

# Mjerenje potrošnje i kvalitete električne energije

---

Janković, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:400174>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom](#).

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-26**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

**Stručni studij**

**Mjerenje potrošnje i kvalitete električne energije**

**Završni rad**

**Luka Janković**

**Osijek, 2023. godina.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****Obrazac Z1S: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za završni ispit na preddiplomskom stručnom studiju**

Osijek, 13.09.2023.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Imenovanje Povjerenstva za završni ispit  
na preddiplomskom stručnom studiju**

<b>Ime i prezime Pristupnika:</b>	Luka Janković
<b>Studij, smjer:</b>	Stručni prijediplomski studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika
<b>Mat. br. Pristupnika, godina upisa:</b>	A 4641, 27.07.2020.
<b>OIB Pristupnika:</b>	14019847542
<b>Mentor:</b>	Zorislav Kraus, dipl. ing. el.
<b>Sumentor:</b>	,
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Predsjednik Povjerenstva:</b>	dr. sc. Krešimir Miklošević
<b>Član Povjerenstva 1:</b>	Zorislav Kraus, dipl. ing. el.
<b>Član Povjerenstva 2:</b>	Ružica Kljajić, mag. ing. el.
<b>Naslov završnog rada:</b>	Mjerenje potrošnje i kvalitete električne energije
<b>Znanstvena grana završnog rada:</b>	<b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Zadatak završnog rada</b>	- postavljanje uređaja za mjerenje u trajanju od 7 dana - upoznavanje da normom za kvalitetu električne energije HRN EN 50160 - preuzimanje i obrada snimljenih podataka - analiza pojedinih parametara kvalitete električne energije prema normi - analiza potrošnje domaćinstva
<b>Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (završnog rada):</b>	Vrlo dobar (4)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
<b>Datum prijedloga ocjene od strane mentora:</b>	13.09.2023.
Potvrda mentora o predaji konačne verzije rada:	Mentor elektronički potpisao predaju konačne verzije.
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 05.10.2023.

Ime i prezime studenta:	Luka Janković
Studij:	Stručni prijediplomski studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika
Mat. br. studenta, godina upisa:	A 4641, 27.07.2020.
Turnitin podudaranje [%]:	12

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Mjerenje potrošnje i kvalitete električne energije**

izrađen pod vodstvom mentora Zorislav Kraus, dipl. ing. el.

i sumentora ,

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE</b> .....	<b>2</b>
2.1. Norme i standardi za kvalitetu električne energije .....	2
2.2. Tehnički parametri norme HRN EN 50160.....	3
<b>3. MJERENJE POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE</b> .....	<b>9</b>
<b>3.1 Elektromehaničko brojilo</b> .....	<b>9</b>
3.1.1. Princip rada elektromehaničkog brojila .....	10
<b>3.2 Elektroničko brojilo</b> .....	<b>11</b>
3.2.1 Princip rada elektroničkog brojila .....	12
<b>3.3 Elektroničko brojilo Landis+Gyr E450</b> .....	<b>13</b>
<b>4. MJERENJE I ANALIZA REZULTATA MJERENJA</b> .....	<b>14</b>
<b>5. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>24</b>
<b>LITERATURA</b> .....	<b>25</b>
<b>SAŽETAK</b> .....	<b>26</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>27</b>
<b>ŽIVOTOPIS</b> .....	<b>28</b>

## 1. UVOD

Zbog velike potrebe za električnom energijom i sve većim razvojem povećala se i potreba za što boljom kvalitetom električne energije. Električna energija koju smo počeli koristiti prije više od jednog stoljeća nije bila namijenjena za današnje razmjere i ovakvu upotrebu te se u posljednjih nekoliko desetljeća dosta truda posvećuje kvaliteti električne energije koja je naglim i ubrzanim razvojem postala jako bitna. Električna energija tretira se kao roba jer je najraširenija i jedna od najvažnijih temelja društva. Električna energija kao specifičan proizvod ne ovisi samo o elementima koji ju proizvode nego i o načinu uporabu i broju trošila koje opskrbljuje. Odgovornost se traži kako od proizvođača tako i od potrošača električne energije. Kako bi se smanjile loše posljedice i troškovi otklanjanja kvarova određene su norme koje se poštuju i s kojima je sustavu donesena stabilnost pri radu. Kvaliteta je utvrđena međunarodnim normama. Najvažnija norma je HRN EN 50160 koja je obrađena i opisana kroz rad.

## **2. KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE**

Kvaliteta električne energije je pojam koji je postao jako važan i kojem se daje puno pažnje unazad nekoliko desetljeća. Električna energija je proizvod kojim se trguje na tržištu i kao takva mora ispunjavati određene uvjete. Potrošač kao kupac želi da se ispuni njegova potražnja u svakom trenutku, ali i kao kupac koji plaća svoj proizvod želi da se taj napon prilagodi njegovim trošilima. Loša kvaliteta električne energije smanjuje životni vijek svih uređaja koji se koriste s njom te donosi ekonomske probleme kako proizvođaču tako i potrošaču. Uzimajući u obzir industriju doći će do lošije proizvodnje kao i do problema prilikom rada postrojenja dok u kućanstvima dolazi do oštećenja uređaja i sustava, a samim time dolazi i do izlaganja opasnosti u kućnim električnim instalacijama. Trošila postaju sve osjetljivija i kompleksnija te se povećava uporaba nelinearnih uređaja koja povećavaju svoju učinkovitost. Istodobno ti uređaji negativno utječu na kvalitetu električne energije

„Dobra“ kvaliteta električne energije - električna energija koja ima unaprijed određene parametre frekvenciju i amplitudu dok su vrijednosti sinusnog napona i struje bez izobličenja.

„Loša“ kvaliteta električne energije - Vrijednosti struje, frekvencije i sinusnog napona izlaze izvan granica zadanih vrijednosti odnosno ograničenja.

### **2.1. Norme i standardi za kvalitetu električne energije**

Norme i standardi imaju zadaću održavanja sustava i rješavanja problema do kojih dolazi te samim time zahtijevaju usklađivanje i poštivanje. Norme za kvalitetu dolaze do izražaja i zadužene su kod uređaja odnosno trošila koja negativno utječu na rad sustava generirajući više harmonike odnosno struje viših harmonika. Na području Europe koristi se norma EN 50160 kojom se prate kriteriji električne energije dok se osim te norme u svijetu koriste još neke norme kao što su:

IEEE (međunarodna norma) najzastupljenija u Sjedinjenim Američkim Državama. Organizacija čiji je rad i razvoj standarda vezan za gotovo pa svaku vrstu električne industrije.

Najpoznatije norme su IEEE 519 - vezana je za kvalitetu električne energije gdje se kontroliraju viši harmonici na svim naponskim razinama, počevši od niskog napona pa sve do napona viših od 161 kV.

IEEE 1159 – norma kojom se definiraju kriteriji i pokazatelj za kvalitetu električne energije

IEC globalna organizacija koja je začetnik svih međunarodnih standarda vezanih za elektroničke, električne i za to vezane tehnologije. IEC je predvoditelj u poljima elektrotehnike, elektronike gdje se vrši procjenjivanje sukladnosti sa standardima odnosno normama koje se koriste.

EN 50160 norma kojom se u distribucijskim mrežama u normalnom pogonu opisuje i definira kvaliteta napona. Gledaju se parametri i obilježja opskrbnog napona na mjestu predaje napona potrošaču. Hrvatska je 2012. godine preuzela taj standard iz Europske unije. Svrha ove norme je opisivanje opskrbnog napona prema:

- Frekvenciji
- Valni oblik
- Veličini amplitude
- Simetrija tri fazna napona vodiča

Navedene značajke su promjenjive u normalnom pogonu zbog promjena opterećenja, kvarova koji se događaju a izazvani su vanjskim neplanskim događajima te smetnjama iz drugih postrojenja. Norma HRN EN 50160 se ne zadaje u stvarnim graničnim pogreškama nego se prati tako da se vrijednosti ne premaši tijekom 95 % vremena promatranja. Mjerenje se vrši jedan tjedan odnosno (7) sedam dana, te se uzima 10 -sekundna ili 10 - minutna srednja vrijednost izmjerene veličine. Norma je pokrenuta 1995. godine, dok se u Hrvatskoj koristi od 2012. godine. Normu EN 50160 je razvila organizacija CENELEC (Europski odbor za elektrotehničku normizaciju). CENELEC je zadužen za europske standarde i norme u području elektrotehnike. Norme se koriste na području Europe ali i izvan. Normom EN 50160 obrađeni su i odrađeni osnovni zahtjevi kojima se određuje kvaliteta električne energije. Elektromagnetske smetnje se reguliraju na mjestima priključenja i predaje u niskonaponskim i srednje naponskim mrežama.

## **2.2. Tehnički parametri norme HRN EN 50160**

Analiza kvalitete električne energije bi se trebala provoditi iz nekoliko razloga:

- Zbog definiranja parametara električne energije prema kupcu koja se zahtjeva tijekom isporuke
- Zbog pravovremenog otklanjanja poteškoća, kvarova i problema koji imaju negativan utjecaj u korist distributera i kupca

Tablica 1.1 prikazuje granične vrijednosti pokazatelja kvalitete električne energije u distribucijskim mrežama koje su propisane normom HRN EN 50160.



Tehnički parametri kvalitete električne energije:

### Granične vrijednosti norme HRN EN 50160:

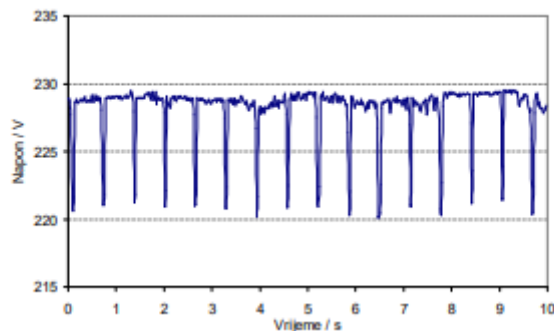
EN 50160			
POKAZATELJ	MJERNA JEDINICA	Obilježja niskog napona	Obilježja srednjeg napona
Promjene napona	V	$\pm 10 \% U_n$ za 95 % tjedna	$\pm 10 \% U_c$ za 95 % tjedna
		+10/-15 % $U_n$ za 5 % tjedna	
Kratki prekidi	Broj	< 3 min. – nekoliko desetaka do stotina godišnje	
Dugi prekidi	Broj	$\geq 3$ min. – < 10 – 50 godišnje	
Propadi	Broj	nekoliko desetaka do tisuću godišnje	
THD napona	% $U_n$	< 8 % $U_n$	
Treperenje	$P_{fl}$	$P_{fl} \leq 1$ , za 95 % tjedna	
Nesimetrija	% $U_n$	< 2 % $U_n$	
Frekvencija	Hz	$\pm 1 \% U_n$ za 99,5 % godine	
		+ 4/-6 % $U_n$ za 100 % vremena	

Tablica 2.1 Prikaz ograničenja pokazatelja norme HRN EN 50160

- Mrežna frekvencija
- Veličina napona
- Treperenje napona (flicker)
- Propad napona
- Prekid napona
- Prenapon
- Nesimetrija napona
- Harmonici

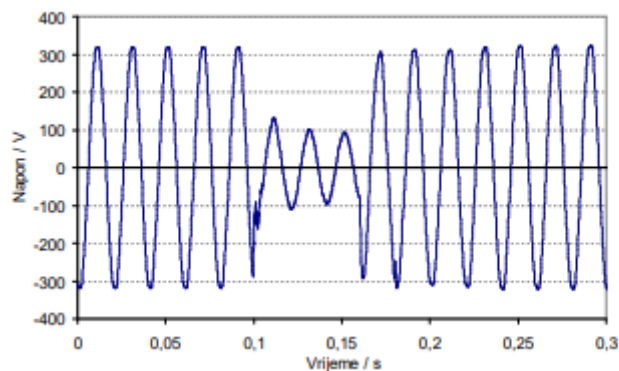
Većina tehničkih parametar se odnosi na naponske poremećaje tako da možemo reći da na kvalitetu električne energije najveći utjecaj ima kvaliteta napona mreže. Kako bi se odredila kvaliteta mreže nije nužno pratiti i mjerenje svih tehničkih parametara. Kako se na području Republike Hrvatske i Europe koristi norma EN 50160 najbitniji parametri su: Amplituda, Frekvencija, Valni oblik, i simetrija triju faznih napona.

- a) Mrežna frekvencija: Fizikalna veličina koja opisuje učestalost broja ponavljanja neke periodične veličine u vremenu u našem slučaju broj titranja naponskog vala u sekundi. Nazivna frekvencija mreže iznosi 50 Hz. Prema normi EN 50160 dopušteno je:
- 50 Hz  $\pm$  1 % za 99.5 % godine  
 50 Hz +4 % i -6 % za 100 % vremena
- b) Veličina napona: Stvarni iznos napona na mjestu gdje potrošač preuzima električnu energiju. Prema normi EN 50160 dopušteno je:
- 230  $\pm$  10 %  $U_n$  za 95 % tjedna  
 230 + 10/-15 %  $U_n$  za 5 % tjedna
- c) Treperenje napona (engl. flicker): Treperenje napona se najčešće uočava na promjeni inteziteta svjetlosti u prostoriji titranje žarulje ili titranje svjetlosti na zaslona računala. Javlja se zbog promjene opterećenja odnosno prilikom ukapčanja i iskapčanja električne opreme koja je spojena na napon distribucijske mreže. Ljudskom oku najviše smetaju flickeri frekvencije od 7 do 10 Hz. Na slici 2.2 je prikazan primjer treperenja napona, a ustanovljen je prilikom praćenja kvalitete električne energije.



Slika 2.2. Primjer treperenja napona [3]

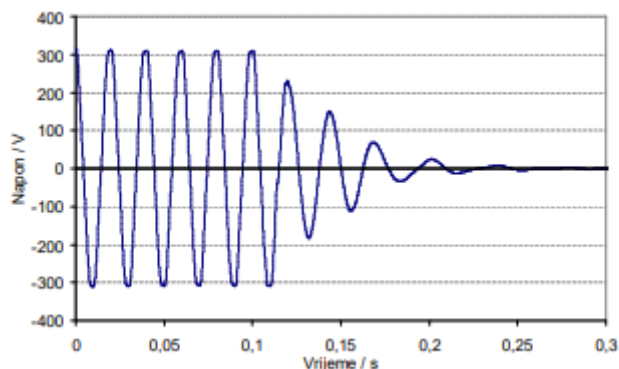
- d) Propad napona: naglo, kratkotrajno sniženje efektivne vrijednosti opskrbnog napona. Pojavljuju se u sustavu zbog naglih opterećenja odnosno pokretanja motora većih snaga i kratkih spojeva. Nepredviđeni i kratkotrajni slučajevi smanjenja napona mreže od 90 % do 1 %  $U_n$  te vraćanje na nazivni napon. Pojavljuju se od nekoliko desetaka do tisuću godišnje i dozvoljeni su u tim razmjerima uz uvjet da je velika većina propada napona kraća od 1 sekunde te iznos njihove amplitude manji od 60 % nazivnog napona. Posebno osjetljiva oprema su računala, oprema za vođenje procesa te pogoni s promjenjivim brzinama. Na slici ispod prikazan je primjer kratkotrajnog propada napona.



Slika 2.3. Primjer propada napona [3]

- e) Prekid napona: pojava kod koje dolazi do nestanka napona. Prekidom napona se smatra slučaj u kojem dolazi do smanjenja vrijednosti napona ispod 5 % nazivnog. Postoje dugi prekidi napona iznad 3 minute i kratki prekidi napona ispod 3 minute. Prekidi mogu biti planirani i neplanirani.

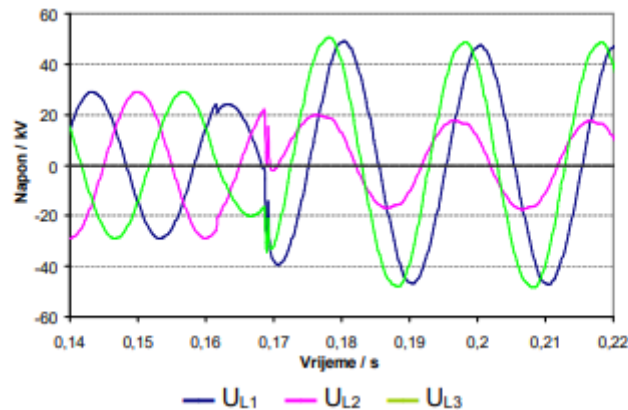
Dugotrajni prekid je prekid iznad 3 minute koji može nastati zbog svjesnog otvaranja prekidača uslijed djelomičnog kvara ili je posljedica izoliranja trajnog kvara zaštitnim uređajima. Na slici 2.4. je prikazan prekid napona koji može biti planirani ili neplanirani. Daljnjom analizom te nakon otklanjanja kvara utvrdit će se vrijeme prekida odnosno kakav je prekid dugotrajan ili kratkotrajan, te dali je prekid bio planiran ili neplaniran.



Slika 2.4. Primjer prekida napona [3]

- f) Prenapon: Pojave u sustavu gdje dolazi do porasta vrijednosti napona iznad unaprijed dogovorene granice. Prenaponima se smatraju prijelazne pojave kao što su atmosferska pražnjenja, udari groma u fazne vodiče ili negdje blizu faznih vodiča te prenaponi koji se pojavljuju kod kratkih spojeva, uklapanja i isklapanja u elektroenergetskoj mreži, kao i naglih padova opterećenja. Samim tim se prenaponi dijele na unutarnje i vanjske.

- g) Nesimetrija napona – naponi su na različitim fazama jednakog iznosa i pomaknuti za  $120^\circ$  međusobno. Nesimetrija nastaje prilikom djelovanja nesimetričnih opterećenja te nejednakog opterećenja na fazama što ima za uzrok na različite visine napona i kuteve između faza. Nesimetrični napon negativno utječe na rad trošila, takav primjer nesimetrije napona vidljiv je na slici 2.5. gdje su faze L1,L2,L3 nesimetrično opterećene. Smanjenje nesimetrije se može riješiti uz balansiranje opterećenja. Metodom balansiranja opterećenje se na svaku fazu raspoređuje jednako.

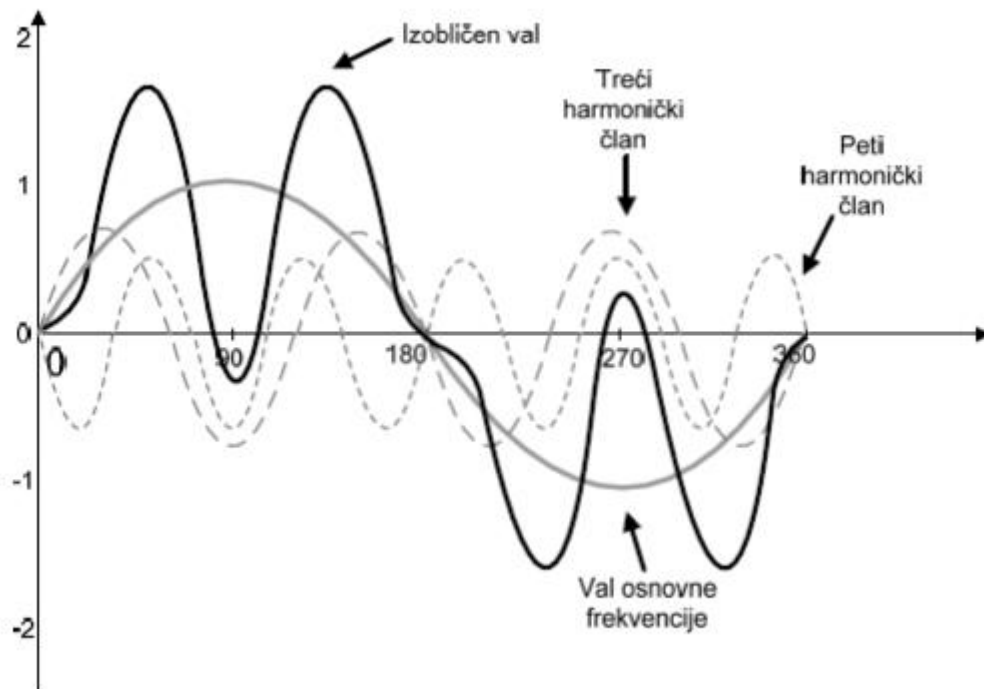


Slika 2.5. Prikaz nesimetrije napona [3]

- h) Harmonici - Upotrebom nelinearnih poluvodičkih uređaja koji su sve zastupljeniji uzrokuje se harmonički poremećaji valnog oblika napona koji loše utječu na opremu i distribucijsku mrežu.

Harmonici su naponi ili struje sinusnog oblika, a koji su ujedno i višekratnici normirane frekvencije koja u Europi iznosi 50 Hz te na kojoj radi sustav napajanja. Red harmonika se označava slovom  $h$ , koji je cijeli broj te ima iznos veći od 1. Najveća komponenta harmoničkog spektra a ujedno i osnovna komponenta je nazivna frekvencija. Čisti sinusni oblika napona s nazivnom frekvencijom od 50 Hz i amplitudom napona od 230 V, spektar je čiji je iznos jednak nuli za sve frekvencije osim za 50 Hz, za koju je vrijednost 230 V. Iskrivljeni oblik napona, odnosno njegov spektar obuhvaća harmonijske frekvencije koje su karakteristične za određene poremećaje.

Slika prikazuje izobličen sinusni val između 3. i 5. harmonika.



Slika 2.6. Prikaz izobličenog sinusnog vala [3]

### **3. MJERENJE POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE**

Mjerenje potrošnje električne energije se vrši uz pomoć električnih brojila. Električna brojila su najrašireniji mjerni instrumenti koji su namijenjeni za mjerenje i registriranje količine električne energije koja se predala nekom određenom potrošaču u određenom vremensku. Upravo zbog velikog i raširenog područja primjene električna brojila se proizvode u dosta većim količinama za razliku od ostalih mjerni instrumenti. Prisutna su u svakom kućanstvu, postrojenju i na svakom mjestu gdje se predaje električna energija na korištenje. Zbog velike primjene električna brojila zahtijevaju točnost i pouzdanost, prije svega kada služe kao obračun potrošnje električne energije. Električna brojila su od svog začetka pa sve do danas neprestano usavršavana te se danas dijele na puno kriterija:

- Prema izvedbi:
  - elektromehaničko brojilo (indukcijsko)
  - elektroničko brojilo (digitalno)
- Prema broju faza:
  - jednofazna brojila
  - trofazna brojila
- Prema broju tarifa:
  - jednotarifna
  - dvotarifna
  - višetarifna
- Prema vrsti energije koju mjere:
  - brojila jalove energije
  - brojila radne ili djelatne energije
- Prema načinu priključka:
  - izravna
  - neizravna (preko strujnog i naponskog transformatora)
  - poluizravna (preko strujnog transformatora)

#### **3.1 Elektromehaničko brojilo**

Elektromehanička brojila još se i nazivaju indukcijska brojila. Najčešća primjena je u domaćinstvima. Prednosti elektromehaničkih brojila su pouzdanost, robusnost i postojanost. Elektromehanička brojila mogu registrirati u jednoj ili dvije tarife te su građena za struje do 100A.

### 3.1.1. Princip rada elektromehaničkog brojila

Sastoje se od 2 elektromagneta. Strujnog i naponskog dok se između elektromagneta nalazi aluminijska pločica koja se vrti jer na nju djeluju magnetski tokovi koji izazivaju vrtložne struje. Rezultat svega je djelovanje zakretnih momenata kojim se mora postići da ukupni zakretni moment koji okreće pločicu bude proporcionalan umnošku struje napona i kosinusa kuta između njih. To se računa prema izrazu:

$$M_1 = k_1 \times U \times I \times \cos \varphi \quad (3-1)$$

gdje je:

$M_1$  - zakretni moment [Nm]

$k_1$  – konstanta brojila

$U$ - napon [V]

$I$  – struja [A]

$\cos \varphi$  – faktor snage

Zakretnom momentu se suprotstavlja kočni moment prema formuli:

$$Mk = k_2 \times \omega \quad (3-2)$$

gdje je:

$k_2$  - konstanta brojila

$Mk$  – kočni moment [Nm]

$\omega$  - brzina vrtnje aluminijske pločice [rad/s]

Brzina aluminijske pločice će se ustaliti kada se momenti izjednače:

$$M_1 = Mk \quad (3-3)$$

gdje je

$M_1$  - zakretni moment [Nm]

$Mk$  - kočni moment [Nm]

Potrošak električne energije po kWh (kilovatsat-u) se dobije iz formule:

$$W = \frac{N}{c} [kWh] \quad (3-4)$$

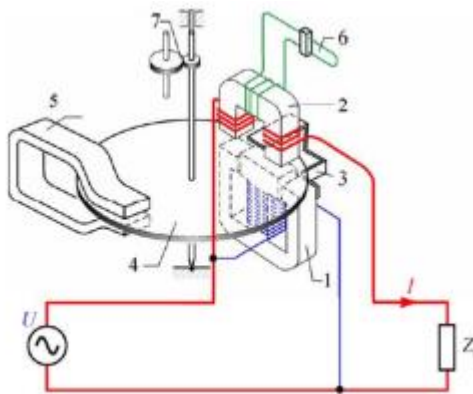
gdje je:

$N$  – broj okretaja

$c$  - konstanta brojila u okretajima po kilovatsatu (okr/kWh)

$W$  - potrošak električne energije [kWh]

Brzina vrtnje aluminijske pločice proporcionalna s snagom, a broj okretaja mjerenoj energiji. Elektromehanička brojila se sve više povlače iz upotrebe, ali uglavnom se još koriste na mjestima u kućanstvima gdje je manja potrošnja električne energije. Na slici 3.1. je prikazano indukcijsko brojilo sa svim pripadajućim dijelovima.



Slika 3.1. Jednofazno indukcijsko brojilo [10]

### 3.2 Elektroničko brojilo

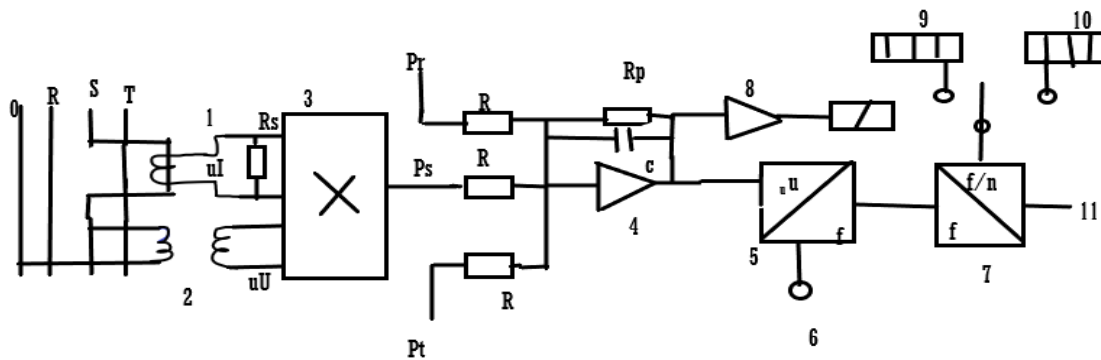
Elektronička brojila ili digitalna brojila su digitalni mjerni instrumenti koji služe za obračun potrošnje električne energije, uz to je pogreška svedena na jako mali iznos (ispod 0.1 %). Trofazna elektronička brojila se priključuju preko tri naponska i tri strujna transformatora u mrežu. Početna primjena je bila kod velikih potrošača gdje se traže uže granice pogrešaka. Iz početka nisu bila prihvatljiva za domaćinstva zbog visokih cijena, ali su se novija elektronička brojila približila cijenu indukcijskim brojilima, a što se tiče tehničkih karakteristika nadmašila su ih. Mogućnosti očitavanja su jednostavnija, prikladnija za višetarifnu politiku, mjerenje snage, te djelatne i jalove komponente struje. Najzaslužniji razlog smanjenja cijene je uvođenje mikroelektroničke tehnologija i Hallove sonde. Hallova sonda se ponaša kao množilo napona. Zasniva se na Lorentzovu pravilu. Vodljivom pločicom debljine  $d$  teče struja  $I$  te se ona nalazi u magnetskom



polje  $B$  koje djeluje na nositelje naboja u pločici. Načelo rada elektroničkog brojila je pretvaranje izlaznog napona u frekvenciju.

### 3.2.1 Princip rada elektroničkog brojila

U sekundarnom krugu strujnog transformatora 1 na otporu  $R_s$  dobiva se napon  $uI$ . Na naponskom transformatoru 2 dobije se sekundarni napon  $uU$  koji se dovode do impulsnog multiplikatora. Impulсни multiplikator impulse iz sve tri faze vodi do ulaza pojačala koje te impulse gladi i zbraja na izlazu pojačala se dobije istosmjerni napon razmjernan snazi  $P$  mreže. Dalje se na izlazu pretvornika dobiju impulsi čija je frekvencija razmjerna navedenom istosmjernom naponu. Broj impulsa u razdoblju  $t_2 - t_1$  jednak energiji  $W = \int_{t_1}^{t_2} P dt$ . Broj impulsa je moguće smanjiti uz pomoć djelila frekvencije, te se impulsi privode brojaču.



Slika 3.2. Prikaz blok sheme elektroničkog brojila

Osnovi dijelovi blok sheme elektroničkog brojila: 1 Strujni transformator s teretom  $R_s$ , 2 naponski transformator, 3 impulсни multiplikator, 4 smirujuće i gladeće pojačalo, 5 pretvornik napona u frekvenciju, 6 izlaz za umjeravanje, 7 djelilo frekvencije, 8 detektor smjera energije na osnovi predznaka istosmjernog napona na pojačalu 4, 9 brojač za primljenu energiju, 10 brojač za predanu energiju, 11 izlaz za daljinska mjerenja

### 3.3 Elektroničko brojilo Landis+Gyr E450

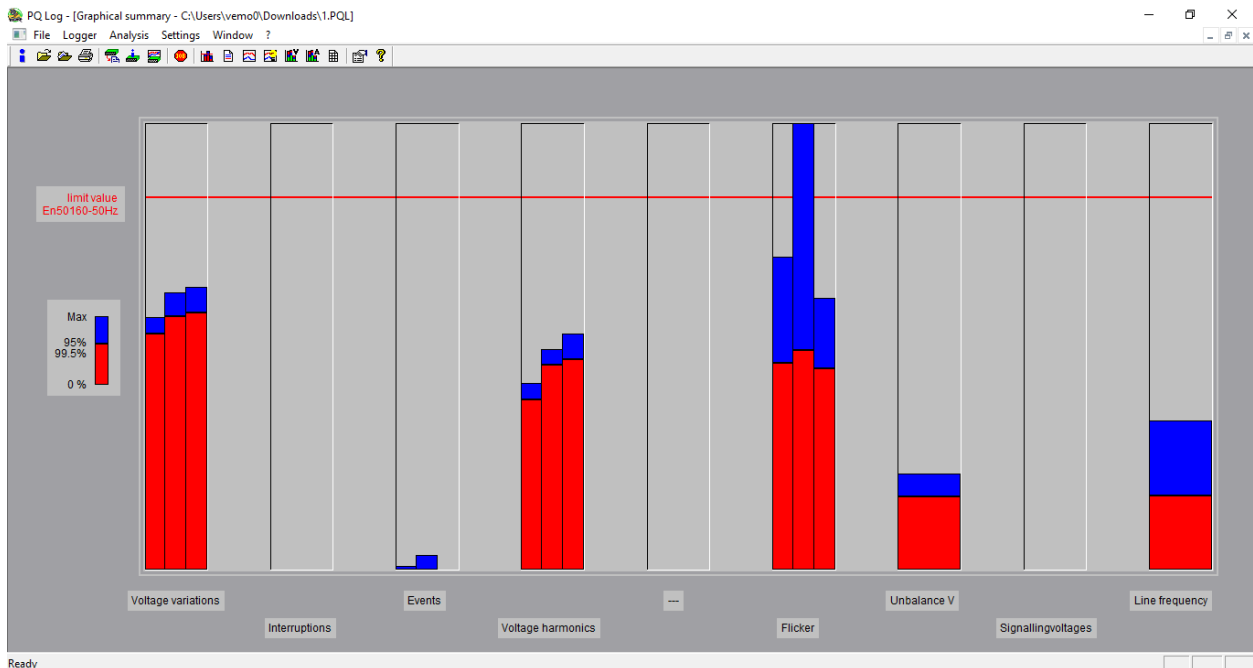


Slika 3.3 Prikaz elektroničkog brojila koje se koristi u privatnom stanu [9]

Elektroničko brojilo koje pruža maksimalnu funkcionalnost i učinkovitost. Landis+Gyr E450 omogućuje precizno očitavanje potrošnje električne energije. Postoji mogućnost jednofaznog i višefaznog spajanja, četiri neovisna profila za više energetske vrijednosti, mogućnosti zapisivanja kvalitete električne energije, stanja rastavljača, jedinica za nadzor potražnje. Mogućnost komunikacije uz pomoć PLC-a koji će osigurati najbolji trošak pri uvođenju pametnog mjerenja potrošnje samim time Landis+Gyr E450 ima mogućnost i lokalne komunikacije preko optičkog priključka. Uz prikupljanje podataka o električnoj energiji može prikupljati podatke o mjerenju potrošnje plina, topline, vode.

## 4. MJERENJE I ANALIZA REZULTATA MJERENJA

Mjerenje je provedeno u stambenoj zgradi u privatnom stanu u centru Osijeka na niskonaponskom razvodu u periodu od 26.5.2023. do 2.6.2023. odnosno tjedan dana. Od opreme je korišten mrežni analizator LEM MEMOBOX 800, a analiza izmjerenih vrijednosti je obrađena pomoću programske aplikacije PQ Log. Prikaz rezultata započeo je prikazom svih izmjerenih parametara u odnosu na normu HRN EN 50160. Crvena linija prikazuje graničnu vrijednost parametara prema HRN EN 50160, koji moraju biti zadovoljena u 95 % promatranog vremena mjerenja dok su crveni stupci prikaz vrijednosti koje su postignute tijekom 95 % promatranog vremena. Plavi stupci prikazuju vrijednosti koje su bile zabilježene u ostalom promatranom vremenu odnosno ostalih 5 %. Vremenski interval po normi HRN EN 50160 iznosi tjedan dana u 10-minutnim vremenskim segmentima.





Slika 4.1. Prikaz parametara kvalitete električne energije

Iz priložene slike je vidljivo kako treperenja (flickeri) prelaze ograničenja i to samo u drugoj fazi što ukazuje na nepravilnost u opskrbnom naponu. Ovdje promatramo kvalitetu napona, te bi samim time trebali provesti dublju analizu što je uzrok prekomjernih flickera na drugoj fazi je li uzrok u privatnom korisniku električne energije ili je u pitanju cijeli izvod iz trafostanice odnosno od izvoda transformatora. Veličina napona, prekidi, asimetričnost, događaji, signalni naponi i linijska frekvencija zadovoljavaju uvjete po normi HRN EN 50160.

PQ Log - [Table summary - C:\Users\verno0\Downloads\LPQL]

File Logger Analysis Settings Window ?

Parameter	Unit	Maximum value			95%-value		
		L1	L2	L3	L1	L2	L3
Voltage variations							
Maximum 100% / 95%	+10.00/+10.00	6.78	7.45	7.61	6.35	6.80	6.91
Minimum 100% / 95%	15.00/ 10.00	2.56	2.82	3.96	2.56	2.82	3.96
Interruptions < 1%	Number of	0	0	0	-	-	-
Events	Number of	1	1	0	-	-	-
Voltage harmonics							
THD V	%	4.02	0.89	0.95	3.66	0.83	0.85
9. Harm.	% [Vn]						
Current harmonics	A		Min				
Flicker Plt	Plt	0.843	1.283	0.732	0.556	0.590	0.541
Unbalance V	%	2.00	0.52			0.40	
Signallingvoltages	% [Vn]		No			99%-value	
frequency	50 Hz					99.5%-value	
Maximum 100% / 99.5%	%	+4/+1	0.20			0.20	
Minimum 100% / 99.5%	%	-6/-1	-0.40			-0.20	

 Max value above limit value  
 95% (99.5%) - value above limit value

Ready

Slika 4.2. Numerički sumarni prikaz izmjerenih parametara

Analizom izmjerenih podataka utvrđena je jedna smetnja i to Flickeri na drugoj fazi, dok su flickeri na prvoj i trećoj fazi u dozvoljenim granicama. 9. harmonik je u dozvoljenim granicama (Ograničenje 9. harmonika je 1.5 % u odnosu na nazivni napon 230V). Tijekom 95 % promatranog vremena srednja vrijednost 9. harmonika je u dozvoljenim granicama i u ograničenjima koja propisuje norma HRN EN 50160. Mrežni napon je za 95 % tjedna bio u dozvoljenim granicama, kao i za ostala 5 % tjedna. Naponska udarna prijelazna stanja Events su bila i to na prvoj i drugoj fazi dok na trećoj nije bilo. Faktor ukupnog harmoničkog izobličenja THD je granicama koje propisuje norma.

The screenshot shows the PQ Log software interface. At the top, there is a menu bar with 'File', 'Logger', 'Analysis', 'Events', 'Settings', and 'Window'. Below the menu is a toolbar with various icons. The main window displays a table with the following columns: 'Phase L1, L2, L3', '< 20 ms', '20...< 100 ms', '100...< 500 ms', '0.5...< 1 s', '1...< 3 s', '3...< 20 s', '20...< 60 s', and '>= 1 min'. The rows represent different event types: 'Swell > 10.00%', 'Dip > 10.00%', '10...< 15 %', '15...< 30 %', '30...< 60 %', '60...< 99 %', and 'Interruption'. The 'Dip > 10.00%' row shows 4 events in the 20-100 ms range and 1 event in the 100-500 ms range. Below the table, there is a summary section titled 'Recording as events from -10.00 / +10.00% of the nominal voltage Dip according to UNIPEDE measurement guide'. The summary includes: Number of swells: 0, Number of Dips: 5, Number of short interruptions (<3 min): 0, Number of long interruptions (>=3 min): 0, Number of interruptions: 0, Total events and interruptions: 5, Total number of allowed events: 100, and Total number of allowed interruptions: 100.

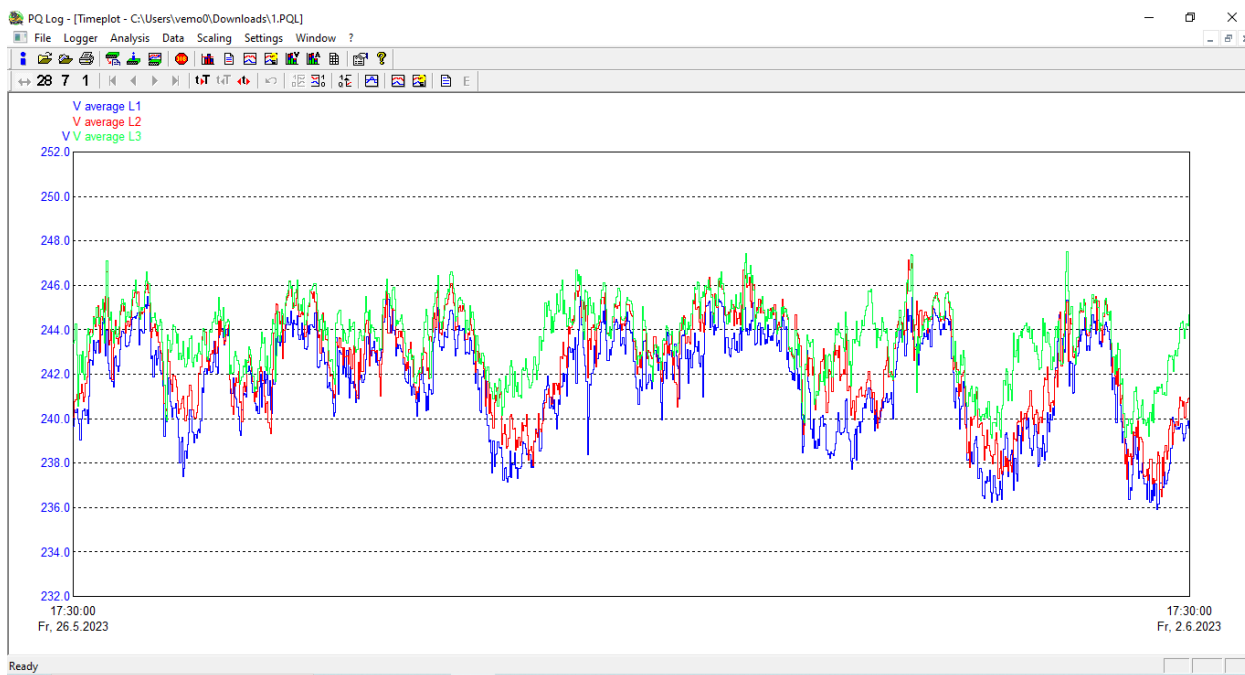
Phase L1, L2, L3	< 20 ms	20...< 100 ms	100...< 500 ms	0.5...< 1 s	1...< 3 s	3...< 20 s	20...< 60 s	>= 1 min
Swell > 10.00%								
Dip > 10.00%		4	1					
10...< 15 %								
15...< 30 %								
30...< 60 %								
60...< 99 %								
Interruption								

Recording as events from -10.00 / +10.00% of the nominal voltage  
Dip according to UNIPEDE measurement guide

Number of swells 0  
Number of Dips 5  
Number of short interruptions (<3 min) 0  
Number of long interruptions (>=3 min) 0  
Number of interruptions 0  
Total events and interruptions 5  
Total number of allowed events 100  
Total number of allowed interruptions 100

Tablica 4.3 Prikaz naponskih udarnih prijelaznih stanja(događaja)

Tablica 4.3. prikazuje prijelazna stanja događaje kojih je sve skupa bilo pet. Svi događaji su po svojim strukturama bili naponski propadi. Broj događaja je ispod granice jer je propisani broj događaja 100. Četiri naponska propada su bila u intervalima između 20 i 100 ms uz 10 do 15 % Un. Jedan naponski propad je bio u intervali od 100 do 500 ms i uz 10 do 15 % Un. Prema slici 4.2 četiri od pet naponskih propada se dogodio na drugoj fazi.



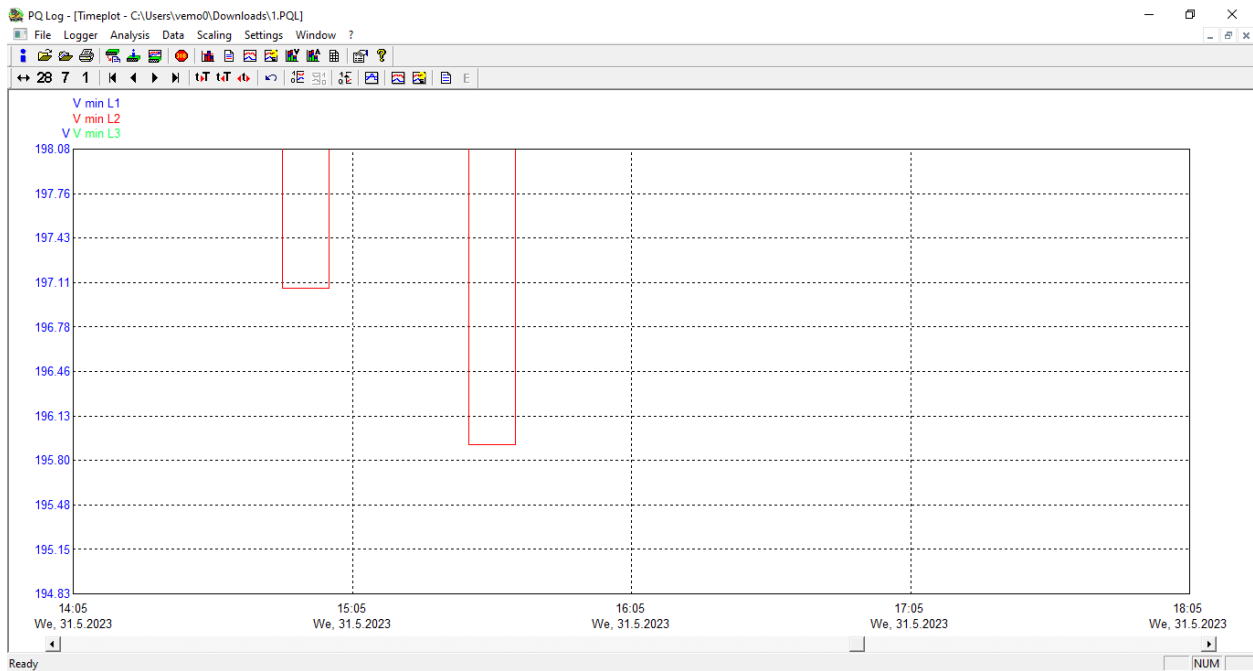
Slika 4.4 Prikaz srednje vrijednosti napona napajanja

Na slici 4.4 prikazana je srednja vrijednost napona napajanja koji prema normi HRN EN 50160 mora biti u iznosu  $\pm 10\%$   $U_n$  (od 207 V do 253 V). Naponi u sve tri faze su prema slici u zadovoljavajućem obliku te se kreću u rasponu od 236 V pa do 247 V. Svaka faza je prikazana različitom bojom (crvena, plava, zelena).



Slika 4.5. Prikazuje minimalne vrijednosti napona napajanja

Iz priložene tablice 4.3. vidimo kako su tijekom mjerenja bili prisutni samo naponski propadi te iz toga razloga slika 4.5. prikazuje minimalne vrijednosti napona napajanja.



Slika 4.6. Vremenski prikaz naponskog propada

Na slici 4.6. prikazan je naponski propad gdje je tijekom intervala od jednog tjedna na mjerenju izmjerena najniža vrijednost napona napajanja iznosa 196 V. Propad se dogodio na drugoj fazi srijedom oko 15:30. Na priloženoj slici možemo vidjeti kako se na istoj fazi otprilike pola sata ranije također dogodio naponski propad s iznosom napona 197 V. Minimalne vrijednosti iako su nakratko izašle ispod granica  $\pm 10\% U_n$  nisu padale ispod  $15\% U_n$ . Prema normi HRN EN 50160 je dozvoljen pad od  $15\% U_n$ , ali uz pretpostavku da se dogodio u onih ostalih  $5\%$  tjedna. Uz te naponske propade dogodio se još jedan naponski propad na prvoj fazi petkom u 13:10 kada je napon napajanja pao na iznos 198V te je samim time napon napajanja pao  $14\%$  ispod iznosa od 230 V.

PQ Log - [Limit value exceedings - C:\Users\vemo0\Downloads\1.PQL]

File Logger Analysis Settings Window ?

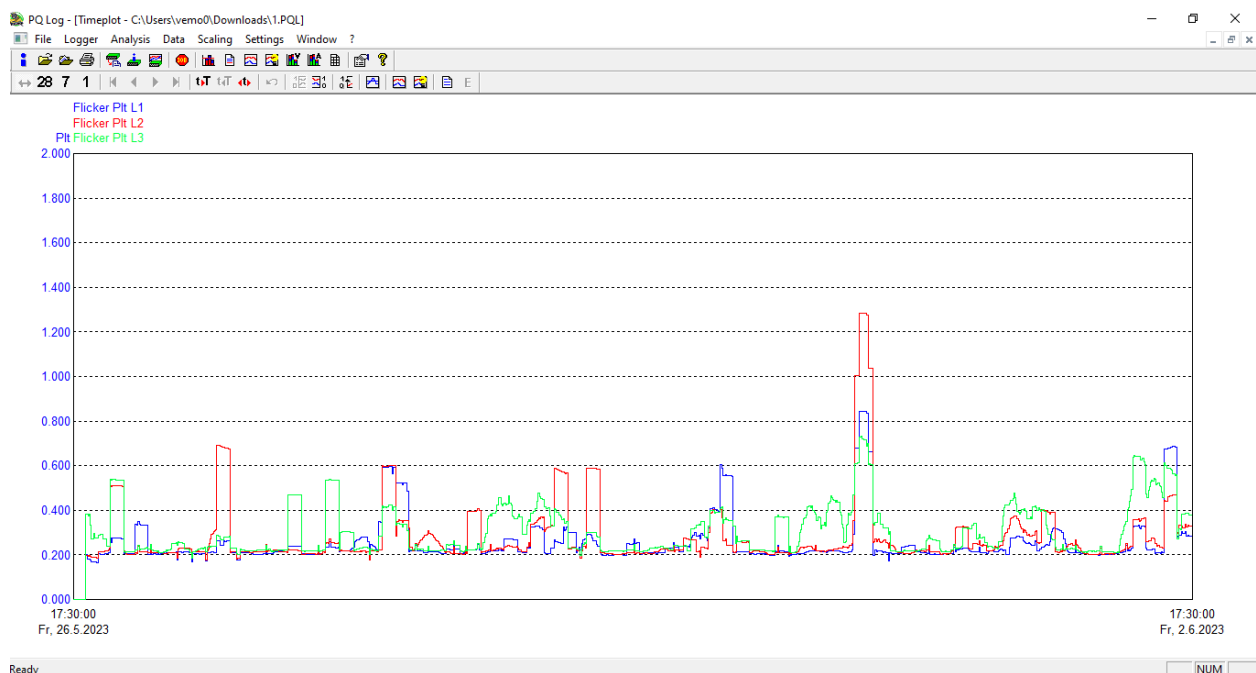
Voltage Min value [V] limit value: 230.00V +/- 10%

Date time	L1	L2	L3
31.05.2023 15:00:00	223.31	197.07	231.05
31.05.2023 15:40:00	224.35	195.92	230.10
02.06.2023 13:20:00	198.43	221.11	227.60

Ready NUM

Slika 4.7. Tablični prikaz naponskog propada napajanja koji je ispod minimalne vrijednosti

Na slici 4.7. je tablični prikaz intervala u kojima je vrijednost napona pala ispod dozvoljene ograničene vrijednosti. Ujedno je to prikaz „dubina“ naponskih propada za svaku fazu. Iz priložene tablice i obrađenih analiza možemo vidjeti da su se naponski propadi odnosno minimalne vrijednosti napona uvijek događale tijekom dana srijedom 31.05. u 15:00 i 15:40 te petkom u 13:20. Mjerenje je provedeno u centru grada gdje nema industrije te su većinom ugostiteljski objektima pa s razlogom možemo povezati naponske propade i vrijeme kada su se dogodili.



Slika 4.8. Prikaz treptaja napona (flickeri)

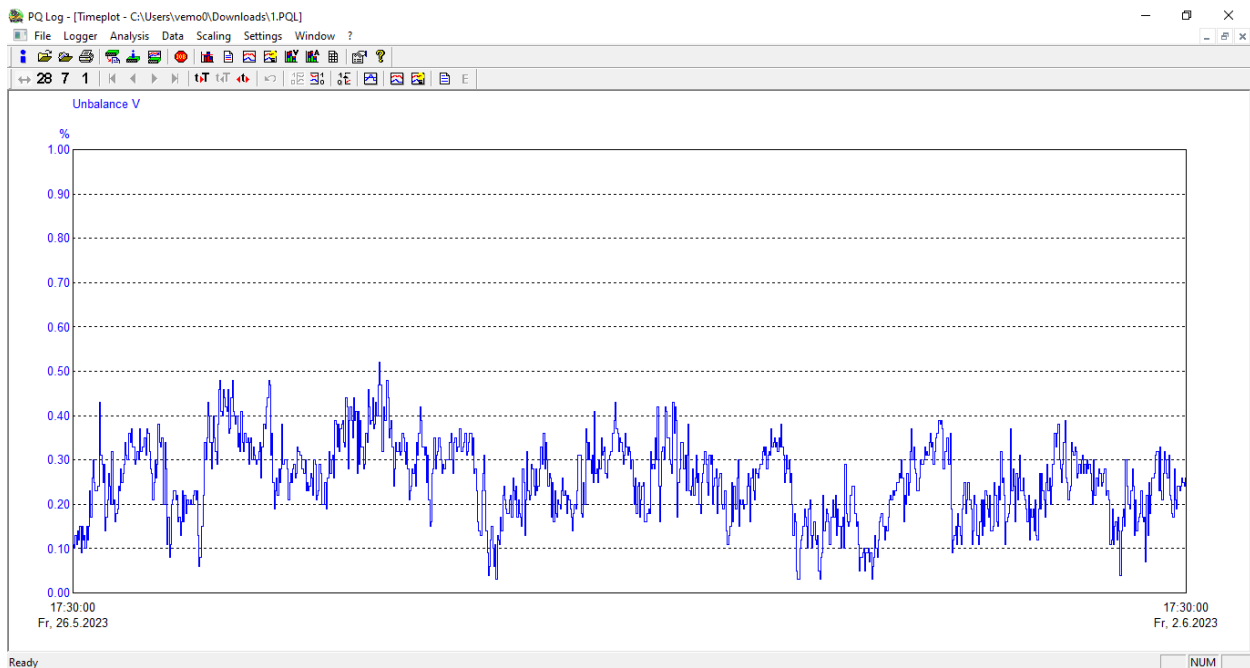


Na slici 4.8. prikazano je treperenje napona (long time flickeri) koji u jednom trenutku prekoračuju ograničene vrijednosti prema normi HRN ENE 50160 ( $P_{It} < 1$ ) i to se događa na drugoj fazi. Flickeri su u prekoračenju kada srednja vrijednost jednog intervala koji traje 10 minuta pređe preko iznosa 1. Taj se slučaj dogodio u srijedu 31.5.2023 od 15:09 do 17:30 kada je flicker na fazi L2 bio u prekoračenju.

Date time	L1	L2	L3
31.05.2023 15:00:00	0.679	1.003	0.608
31.05.2023 15:10:00	0.680	1.003	0.608
31.05.2023 15:20:00	0.680	1.003	0.612
31.05.2023 15:30:00	0.680	1.003	0.612
31.05.2023 15:40:00	0.842	1.283	0.731
31.05.2023 15:50:00	0.842	1.283	0.732
31.05.2023 16:00:00	0.843	1.283	0.721
31.05.2023 16:10:00	0.843	1.283	0.720
31.05.2023 16:20:00	0.843	1.283	0.717
31.05.2023 16:30:00	0.842	1.283	0.714
31.05.2023 16:40:00	0.836	1.277	0.687
31.05.2023 16:50:00	0.836	1.278	0.701
31.05.2023 17:00:00	0.663	1.036	0.604
31.05.2023 17:10:00	0.663	1.037	0.609
31.05.2023 17:20:00	0.663	1.037	0.604
31.05.2023 17:30:00	0.662	1.037	0.604

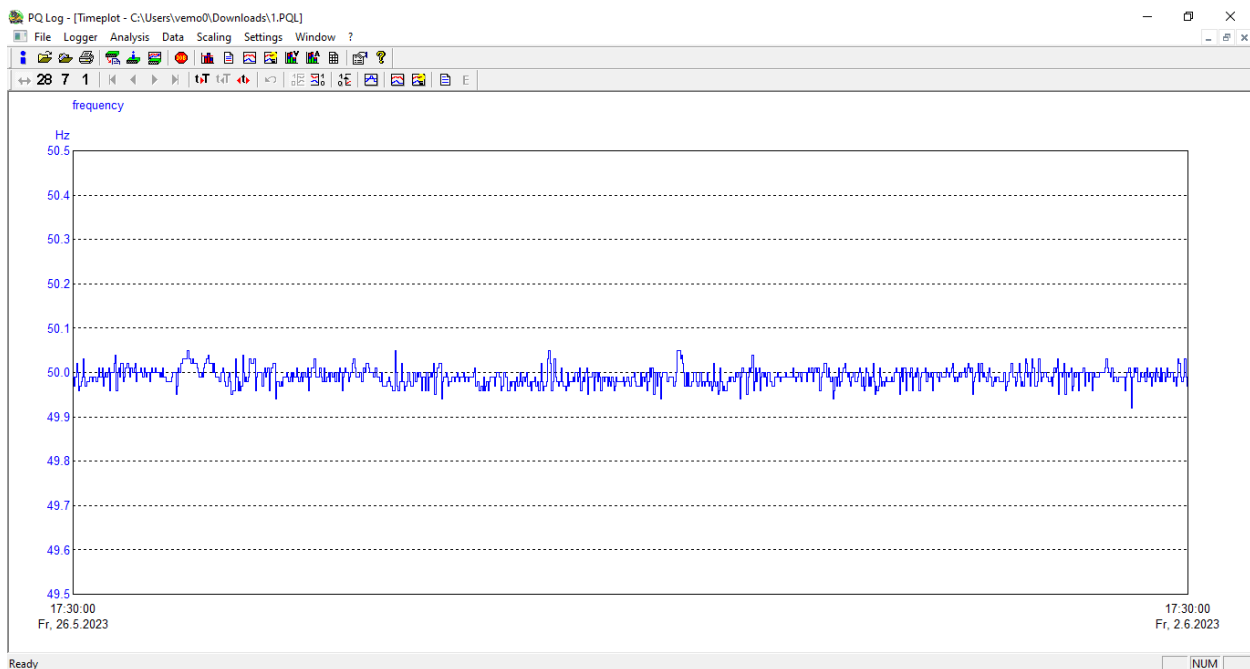
Slika 4.9 Prikaz vremenskog razdoblja u kojem je flicker  $P_{It}$  na fazi L2 bio u prekoračenju

Zaključujemo da je u navedenom terminu bila veća aktivnost jer je to poslijepodnevno razdoblje kada su svi članovi obitelji kod kuće te je to vrlo često razdoblje kuhanja ručka i obavljanja različitih kućanskih poslova što podrazumijeva uključivanje i isključivanje trošila veće snage te je to najizgledniji uzrok pojave flickera na fazi L2.



Slika 4.10. Nesimetrija napona

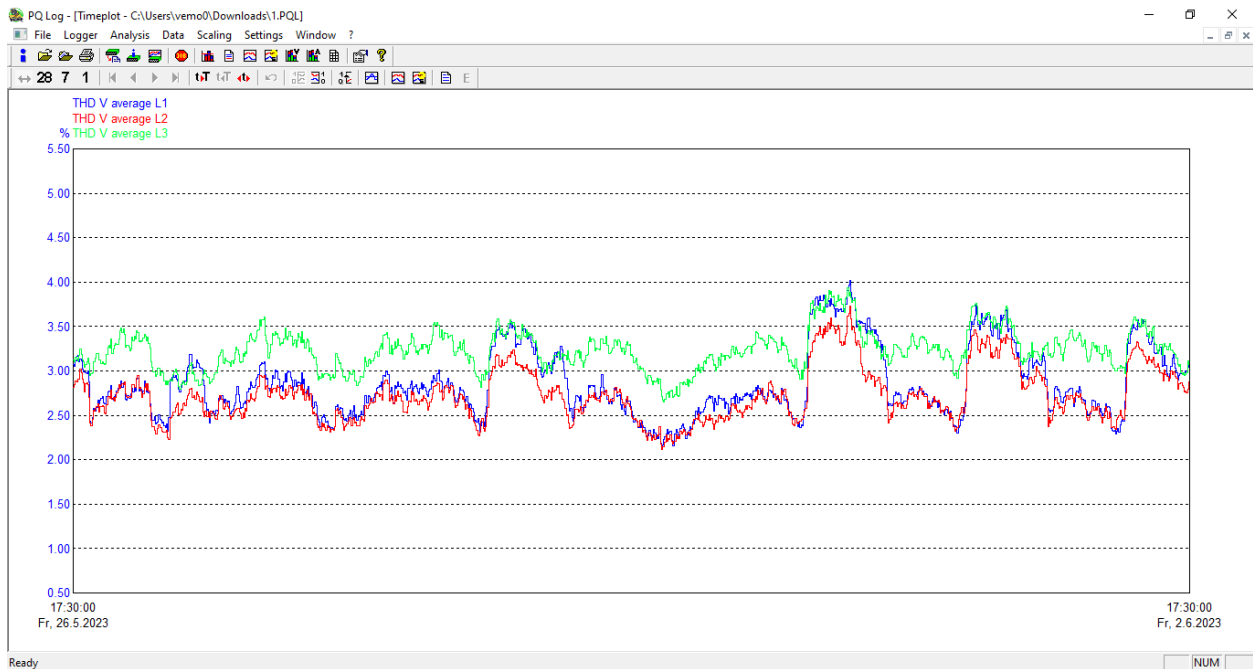
Nesimetrija napona je u granicama tijekom 10-minutne srednje vrijednosti kao što je i prikazano na slici 4.10. te se prema ograničenjima norme HRN EN 50160 sve izmjerene vrijednosti nalaze unutar dozvoljenih granica kao što je i vidljivo na slici 4.10. koja prikazuje nesimetriju napona.



Slika 4.11. Promjena frekvencije

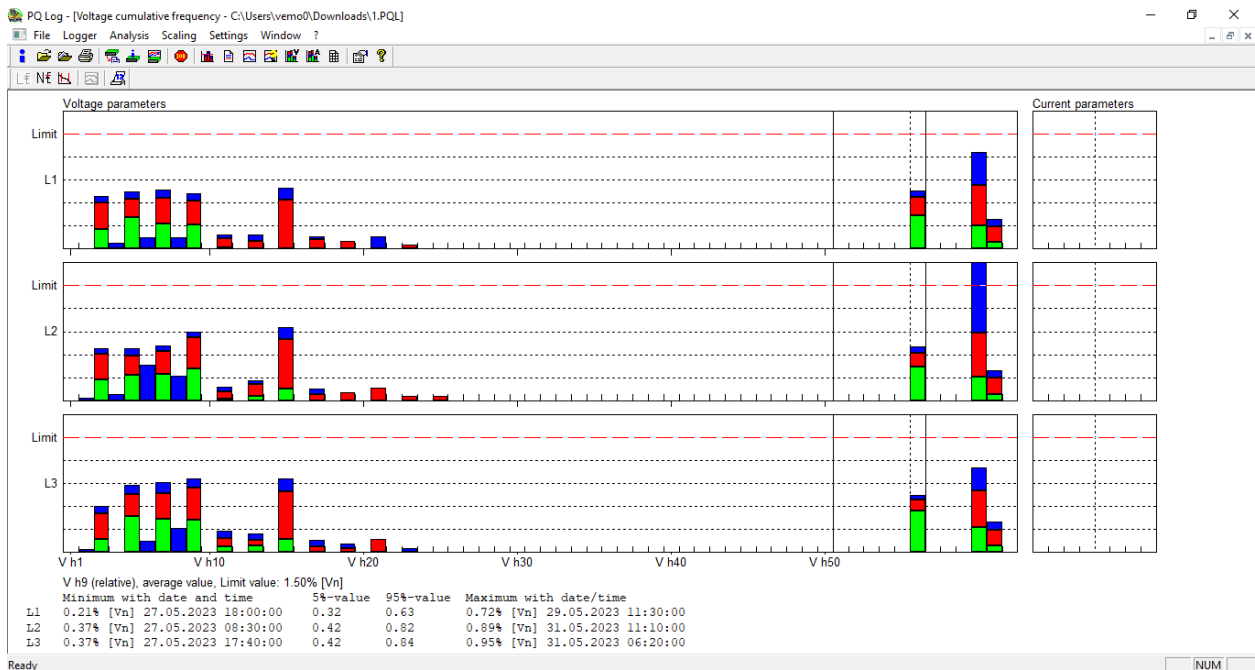
Prema slici 4.11. promjena frekvencije je u dozvoljenim granicama koje propisuje norma HRN EN 50160 tj. ( $\pm 1\%$  od nazivne frekvencije 50 Hz za 99.5 % tjedna i  $+4/-6\%$  nazivne frekvencije

50 Hz za 100 % vremena). Promjena frekvencije je vidljiva na slici 4.11. te se vrlo jednostavno može analizirati promjena frekvencije kroz tjedan dana.



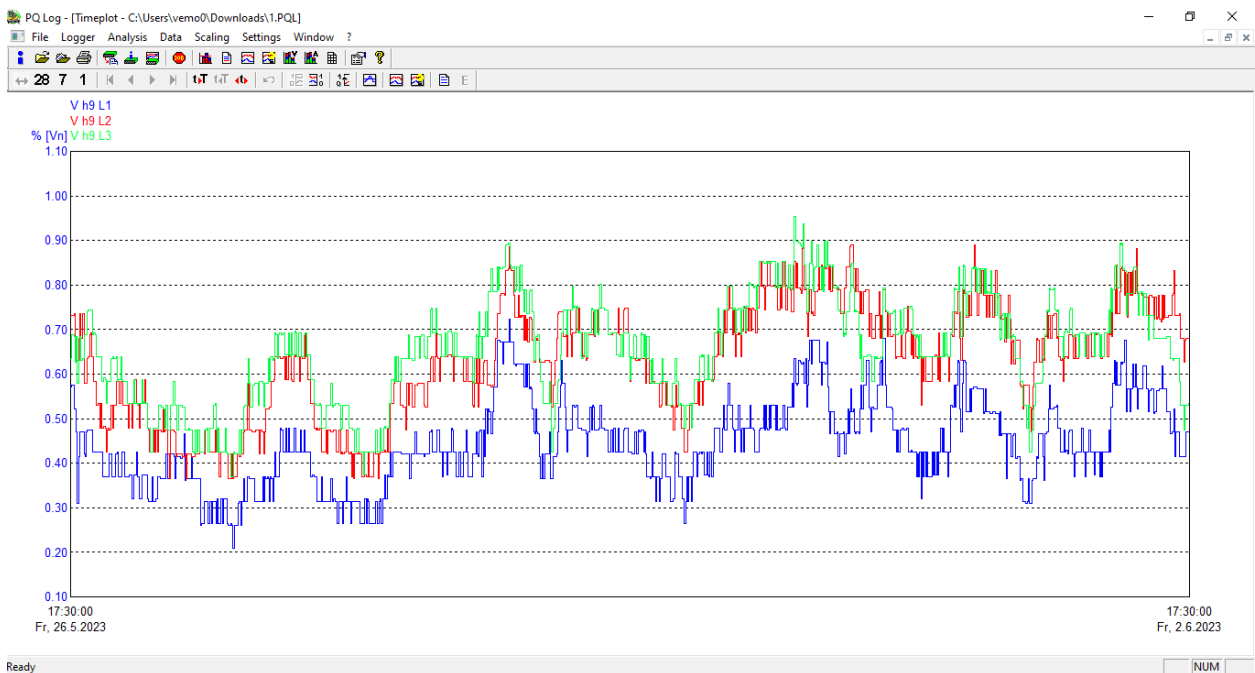
Slika 4.12. THD, ukupno harmonijsko izobličenje

THD ili ukupno harmonijsko izobličenje je u propisanim granicama i ne prelazi 8 %, max iznos je 4.02 % dok je u 99.5 % vremena srednja vrijednost THD iznosila 3.66 ( prema normi HRN EN 50160 dozvoljena vrijednost THD-a je do 8 %  $U_n$ ). Niski THD je simbol za dobru kvalitetu napona. Samim time vrijednost THD-a ispod 5 % znači male i rijetke probleme s uređajima i komponentama mreže.



Slika 4.13. Sadržaj naponskih harmonika

Iznos vrijednosti THD-a je u dozvoljenim granicama, kao i napon harmonika V h9 koji je u dozvoljenim granicama prema propisanoj normi što možemo vidjeti i iz prikaza u stupčastom dijagramu slika 4.13. gdje je prikazan sadržaj naponskih harmonika do 50. harmonika. Prema slici 4.14. je vidljivo kako je napon 9. harmonika u propisanim granicama te da ne prelazi niti u jednom trenutku graničnu propisanu vrijednost 1.5 % Un.



Slika 4.14. Napon 9. harmonika

## 5. ZAKLJUČAK

Obradom i analizom rezultata mjerenja utvrđeno je stvarno stanje koje je prema normi HRN EN 50 160 potvrđeno dobro. Jedini problemi koji su se javljali su bili treperenja ili flickeri koji su na drugoj fazi predstavljali odstupanja, u dubljoj analizi bi se otkrilo što je točan uzrok pojave flickera na fazi L2, je li uzrok pojave kreće s izvoda transformatora iz trafostanice ili je to prema vremenu događanja uzrok aktivnost članova obitelji u kućanstvu. Simetrija napona, THD (ukupno harmonijsko izobličenje), Frekvencija je u granicama koje su propisane normom. Naponski propadi su se događali, ali je to prema vremenu njihove pojave uzrokovano pretjeranim korištenjem potrošača u kućanstvu, ali i znatno povećanom aktivnosti u centru grada gdje postoji velik broj ugostiteljskih objekata koji su u to vrijeme radili povećanim opsegom te time trošili više snage i stvorili veće opterećenje. Deveti harmonik je u dozvoljenim propisanim granicama kao i vrijednost opskrbnog napona. Svaka ušteda električne energije je u današnje vrijeme dobra te je za to potrebno električno brojilo s malom pogreškom kako bi se sve detaljno zabilježilo. Elektromehanička brojila iz prošlosti su pouzdana, ali s dosta lošijim ispunjenjem zahtjeva koja se pred njih u današnjem svijetu stavljaju. Elektronička brojila za razliku od elektromehaničkih imaju veće mogućnost bilježenja potrošnje električne energije tako da su elektronička brojila s svojim automatiziranjem i informatiziranjem uhvatila pun zamah te je njihova jednostavnost a prije svega kontrola velikog broja brojila s jednog mjesta ključna prevaga koja donosi pitanje vremena kada će elektromehanička brojila u potpunosti biti zamijenjena. Daljinsko očitavanje podataka u današnje vrijeme je jako važno, a elektronička brojila imaju tu mogućnost bez prisustva potrošača te su samim time i bolja za upotrebu kako za kupca tako i isporučitelja električne energije, s tim da se povećavaju zahtjevi prema mjeriteljstvu i automatizaciji. Električna energija je postala roba te se sve većom potražnjom i razvojem traži veća proizvodnja električne energije. Krivci za lošu kvalitetu električne energije su u jednakoj mjeri proizvođači, ali i potrošači zbog obostrane upotrebe komponenata energetske elektronike i elektroničkih komponenata u kućanstvima i proizvodnim postrojenjima. Jedan korisni savjet je da se u većim proizvodnim postrojenjima ugrade, odnosno koriste, uređaji koje će pratiti kvalitetu električne energije kako bi se u svakom trenutku mogao pronaći uzrok loše kvalitete. Svi ti uređaji zahtijevaju određena pravila što se tiče električne energije pa su uvedene norme za kvalitetu. Norme za kvalitetu su nužne jer je jako velik udio uređaja nelinearnih karakteristika koje svojim djelovanjem utječu loše na distribucijsku mrežu. Norma HRN EN 50160 je najznačajnija norma u Hrvatskoj, ali i u Europi te je ova analiza mjerenja napravljena prema navedenoj normi.

## LITERATURA

- [1] Z. Klaić, Predavanje - kvaliteta električne energije, Ferit Osijek, 2023.
- [2] V. Bego: Mjerenja u elektrotehnici, Tehnička knjiga, Zagreb, 1968.
- [3] G. Šagovac, Kvaliteta električne energije kao karakteristika distribucijske mreže, HO CIRED, 2008
- [4] Z. Klaić, S. Nikolovski: Kvaliteta električne energije – mjerenja prema normi EN 50160; 6. savjetovanje HK CIGRE, Cavtat, 2003., R. C4-14.
- [5] Ž. Novinc, Priručnik – Kvaliteta električne energije, Elektrotehnički fakultet, Osijek, 2006.
- [6] F. Mlakar, Opća električna mjerenja, Tehnička knjiga, Zagreb, 2003.
- [7] I. Ivšinović, Diplomski rad - Kvaliteta električne energije, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2003.
- [8] A. Bednjanec, Mjerenja u elektrotehnici, Element, Zagreb, 2008.
- [9] <https://www.landisgyr.eu>, opis elektroničkog brojila korištenog u mjerenjima, (29.8.2023.)
- [10] P. Krčum, Električna mjerenja, Sveučilište u Splitu, sveučilišni odjel za stručne studije, Split, 2012.

## **SAŽETAK**

Zadatak rada bio je obraditi, mjeriti i analizirati norme za kvalitetu električne energije te obrada uređaja za mjerenje potrošnje električne energije. Mjerenje i analiza su odrađeni u programskom alatu PQ Log te su svi dobiveni rezultati analizirani. U teorijskom dijelu su obrađeni parametri kojima se kontrolira kvaliteta električne energije.

Ključne riječi: HRN EN 50160, kvaliteta, PQ Log, potrošnja, norme

## **ABSTRACT**

The task of the work was to process, measure and analyze the standards for the quality of electricity and the processing of devices for measuring electricity consumption. The measurement and analysis were made in the PQ Log software tool, and all the obtained results were analyzed. In the theoretical part, the parameters used to control the quality of electricity are processed.

Keywords: HRN EN 50160, quality, PQ Log, consumption, norm



## **ŽIVOTOPIS**

Luka Janković rođen 22.05.2001. u Slavonskom Brodu, Republika Hrvatska. Osnovnu školu pohađao je u Osnovnoj školi Ivan Mažuranić u Sibirju. Nakon završene osnovne škole upisuje se u srednju Tehničku školu u Slavonskom Brodu, smjer elektrotehničar. Poslije završene srednje škole upisuje preddiplomski stručni studij smjer elektroenergetika na Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku.