

DOI: [10.46793/CIGRE37.B5.09](https://doi.org/10.46793/CIGRE37.B5.09)**B5.09****SISTEMSKO MERENJE KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE U PRENOSNOJ MREŽI**
SYSTEMATIC MEASUREMENT OF THE POWER QUALITY ON THE TRANSMISSION
POWER SYSTEM**Dorđe Jeremić, Jelena Car, Vladimir Ristić, Andrej Stojković ***

Kratak sadržaj: Otvaranje tržišta električne energije, tretiranje električne energije kao robe, sve veći broj distribuiranih izvora električne energije priključenih na prenosni sistem, daju nam obavezu da je kvalitet električne energije, pored kontinuirane isporuke, veoma važan za krajnjeg kupca. Praćenje parametra kvaliteta u prenosnoj mreži je prepoznato i pored postojećih merila kvaliteta, u radu ćemo prikazati način i odabir mesta postavljanja novih uređaja za kontinuirano praćenje parametra kvaliteta električne energije. Predstavljani su kriterijumi za izbor mesta ugradnje merila kvaliteta, kao i karakteristike novougrađenih uređaja. Detaljno je dat način povezivanja i smeštaja merila kvaliteta na postojeću opremu za merenje električne energije. Za prenos podataka sa merila kvaliteta u prenosnoj mreži, koristimo postojeću komunikacionu infrastrukturu sa implementacijom novog softverskog alata. U radu je predstavljena implementacija softverskog paketa i način prenošenja podataka odnosno odabir komunikacionih puteva.

Ključne reči: *merila kvaliteta električne energije, komunikacija, softver*

Abstract: The opening of the electricity market, treating electricity as a commodity, and the increasing number of distributed energy sources connected to the transmission system impose an obligation on us that the power quality, in addition to continuous supply, is very important for the end customer. Monitoring power quality parameters in the transmission network is recognized, and alongside existing power quality standards, this paper will present the method and selection of locations for the installation of new devices for continuous monitoring of power quality parameters. Criteria for selecting installation sites for power quality meters, as well as characteristics of the newly installed devices, are presented. The method of connecting and placing power quality meters onto the existing electricity measurement equipment is detailed. For data transmission from power quality meters in the transmission network, we utilize existing communication infrastructure with the implementation of a new software tool. The paper presents the implementation of the software package and the method of data transmission, i.e., the selection of communication pathways."

* Đorđe Jeremić, EMS AD Beograd, djordje.jeremic@ems.rs
Jelena Car, IMP – Automatika, jelena.car@pupin.rs
Vladimir Ristić, EMS AD Beograd, vladimir.ristic@ems.rs
Andrej Stojković, EMS AD Beograd, andrej.stojkovic@ems.rs

Key words: *power quality meters, communications, software*

1 UVOD

Kvalitet električne energije se može posmatrati u širem smislu, odnosno može se govoriti o upotrebnom kvalitetu, ekološkom kvalitetu, komercijalnom kvalitetu i tehničkom kvalitetu električne energije[1]. Električna energija mora biti raspoloživa u potrebnim količinama 24/7, proizvedena prema svim ekološkim standardima po ekonomski najpovoljnijim cenama, sa pouzdanom i kontinuiranom isporukom i sa kvalitetom napona koji odgovara standardima kvaliteta. Prema pravilima o radu prenosnog sistema[2], parametre kvaliteta električne energije ocenjujemo na osnovu sledećeg: prekida isporuke, kvaliteta napona i kvaliteta frekvencije.

Kvalitet napona na mestu priključenja, odnosno povezivanja na elektroenergetski sistem definišu: efektivna vrednost napona, trenutna vrednost napona, nesimetrija, viši harmonici i flikeri u skladu sa standardom SRPS EN 50160 (za najviši naponski nivo uređen ovim standardom).

Kvalitet frekvencije odnosno njena varijacija mora biti u skladu sa standardom SRPS EN 50160.

Prekidi isporuke električne energije koji nastaju zbog uzroka unutar prenosnog sistema, u ukupnom trajanju tokom jedne kalendarske godine, mogu biti najviše dva sata za mesta priključenja generatorskih jedinica, četiri sata za ostala mesta priključenja ili povezivanja na naponskim nivoima 400 kV, 220 kV i 110 kV, šest sati za ostala mesta priključenja ili povezivanja na naponskim nivoima nižim od 110 kV.

2 IZBOR MESTA POSTAVLJANJA SISTEMA ZA KONTINUIRANO PRAĆENJE PARAMETRA KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Kvalitet električne energije možemo posmatrati sa strane korisnika prenosnog sistema odnosno kupca odnosno sa strane prenosnog sistema kao pružaoca usluge isporuke električne energije. Na kvalitet električne energije u prenosnom sistemu utiču proizvođači električne energije i kupci električne energije koji koriste poluprovodničke komponente, pretvarače i ispravljače, koji mogu da dovedu do pojave izobličenja sinusoidnog oblika napona (flikeri, harmonici). Nagli ispadi velikih kupaca i proizvođača sa prenosnog sistema mogu uzrokovati propade napona ili pojavu povišenog napona.

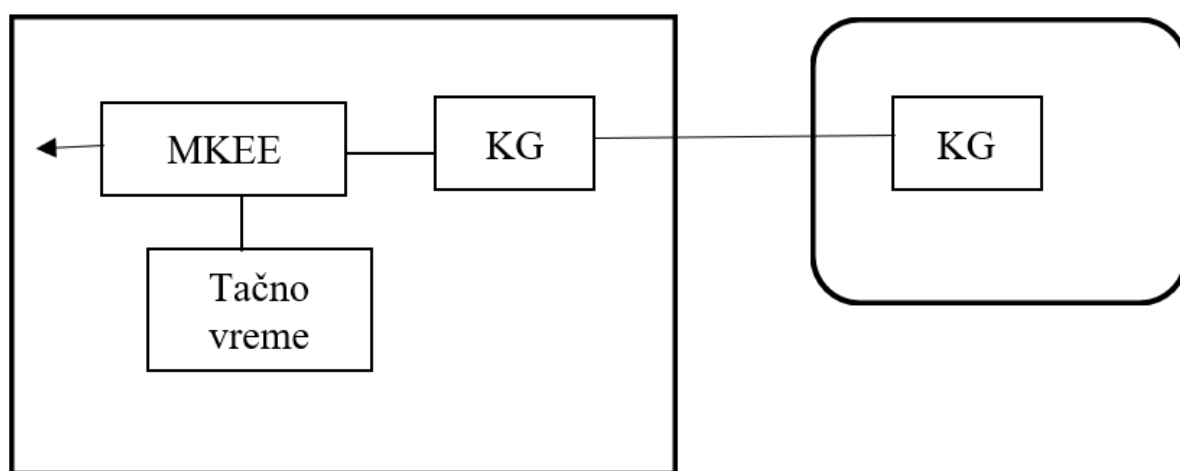
Sa stanovišta kupaca koji su sve više sofisticirani, pojave poremećaja - povišenog napona ili propada napona, u tački priključenja kupca mogu dovesti do ispadanja proizvođačkog pogona što za posledicu ima određene finansijske gubitke kupca. Obaveza operatora prenosnog sistema je, da na zahtev korisnika prenosnog sistema, dostavi podatke o poremećajima u prenosnom sistemu koji su uticali na kvalitet prenosa električne energije.

Posmatrajući konfiguraciju prenosnog sistema uočavamo sledeća mesta na kojima je potrebno praćenje kvaliteta: tačke povezivanja prenosnog sistema sa susednim prenosnim sistemima, odnosno tačke interkonekcije, tačke povezivanja sa distributivnim elektroenergetskim sistemom, mesta priključenja proizvođača električne energije i mesta priključenje kupaca električne energije u prenosnom sistemu. Sva ova mesta priključenja su od podjednake važnosti za kontinuirano praćenje kvaliteta električne energije. Za postavljanje uređaja za kontinuirano praćenje parametra kvaliteta električne energije izabrane su sledeće lokacije: tačke

interkonekcije sa susednim prenosnim sistemima, tačke priključenja proizvođača električne energije i tačke priključenja velikih industrijskih kupaca električne energije. Mesto ugradnje uređaja je orman merenja električne energije, a uređaji su povezani na sekundarna kola strujnih i naponskih transformatora. Sistem za merenje kvaliteta električne energije se sastoji od:

- Merila kvaliteta električne energije (MKEE)
- GPS uređaja za sinhronizaciju vremena
- Koncentratora Atlas Hydra
- Komunikacionih *gateway*-a (KG)
- Platforme za prikupljanje, skladištenje, analizu i prezentaciju rezultata na lokaciji glavnog nacionalnog dispečerskog centra (PSAP)

Konceptualna šema mesta ugradnje uređaja za praćenje kvaliteta električne energije je prikazana na slici 1



Slika 1: Konceptualna šema mesta ugradnje uređaja za praćenje kvaliteta električne energije

3 KARAKTERISTIKE MERILA KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Merilo kvaliteta električne energije, koje se koristi za praćenje parametara kvaliteta u prenosnom sistemu, zadovoljava sve uslove za analizu kvaliteta električne energije prema standardima SRPS EN 50160 [3], SRPS EN IEC 61000-4-30 [4] i IEEE 519 [5]. U tabeli 1 prikazane su tehničke karakteristike uređaja za merenje kvaliteta električne energije [6]

Tabela 1: Tehničke karakteristike merila kvaliteta električne energije

Karakteristike merila kvaliteta	
Klasa tačnosti	0,1S
Stopa uzoraka	1024 uzoraka/ciklusa
Memorija skladištenja	2 GB
Komunikacioni portovi	Dupli Ethernet + 2 x RS485 + USB + Optički

Karakteristike merila kvaliteta	
Opcioni komunikacioni portovi	Četvorožični RS 485 + port za optički konektor (jedno po merilu)
Komunikacioni protokoli	Modbus RTU I TCP, ION, DNP3, IEC 61850, DLMS
Sinhronizacija vremena	PTP, GPS, IRIG-B, NTP/SNTP
Integrirani I/O Input Output moduli	8DI, 4DO, 2RO
I/O moduli za proširenje	6DI, 2 RO ili 2 AO / 4AI (do četiri modula mogu raditi istovremeno)
Merenje kvaliteta	THD, individualni harmonici (63), DDD, flikeri, prelazni procesi, propadanje napona, snimanje talasnog oblika
Standardi merenja kvaliteta	IEC 61000-4-30, IEC 62586-1, IEC 62586-2, Klasa A/ Ispunjava / Ispunjava
Hardware lock	Posедује
Cyber security	(HTTPS, SFTP, SSH) sigurnosni protokoli, sposobnost da se uključe/isključe fizički komunikacioni portovi, TCP portovi, digitalni potpis

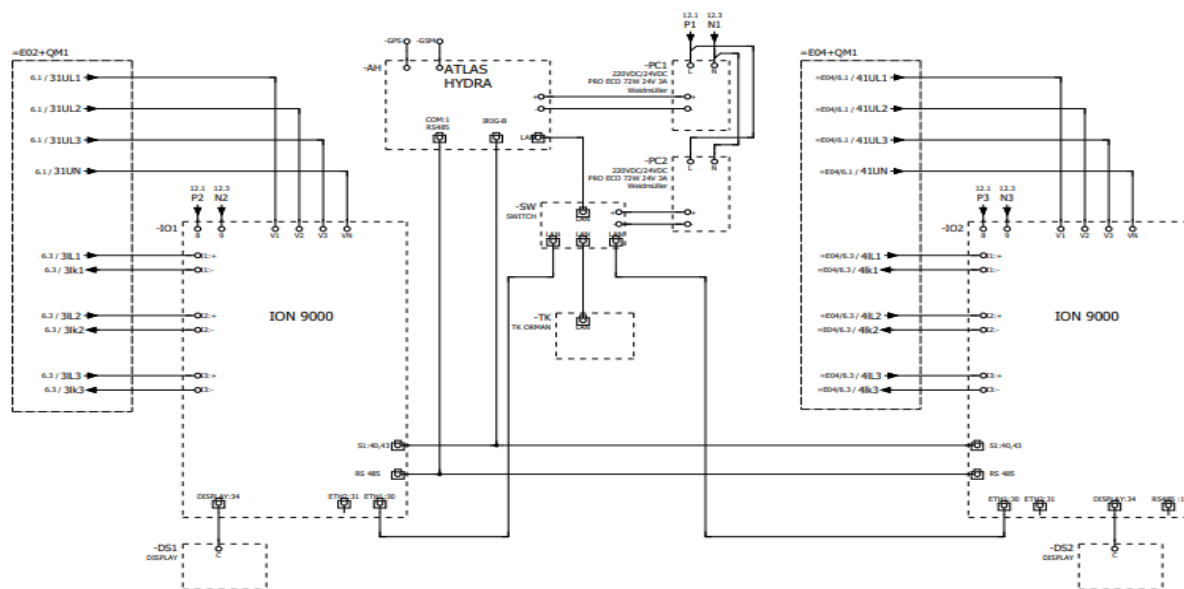
4 MONTAŽA MERILA KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE I KOMUNIKACIONE OPREME

Merila kvaliteta električne energije ugrađuju se u orman merenja. Povezuju se u sekundarna strujna i naponska kola strujnih i naponskih transformatora.

Na mestima ugradnje merila na kojima su strujni transformatori sa četiri jezgra, za povezivanje merila se koristi prvo jezgro (klase 0.2), dok se na mestima ugradnje merila kod kojih imamo strujne transformatore sa pet jezgara, koristi drugo jezgro strujnog transformatora (klase 0.2). Za povezivanje strujnih kola koriste se provodnici površine poprečnog preseka 2,5 mm². Strujna kola se povezuju na merno priključnu kutiju koja se nalazi u ormanu merenja.

Za priključenje naponskih kola merila kvaliteta, koristi se prvo jezgro naponskog transformatora (klase 0.2). Za povezivanje naponskih kola koriste se provodnici površine poprečnog preseka $2,5 \text{ mm}^2$. Naponska kola se povezuju na merno priključnu kutiju koja se nalazi u ormanu merenja.

Šema priključenja merila kvaliteta električne energije i komunikacione opreme prikazana je na slici 2.



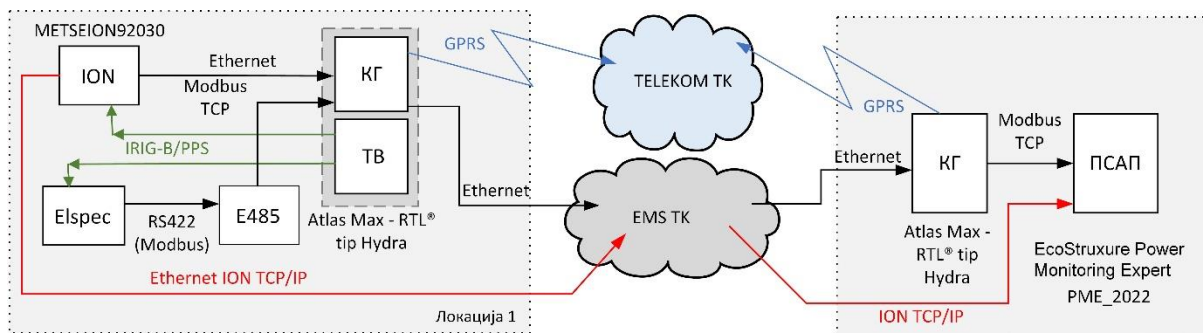
Slika 2: Šema priključenja merila kvaliteta električne energije i komunikacione opreme

Komunikacija između merila kvaliteta električne energije i platforme za prikupljanje, skladištenje, analizu i prezentaciju rezultata (PSAP) ostvaruje se preko glavnog i redundantnog prenosnog puta.

Glavni prenosni put se ostvaruje preko optičke korporativne mreže direktno sa merila kvaliteta električne energije, preko serijskog porta RS 485 po ION TCP/IP protokolu.

Redundantni prenosni put se ostvaruje preko lokalnog koncentratora tipa „Atlas Hydra“ (koji se nalazi u ormanu merenja), koji uspostavlja komunikaciju sa centralnim koncentratorom tipa „Atlas Hydra“ (koji se nalazi u server sali EMS AD). Prenos podataka se realizuje preko optičke korporativne mreže i mobilne GSM/GPRS mreže što povećava sigurnost prenosa podataka. Ova komunikacija se ostvaruje preko serijskog porta RS 485, po MODBUS TCP protokolu.

Blok dijagram sistema za kontinuirano praćenje parametra kvaliteta električne energije prikazan je na slici 3.



Izgled opreme sistema za kontinuirano praćenje parametra kvaliteta električne energije postavljene u ormanu merenja u postrojenju prikazano je na slici 4.



5 IZVEŠTAJI SISTEMA ZA MERENJE KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Platforma za prikupljanje, skladištenje, analizu i prezentaciju rezultata merenja može generisati više tipova izveštaja u zavisnosti od vrste analize. Rezultati merenja parametara kvaliteta električne energije mogu se posmatrati na dnevnom, nedeljnom i mesečnom nivou. Takođe, ove rezultate možemo posmatrati i u drugim vremenskim okvirima, zavisno od tipa analize, za poremećaj koji je uticao na kvalitet električne energije. Izveštaji se formiraju pomoću softvera za obradu podataka Power Monitoring Expert. Izgled sumarnog dela izveštaja dat je na slici 5.

Measurement and Observation Period Compliance Table

Complete Compliance in this Summary?							No				
Proizvodnja.RHE_Bajina_Basta_DV_292_A		Power Frequency	Supply Voltage Magnitude	Flicker	Supply Voltage Dips	Short And Long Interruptions	Supply Voltage Swells	Supply Voltage Unbalance	Harmonic Voltage	Interharmonic Voltage	
		Yes	No	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes	Yes	

Slika 5: Sumarna tabela nedeljnog izveštaja

Sumarna tabela, sa slike 5 prikazuje sve izmerene parametre, kako one koji jesu tako i one koji nisu u skladu sa standardom SRPS EN 50160. Ovi rezultati se posmatraju u tački merenja na dalekovodu DV 292A na kome se meri proizvedena električna energija jednog bloka u RHE Bajina Bašta. Izveštaj je generisan iz sistema Power Monitoring Expert i odnosi se na period od 19.03.2025. do 25.03.2025. godine.

Na slici 6 je prikazan deo izveštaja koji se odnosi na naponska odstupanja u odnosu na nominalnu vrednost. Može se videti da su se naponska odstupanja kretala od 27,98% do 30,26% izvan dozvoljenih granica za posmatrani period.

Supply Voltage Magnitude				
Phase 1				
N	N1	N2	N1 Eval	
1.008	290	290	28,77%	
Phase 2				
N	N1	N2	N1 Eval	
1.008	305	305	30,26%	
Phase 3				
N	N1	N2	N1 Eval	
1.008	282	282	27,98%	
Legend - Number of evaluation periods where				
N: number of intervals				
N1: voltage outside limits				
N2: count of intervals exceeding outer limits				
N1 Eval: N1 / N				

Slika 6: Deo nedeljnog izveštaja koji se odnosi na naponska odstupanja

Na slici 7, prikazan je deo nedeljnog izveštaja koji se odnosi na broj prenapona na dalekovodu DV 292A. Vidi se da je zabeleženo 8 slučajeva prenapona između 110% i 120% nominalnog napona.

Supply Voltage Swells				
Supply Voltage Swells				
Swell Voltage u(%)	$10\text{ms} \leq t \leq 500\text{ms}$	$500\text{ms} < t \leq 5\text{s}$	$5\text{s} < t \leq 60\text{s}$	$t > 60\text{s}$
S ($u \geq 120$)	0	0	0	0
T ($110 < u < 120$)	0	0	0	8

Slika 7: Deo nedeljnog izveštaja koji se odnosi na broj prenapona

6 ZAKLJUČAK

Obaveza operatora prenosnog sistema je obezbeđenje pouzdanog snabdevanja kvalitetnom električnom energijom. Da bi operater mogao da obezbedi kvalitetno snabdevanje električnom energijom, mora da ima pravovremenu informaciju o kvalitetu električne energije na mestima priključenja, kako potrošača električne energije tako i proizvođača i distributera električne energije.

Upravo je ugradnja uređaja za merenje kvaliteta električne energije, uređaja za komunikaciju i implementacija softvera za prikupljanje i obradu podataka u realnom vremenu jedini način obezbeđivanja kvalitetnog snabdevanja električnom energijom korisnika prenosnog sistema.

Podaci prikupljeni na ovaj način omogućavaju kvalitetno planiranje razvoja prenosnog sistema kao i pravovremeno održavanje opreme, što će dovesti do ekonomske isplativosti uložених sredstava na implementaciji sistema za merenje kvaliteta električne energije.

7 LITERATURA

- [1] Kvalitet električne energije V.Katić; A.Tokić; T.Konjić (Novi Sad, Jun, 2007.)
- [2] Pravila o radu prenosnog sistema (EMS mart 2020)
- [3] SRPS EN 50160 – Karakteristike napona isporučene električne energije iz javnih električnih mreža, decembar 2023.
- [4] SRPS EN IEC 61000 – 4-30 – Elektromagnetska kompatibilnost (EMS) – Deo 4-30: Tehnike ispitivanja i merenja – Metodi merenja kvaliteta napajanja, decembar 2021.
- [5] IEEE 519 – IEEE Standard for Harmonic Control in Electric Power Systems
- [6] Tehnička specifikacija proizvođača uređaja za merenje kvaliteta električne energije