLC brojila na koncentratoru i nadogradnje na svim trofaznim brojilima sistemskog programa (engl. firmware) sa kojom je optimirana repeticija PLC signala. Zadnjih dana u veljači je postotak neočitanih krivulja opterećenja ispod 2% koji je zadržan i tijekom ožujka 2016.

### 3.3 Daljinsko isključivanje/uključivanje i ograničavanje snage

Procedurom daljinskog isključenja se slijedno izvrši isključenje pa očitavanje registara na zahtjev sa zapisom trenutnih stanja u bazu podataka. Postupak uključivanja ima obrnuti slijed. Do sada je zahtijevano i uspješno izvršeno 6 daljinskih isključenja i 4 daljinska uključivanja nad PLC brojilima iz sustava Advance.

Upisom snage iz EES u određeni registar brojila moguće je daljinsko ograničavanje snage. Kod prekoračenja snage, brojilo autonomno isključuje kupca i po isteku tekućeg 15-minutnog perioda dozvoljava uključivanje pritiskom dugmeta na brojilu ili vanjskog tipkala. Ova funkcionalnost još nije testirana. Iz Tablice III. se može zapaziti da je kod 9,6% kupaca izmjereno prekoračenje snage prosječno za 1 kW u odnosu na EES na TS Brda 2 za period 09./2015.-01./2016.

Tablica III. Statistički pokazatelji mjerenja maksimalne snage i prekoračenja EES na TS Brda 2

TS Brda 2 10/0.4		EES		P <sub>max</sub>	Prekoračenja EES				
Broj faza	Brojila	Ukupno	Prosjeak	Prosjeak	Brojila	Ukupno	Minimum	Maksimum	Prosjeak
Jed. mj.	kom	kW	kW	kW	kom	kW	kW	kW	kW
1F	129	949,8	7,363	5,150	17	15,439	0,055	1,785	0,908
3F	80	1.083,0	13,538	5,946	3	5,151	0,163	3,554	1,717
Ukupno:	209	2.032,8	9,726	5,455	20	20,590	0,055	3,554	1,030



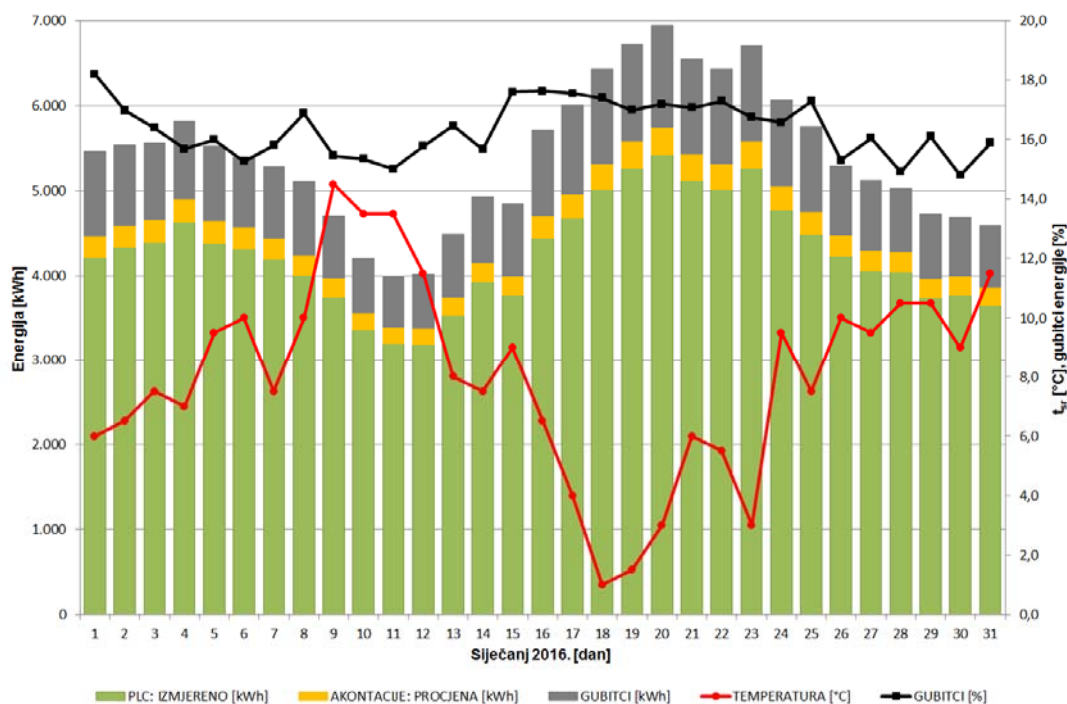
### 3.4 Izmjerena krivulja gubitaka radne energije

Razlika registriranog mjesečnog potroška energije na kontrolnom mjerenju i zbroja mjesečnih potrošnji na brojilima kod kupaca predstavlja izmjerene gubitke u TS Brda 2 koji su prikazani u Tablici IV.

Tablica IV. Izmjereni gubici električne energije u TS Brda 2 10/0.4 za 10./2015.-01./2016.

Tip brojila	Mjerno mjesto	Očitavanje	Brojila	10./15.	11./15.	12./15.	01./16.	J.mj.
SMA405	Kontrolno	Izmjereno	1	82.844	104.369	146.464	167.662	kWh
ZMXi/ZCXi	Potrošnja	Izmjereno	209	71.699	87.708	117.292	132.031	kWh
Mx372	Potrošnja	Izmjereno	4	0	0	46	73	kWh
Mehaničko	Potrošnja	Procjena	21	7.909	7.909	7.909	7.909	kWh
Ukupno	Potrošnja		234	79.608	95.617	125.247	140.013	kWh
Gubici				3.236	8.752	21.217	27.650	kWh
Gubici				3,91	8,39	14,49	16,49	%

Dnevna očitavanja radne energije izmjerena na PLC brojilima i procijenjena energija iz akontacija za kupce bez daljinskog očitavanja pomoću nadomjesnih krivulja opterećenja uspoređena su sa izmjerenim količinama radne energije iz krivulje opterećenja na kontrolnom brojilu. Na slici 4. je prikaz količina i postotnih vrijednosti izmjerenih gubitaka radne energije na području TS Brda 2 10/0.4 za siječanj 2016. po danima u ovisnosti o srednjoj temperaturi zraka.



Slika 4. Izmjerena krivulja gubitaka radne energije u TS Brda 2 10/0.4 za siječanj 2016.

Iz slike 4. se zapaža porast količina potrošene električne energije i gubitaka pri nižoj temperaturi zraka. S obzirom da je razvidan veliki udio netehničkih gubitaka radne energije, instalirana su kontrolna mjerenja na svakom niskonaponskom izvodu u TS Brda 2. Analizom je ustanovljeno da se ukupne 15-minutne snage na kontrolnim brojilima niskonaponskih izvoda razlikuju od snaga na kontrolnom brojilu za cijelu TS Brda 2 za najviše 0,57% što ukazuje na zadovoljavajuću točnost svih kontrolnih mjerenja.

Tablica V. prikazuje izmjerene gubitke radne energije niskonaponskih izvoda na 29.02.2016. za TS Brda 2. Gubici na niskonaponskom izvodu 3 su u rangi tehničkih gubitaka jer se na tom izvodu nalazi veliki potrošač EES=27,6 kW neposredno uz TS Brda 2. U daljnjem postupanju će se napraviti mjerenja gubitaka na ciljanim dijelovima mreže koji se napajaju sa ostalih niskonaponskih izvoda.

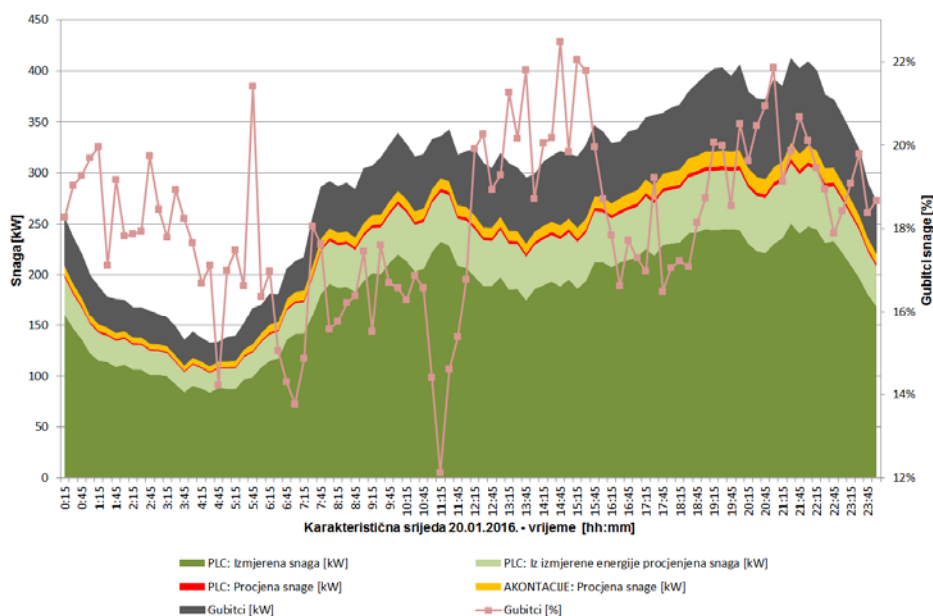
Tablica V. Izmjereni gubitci električne energije u TS Brda 2 po niskonaponskim izvodima na 29.02.2016.

Mreža	Konst.	Ukupno [kWh]	PLC brojila	PLC [kWh]	Bez PLC brojila	Akontacije [kWh]	Gubitci [kWh]	Gubitci %
Izvod 1	120	1.343,610	68	1.072,608	3	27,655	243,347	18,11%
Izvod 2	120	861,090	40	645,998	5	78,357	136,735	15,88%
Izvod 3	60	660,821	26	654,570	0	0,000	6,251	0,95%
Izvod 4	60	747,669	52	677,610	3	32,758	37,301	4,99%
Izvod 5	60	597,240	35	525,639	0	0,000	71,601	11,99%
TS Brda 2	160	4.218,904	221	3.576,425	11	138,770	503,709	11,94%

Smatramo da je jedina učinkovita metoda sprječavanja neovlaštene potrošnje postavljanje priključnih mjernih ormara na granici vlasništva i kod postojećih i kod novih priključaka.

### 3.5 Krivulja gubitaka radne snage

Razlika izmjerene krivulje 15-minutnih snaga na kontrolnom brojilu za TS i zbroja svih krivulja snage kod potrošača daje krivulju gubitaka radne snage. U proračunu su izmjerene krivulje snage sa PLC brojila i procijenjene krivulje snage za neka PLC brojila iz izmjerene i procijenjene dnevne energije prema koeficijentima iz krivulje kontrolnog mjerenja te za mehanička brojila iz akontacija prema koeficijentima iz nadomjesne krivulje opterećenja. Na Slici 5. je krivulja gubitaka radne snage 20.01.2016. za TS Brda 2.



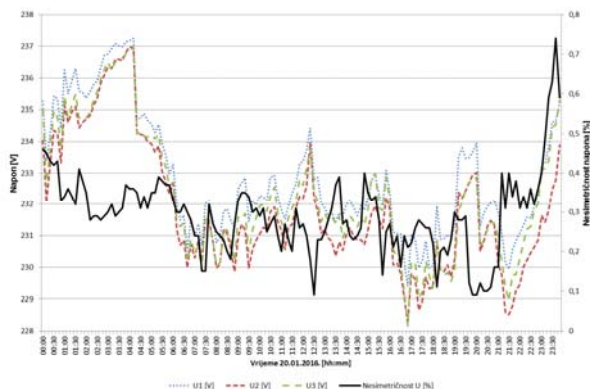
Slika 5. Krivulja gubitaka radne snage u TS Brda 2 10/0.4 za karakterističnu srijedu dana 20.01.2016.

Programskim paketom WinDis izvršen je proračun tehničkih gubitaka za područje TS Brda 2 10/0.4 iz poznatih podataka o niskonaponskim vodovima i broju potrošača. Rezultati proračuna pokazuju da ukupni gubitci radne snage u mreži, prijenosom električne energije od TS Brda 2 do krajnjih potrošača, iznose 4,90 kW, odnosno 1.67% [2]. Slika 5. prikazuje vršne gubitke snage od 85,6 kW, odnosno 22,5%.

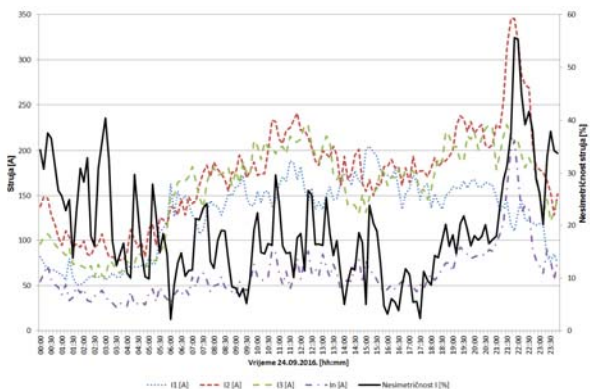
### 3.6 Nesimetričnosti u mreži

U nadzornom brojilu u TS se pohranjuju 10-minutni prosjeci efektivnih vrijednosti faznih napona i struja, neutralne struje te postotni iznosi nesimetričnosti napona i struja. Na Slici 6a. je prikaz krivulje nesimetričnosti napona za 20.01.2016. uz maksimum od 0,74% ostvaren u 23:40. Na Slici 6b. je prikaz krivulje nesimetričnosti struja za 24.09.2015. uz maksimum od 55,6% ostvaren u 21:50. Maksimumi se odnose na period od 09/2015. do 01./2016.





Slika 6a. Nesimetričnost napona

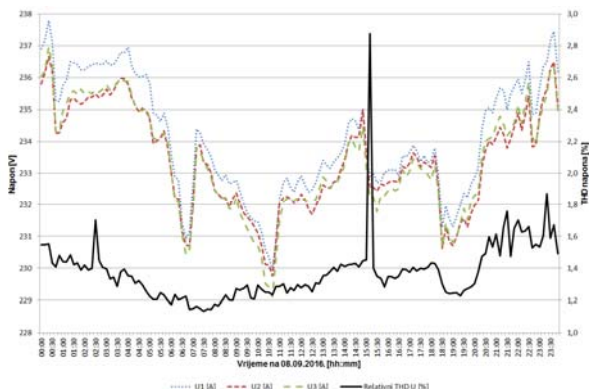


Slika 6b. Nesimetričnost struja

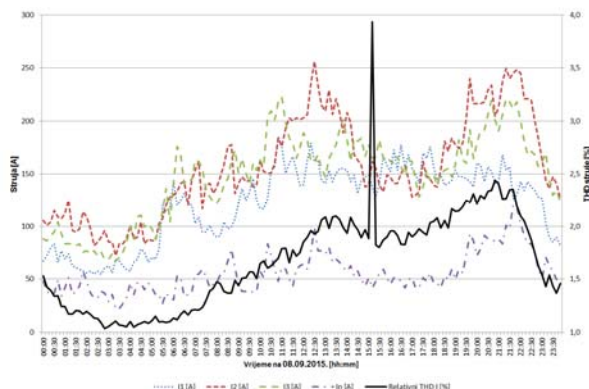
Kod krajnjih kupaca nije mjerena nesimetričnost napona i struja. Nesimetričnost struja na cijeloj TS je povremeno prevelika. Trenutno nemamo podatke koliko je jednofaznih brojila spojeno na koju fazu.

### 3.7 Faktori ukupnog harmonijskog izobličenja napona i struje

Nadzorno brojilo u TS Brda 2 svakih 10 minuta snimi relativnu vrijednost ukupnog harmonijskog izobličenja napona i struje. Dana 08.09.2015. u 15:10 zabilježen je maksimum THD napona od 2,9% i THD struje od 3,9% koji se odnose na period 09./2015.-01./2016. Na Slici 7a. je krivulja relativnog THD napona, a na Slici 7b. je krivulja relativnog THD struje za isti dan.



Slika 7a. Relativni THD napona



Slika 7b. Relativni THD struje

Najvjerojatniji uzrok maksimalnog relativnog THD napona i THD struje je propad napona.

### 3.8 Uvid u pogonske događaje

Brzi uvid u pogonske događaje u TS Brda 2 10/0.4 dobije se pregledom knjige događaja u nadzornom brojilu u TS. Dio registriranih događaja za vrijeme planiranog prekida prikazan je u Tablici VI.

Tablica VI. Ispis dijela knjige događaja na kontrolnom mjerenju TS Brda 2 10/0.4

TimeStamp	Device	Event ID	Description
17.02.2016 12:51:12	SMA_51259299	187	Terminal Cover Closed
17.02.2016 12:50:48	SMA_51259299	133	Terminal cover opened
17.02.2016 10:38:43	SMA_51259299	26	Over current (overload)
17.02.2016 10:36:45	SMA_51259299	26	Over current (overload)
17.02.2016 10:36:26	SMA_51259299	24	Power up
17.02.2016 08:21:11	SMA_51259299	23	Power down
17.02.2016 08:21:10	SMA_51259299	108	Missing measurement voltage on all phases

Nadstrujno preopterećenje odnosi se na trafostanicu koje nadzorno brojilo registrira pri 4,6 A (primarno 736 A) jer je nazivna snaga 500 kVA i prijenosni omjer strujnih mjernih transformatora 800/5 A. Pregled kraćih strujnih preopterećenja u TS Brda 2 10/0.4 sadržan je u Tablici VII. Analizom svih 10-minutnih prosječnih vrijednosti u krivulji prividne snage nije pronađen zapis o opterećenju iznad 500 kVA.

Tablica VII. Strujna preopterećenja TS Brda 2 10/0.4

Mjesec	Broj	Ukupno [s]	Najdulje [s]	Najkraće [s]	Prosjek [s]
12/2015	5	149	87	11	29,8
01/2016	20	1686	509	10	84,3
02/2016	1	118	118	118	118,0
12/15-02/16	26	1953	509	10	75,1

### 3.9 Izračun SAIDI, CAIDI i SAIFI

U knjigama događaja PLC brojila zapisani su podatci o svakom prekidu napajanja. Pri izračunu prema [4] vrijednosti indeksa sistemskog prosječnog trajanja prekida SAIDI, prosječnog trajanja prekida kod kupaca CAIDI i sistemske prosječne učestalosti prekida SAIFI uzeti su isključivo prekidi dulji od 3 minute. Tablica VIII. daje vrijednosti indikatora pouzdanosti SAIDI, CAIDI i SAIFI za 09/2015.-01./2016.

Tablica VIII. Indikatori pouzdanosti SAIDI, CAIDI i SAIFI za TS Brda 2 10/0.4 za period 09./2015.-01.2016.

Period	Ukupno kupaca	Kupaca u prekidu	Trajanje prekida [min]	Kupac-minuta	SAIDI [min]	CAIDI [min]	SAIFI
09/2015	207	1013	1843	22569	109,03	22,28	4,89
10/2015	208	8	175	195	0,94	24,38	0,04
11/2015	208	38	100	2656	12,77	69,89	0,18
12/2015	208	207	220	1316	6,33	6,36	1,00
01/2016	209	0	0	0	0,00	0,00	0,00
09/2015-01/2016	209	514	985	14387	68,84	27,99	2,46

Najnepovoljniji indeksi su izračunati za rujan 2015. kada je bila izvršena instalacija PLC brojila u mrežu. U prosincu 2015. je kod planiranog prekida prividno jedan kupac imao napajanje. Naknadno je ustanovljeno da je to mjerno mjesto napajano sa susjedne TS Brda 12 unatoč očitavanju iz TS Brda 2.

## 4. ZAKLJUČAK

Uz mnogo prednosti pred GPRS tehnologijom, očitavanje brojila testiranom PLC SFSK tehnologijom PLAN+ zadovoljava iste kriterije uspješnosti. Izbor tehnologije za masovnu zamjenu brojila treba napraviti nakon uvida u mogućnosti najnovijih PLC OFDM tehnologija sa većim brzinama prijenosa podataka u mrežama sličnih topologija i razina prisutnih smetnji uz iste kriterije uspješnosti očitavanja. Masovna zamjena brojila će imati integracijski učinak na različite odjele i zahtjeve za većom razinom koordinacije u distribucijama sa izglednim organizacijskim promjenama. U svakoj TS će trebati ugraditi nadzorno brojilo i pripremiti podatke o priključenim potrošačima po niskonaponskim izvodima i fazama.

## 5. LITERATURA

- [1] I. Ajduković, „Osnovna podloga investicijske aktivnosti – Pilot projekt testiranja PLC tehnologije naprednih brojila i AML sustava za očitavanje i upravljanje brojilom“, Split, 05./2015.
- [2] Z. Kovačić, T. Rogošić, "Energetski proračun niskonaponske mreže – TS Brda 2“, Split, 02./2016.
- [3] M. Ćurković, „Izveštaj o sukladnosti opskrbnog napona prema EN 50160 za TS Brda 2“, Split, 12./2015.
- [4] L. Leyton, "Electric System Reliability Indices“, 2004.,  
[http://www.l2eng.com/Reliability\\_Indices\\_for\\_Uutilities.pdf](http://www.l2eng.com/Reliability_Indices_for_Uutilities.pdf)