

Prof.dr.sc. Srete Nikolovski  
Elektrotehnički fakultet, Osijek  
[Srete.nikolovski@etfos.hr](mailto:Srete.nikolovski@etfos.hr)

Zorislav Kraus  
Elektrotehnički fakultet, Osijek  
[Zorislav.kraus@etfos.hr](mailto:Zorislav.kraus@etfos.hr)

Mr.sc.Zvonimir Klaić  
Elektrotehnički fakultet, Osijek  
[Zvonimir.kalic@etfos.hr](mailto:Zvonimir.kalic@etfos.hr)

Marko Vukobratović  
Elektrotehnički fakultet, Osijek  
[Marko.vukobratovic@etfos.hr](mailto:Marko.vukobratovic@etfos.hr)

## MJERENJE I ANALIZA KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE U BIOPLINSKOM POSTROJENJU

### SAŽETAK

Bioplinski agregat male elektrane (mE) na farmi PZ Osatina je agregat snage 1 MW koji je instaliran i proizvodi električnu energiju na niskom naponu, 420 V i isporučuje je u distribucijsku mrežu HEP ODS DP „Elektra“ Vinkovci na naponu 10 kV. Priključak bioplinske elektrane na postojeću mrežu HEP ODS „Elektra“ Vinkovci omogućuje paralelni rad s distribucijskom mrežom preko dvaju odvojenih radijalnih izvoda prema 10 kV VP Cerna i 10 kV VP Ivankovo. U radu je prikazana analiza kvalitete električne energije prema Europskoj normi EN 50160 nakon priključka na mrežu DP „Elektra“ bioplinskog postrojenja na farmi PZ Osatina na 10 kV-tnim sabirnicama u rasklopištu Slatine. Obrađeno je i uspoređeno svih osam parametara kvalitete el. energije, promjena napona, pogonski događaji i prekidi, harmonici, naponsko treperenje, naponska nesimetrija, sadržaj signalnih napona i frekvencija. Mjerenje je izvedeno na 10 kV strani trofaznim mrežnim analizatorom kvalitete TOPAS 1000.

**Ključne riječi:** kvaliteta električne energije, Europska norma EN 50160, parametri kvalitete, bioplinsko postrojenje.

## MEASUREMENT AND ANALYSIS OF POWER QUALITY IN BIOGAS POWER PLANT

### SUMMARY

Biogas generator of the *small* power plant located on the farm PZ Osatina is generator with the capacity of 1 MW which generates power at low voltage, 420 V and supplies it to the distribution network HEP ODS DP „Elektra“ Vinkovci at 10 kV voltage. The connection of the biogas power plant to the existing network HEP ODS „Elektra“ Vinkovci enables a parallel operation with the distribution network through a radial feeder towards 10kV VP Cerna and 10 kV VP Ivankovo. The paper analyses power quality according to European norm EN 50160 after the connection of biogas power plant on the farm PZ Osatina on 10kV buses in switching station Slatine to the distribution network DP „Elektra“. All eight power quality parameters, i.e. voltage variations, operational events and interruptions, harmonics, flickers, voltage unbalance, signal voltage and frequency, have been analyzed and compared. The measurement have been carried out on the 10 kV side using TOPAS 1000 three-phase power quality network analyzer.

**Key words:** Power quality, European norm EN 50160, power quality parameters, biogas power plant.

## 1. UVOD

### 1.1. Osnovni podaci o postrojenju i njegovim karakteristikama

Za potrebe poduzeća Belišće d.d., Tvornice elektroopreme, obavljena su mjerenja kvalitete električne energije u Ivankovu na farmi PZ Osatina, i to u novom rasklopištu 10(20)kV „Slatine“. Kvaliteta napona je mjerena u priključnom polju koje napaja 1 MW generatorsko postrojenje pokretano bioplinskim agregatom koji se sastoji se od plinskog motora Jenbacher sa 20 cilindara i 1500 o/min a na čiju je osovinu vezan generator STAMFORD.

Ukupna električna snage male elektrane je 1095kW radne snage i 1550 kVA prividne snage, priključnog napona  $U_n=10\text{kV}$ . Planirana proizvodnja električne energije male elektrane namijenjena isporuci u distribucijsku mrežu iznosi 1000kW. Planirano vrijeme neraspoloživosti generatora jest samo za potrebe održavanja i remonta. Mjesto sinkronizacije generatora mora biti generatorski prekidač.

Proizvodnja jalove energije treba biti u granicama od  $\cos \varphi = 0,85$  induktivno do  $\cos \varphi = 1$ . Skokovita promjena snage pri opterećenju i rasterećenju ne smije biti veća od 10% nazivne snage generatora kako bi se osigurale minimalne kratkotrajne promjene napona. Potrebno je osigurati trenutno odvajanje male elektrane od distribucijske mreže u slučaju pogona male elektrane u okolnostima koje bi za posljedicu imale veće odstupanje napona od  $\pm 10\%$  nazivnog priključnog napona, a frekvencije opsega 48 – 51 Hz.

Prekidač za odvajanje i glavni prekidač moraju biti opremljeni zaštitom u slučaju nestanka napona na srednje naponskim sabirnicama 10(20) kV u rasklopištu „Slatine“. Međusobnom blokadom prekidača za odvajanje s drugim sklopnim napravama u postrojenju PZ „Osatina“ treba onemogućiti nesinkrono uključanje male elektrane na distribucijsku mrežu, preko prekidača za odvajanje. Uklopni položaj generatorskog prekidača izvesti tako da je uklop moguć isključivo preko uređaja za sinkronizaciju. Pri tome razlika napona mora biti manja od  $\pm 10\%$ , razlika frekvencija manja od  $\pm 0,5\text{Hz}$ , te razlika faznog kuta manja od  $\pm 10$  stupnjeva.

### 1.2. Opis električne mreže

Bioplinsko postrojenje ima mogućnost dvostranog napajanja iz mreža 10 kV, u ovom slučaju pomoću dalekovoda DV 10(20)kV „Slatine“ iz transformatorske stanice TS 35/10(20)kV „Cerna“ i dalekovodom DV 10(20)kV „Ivankovo“ iz transformatorske stanice TS 35/10(20)kV „Vinkovci 5“.

Kao i mreža 35 kV koja napaja trafostanice TS Cerna i TS Vinkovci 5, mreža 10 kV je opremljena automatskim ponovnim uklopom u vremenskom ciklusu  $t_1=2,0$  s brzi i  $t_2=20,0$  s spori APU. Mreža 10 kV u TS 35/10(20)kV Vinkovci 5 uzemljena je preko otpornika za ograničenje struje jednopolnog kvara na 300 A, dok TS 35/10(20) kV „Cerna“ radi s izoliranom neutralnom točkom, stoga je potrebno sva uzemljenja u novoizgrađenom postrojenju dimenzionirati za režim rada sa uzemljenom nul-točkom 10 kV i to za struju jednopolnog kvara 300 A.

### 1.3. Opis agregata

Generatorsko postrojenje sastoji se od bioplinskog agregata gotove izvedbe u metalnom kućištu, dimenzija 12 m x 2,5 m x 2,5 m. Bioplinski agregat sastoji se od plinskog motora proizvođača Jenbacher iz Austrije s 20 cilindara, brzine 1500 o/min, na čiju je osovinu vezan generator STAMFORD.

Generator je zaštićen sljedećim zaštitama:

- 1) Zaštita od kratkog spoja/preopterećenja (ANSI oznake [51],[50])
- 2) Prenaponska zaštita ([27]) i podnaponska zaštita ([59])
- 3) Zaštita od nesimetričnog napona ([64], [59N])
- 4) Zaštita uzbude ([40])
- 5) Frekvencijska zaštita [81>, 81<]

Podaci o generatoru nalaze se u tablici I.

Tablica I. Podaci o generatoru.

Pogonska snaga	kW	1095
Snaga pri $\cos \varphi = 1,0$	kW	1063
Snaga pri $\cos \varphi = 0,8$	kW	1051
Nazivna struja pri $\cos \varphi = 0,8$	A	1897
Frekvencija	Hz	50
Nazivni napon	V	400
Broj okretaja	o/min	1500
Dozvoljena maksimalna brzina vrtnje	o/min	2250
Dozvoljeni $\cos \varphi$		0,8 – 1,0
Učinkovitost pri $\cos \varphi = 1,0$	%	97,1
Učinkovitost pri $\cos \varphi = 0,8$	%	96,0
Moment inercije	kgm <sup>2</sup>	36,33
Izvedba		B3/B14
Mehanička zaštita		IP 23
Razred izolacije		H
Najveća dopuštena temperatura okoline	°C	40
Ukupno harmonijsko izobličenje – THD	%	1,5
Direktna reaktancija	p.u.	2,51
Tranzijentna reaktancija	p.u.	0,15
Subtranzijentna reaktancija	p.u.	0,11
Vremenska konstanta sub tranzijentna	ms	10
Vremenska konstanta direktna	ms	20
Vremenska konstanta otvorenog kruga	s	2,23

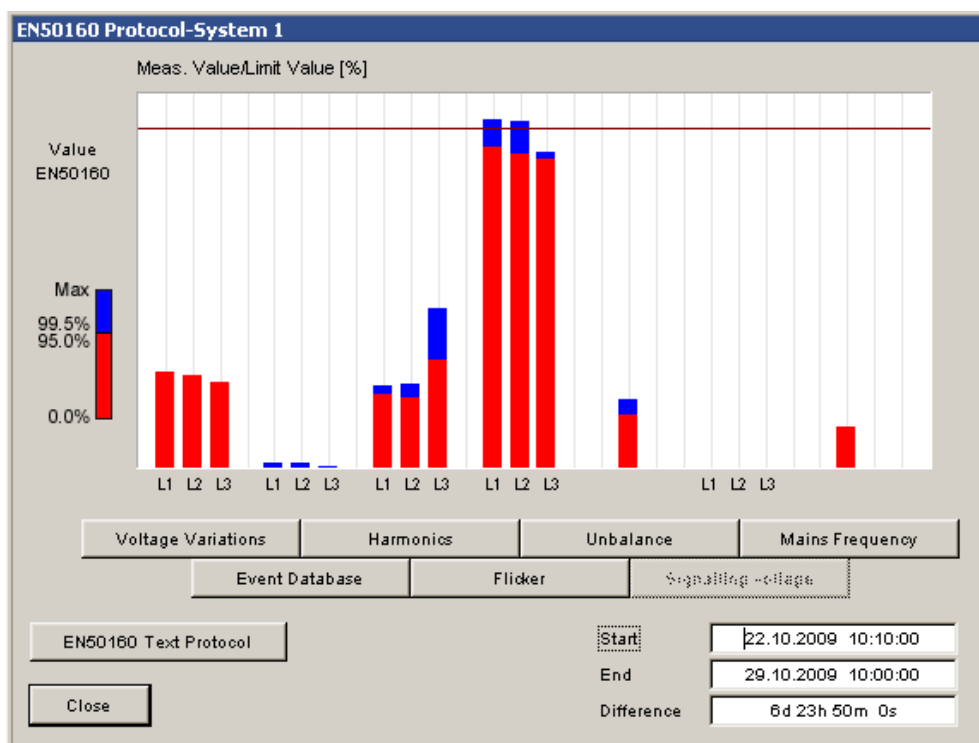
## 2. REZULTATI I ANALIZA MJERENJA

### 2.1. Rezultati mjerenja na 10 kV Rasklopištu Osatina

Mjerenja su izvedena prema europskoj normi EN 50160 i za mrežnim analizatorom TOPAS 1000 u periodu od 22.10.2009. u 10:00:00 do 29.10.2009. u 10:00:00, točno 7 dana. Osnovna obilježja mrežnog analizatora TOPAS 1000 dana su u Tablici II. Slijede rezultati mjerenja kvalitete opskrbnog napona u 10 kV rasklopištu.

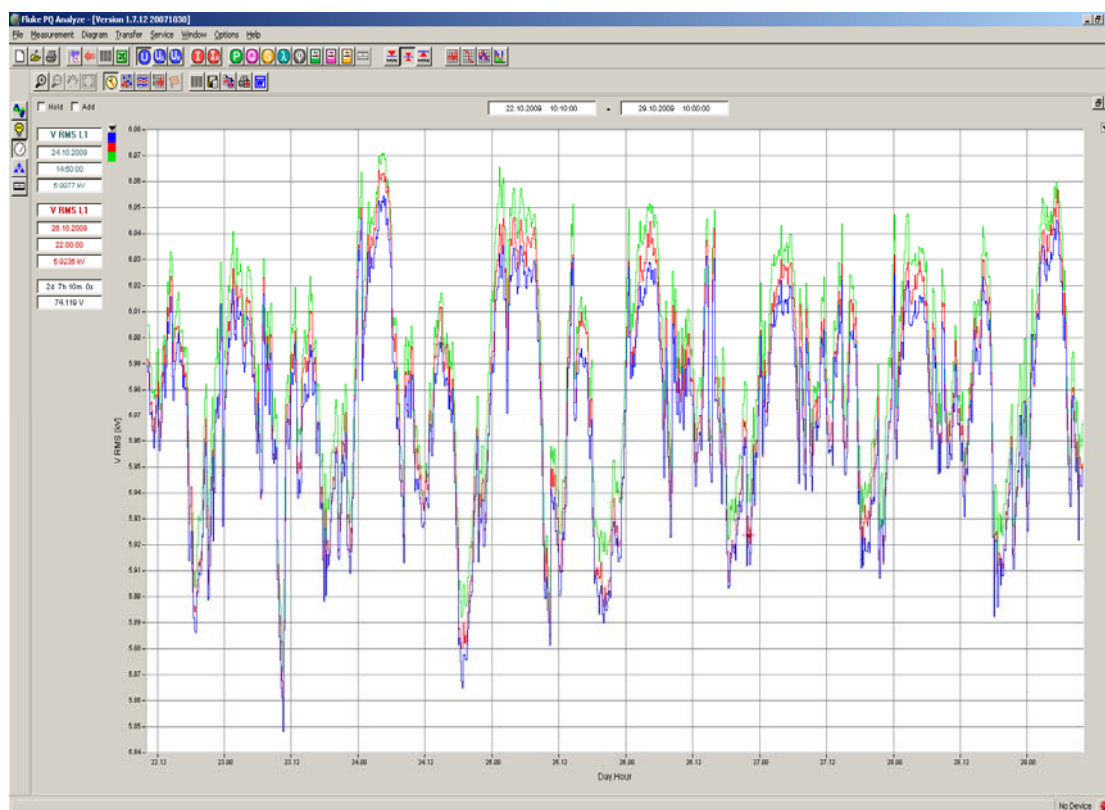
Tablica II. Opis mjernih funkcija analizatora Topas 1000.

Funkcija	Opis funkcije	Izmjerene veličine
EN 50160	Vrijednosti u odnosu na ograničenja EN 50160	- Svi pokazatelji
Day Long Interval 10 min	Dnevne srednje vrijednosti Srednje vrijednosti prethodno odabrane duljine 10-minutne srednje vrijednosti	- Harmonici (1-40), - Treperenja (flikeri) - U, U <sub>0</sub> , I, I <sub>0</sub> , P, S, Q, $\cos \varphi$ - Nesimetrija - Frekvencija
Events	Naponski događaji	- Popis događaja - Krivulja CBEMA
3 sec	3-sekundne srednje vrijednosti	U, I, P, S, $\cos \varphi$ , W
RMS	Efektivne vrijednosti 10 ms – 1 tjedan	U, I, P, S, $\cos \varphi$ , W
Oscilloscope	Osciloskop 6.4 kHz po kanalu	- Valni oblik - Frekvencijski spektar - Fazorski oblik

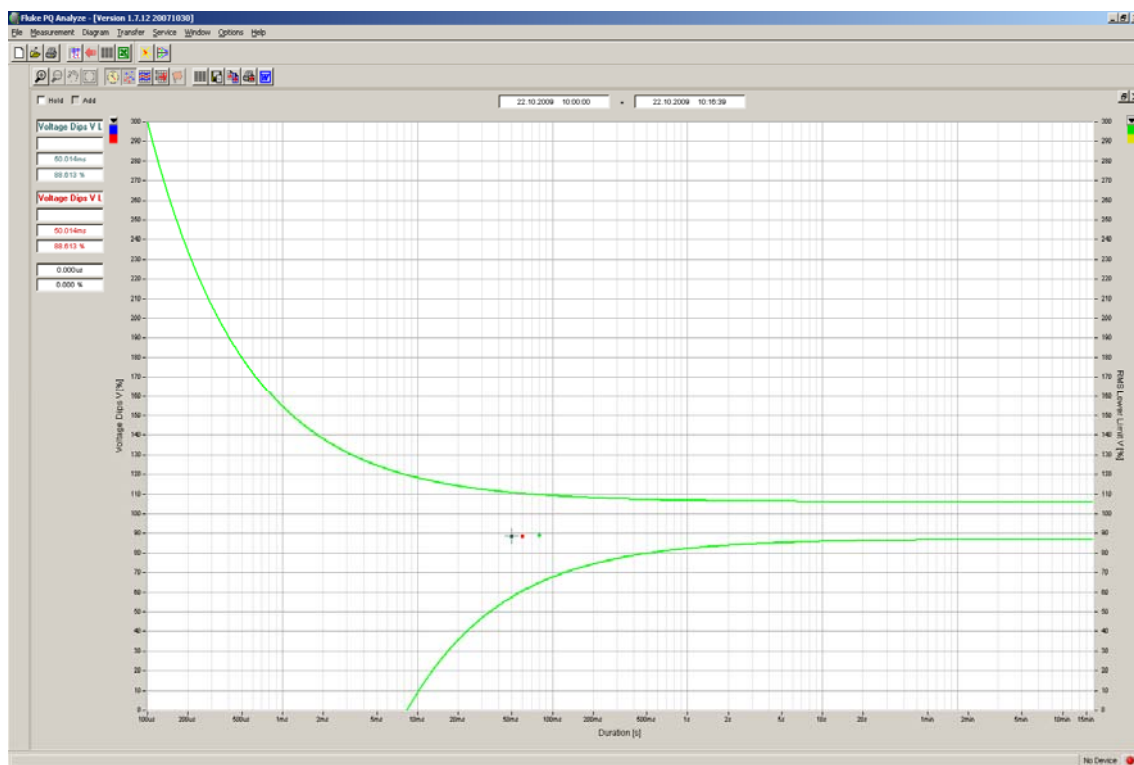


Slika 1. Sažeti prikaz rezultata mjerenja prema EN 50160.

Općenito, vrijednosti pokazatelja kakvoće napona ne prelaze vrijednosti iz Norme EN 50160 osim kod pokazatelja **treperenje-flikeri** – u prvoj i drugoj fazi zabilježene su previsoke vrijednosti s ukupnim trajanjem kraćim od 5% mjernog tjedna, što je dozvoljeno. Može se zaključiti da je **opskrbeni napon zadovoljavajuće razine**.

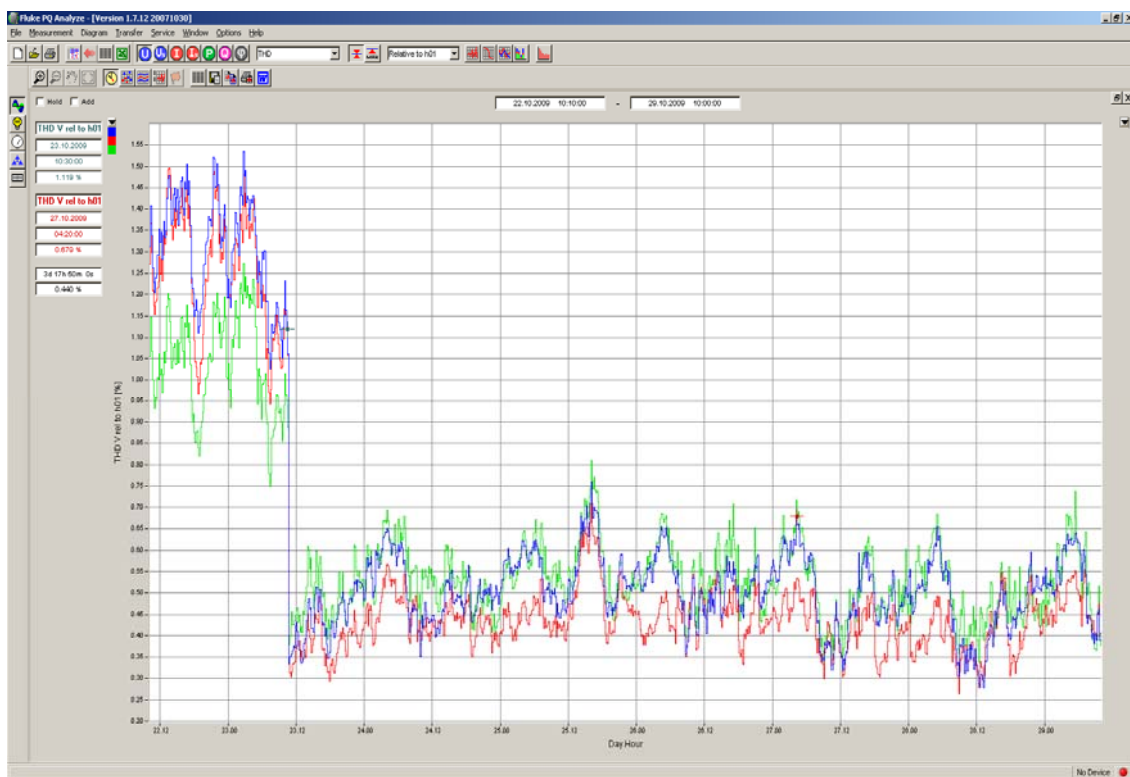


Slika 2. Srednje vrijednosti napona su u granicama norme EN 50160.



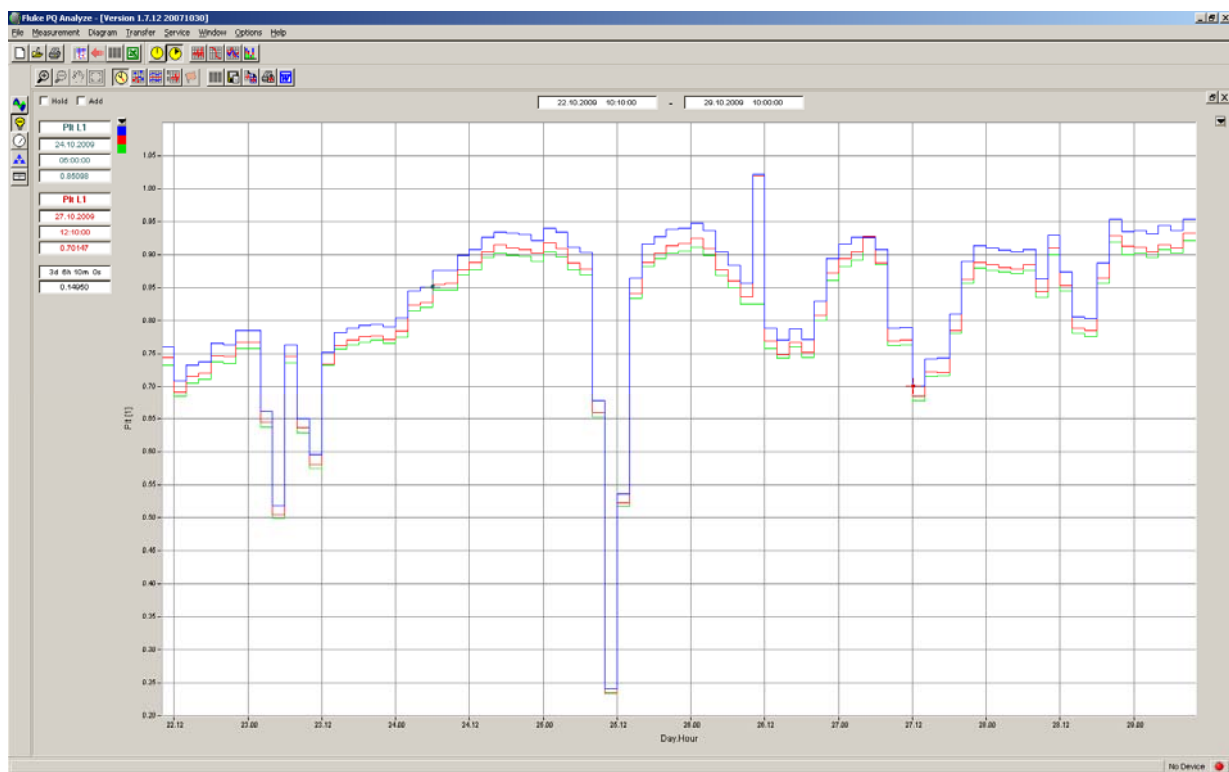
Slika 3. CBEMA krivulja naponskih propada i prenaporna – rasklopište Slatine.

Tijekom 7-dnevnom mjernog razdoblja nisu snimljeni nedopušteni naponski propadi i prenaponi.



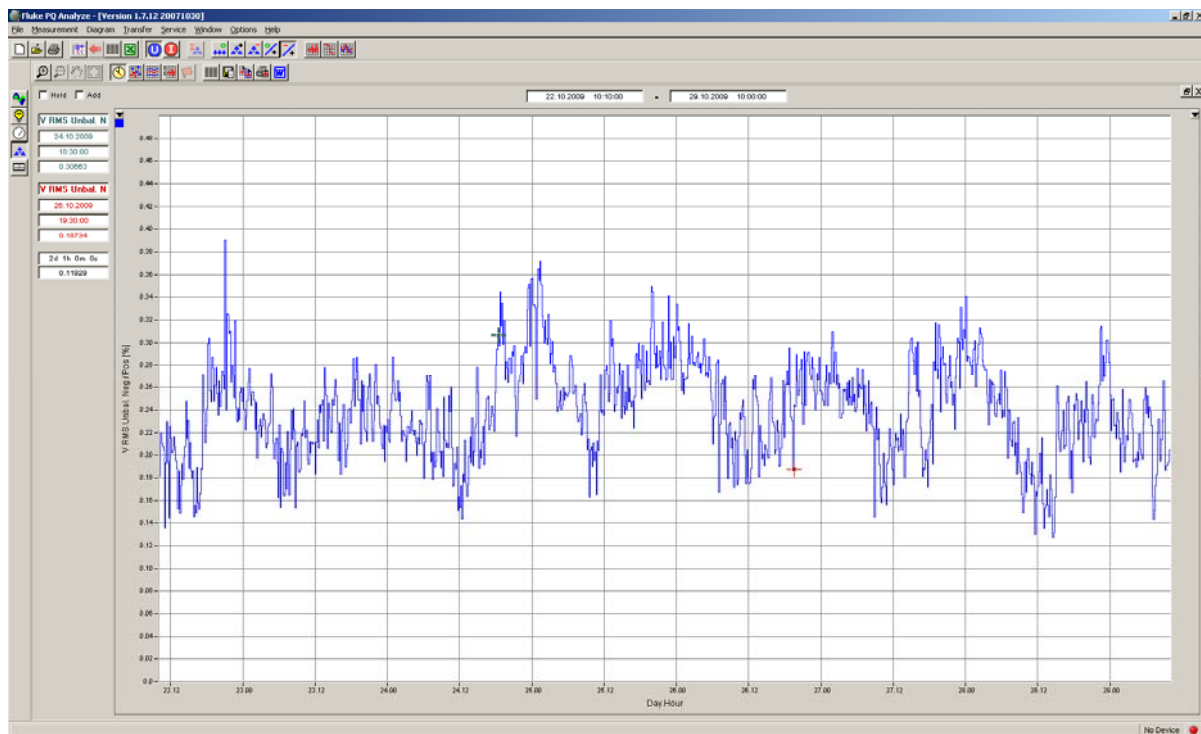
Slika 4. Ukupno harmonično izobličenje  $THD_v$  u  $\%U_n$ .

Ukupno harmonično izobličenje je daleko ispod razine EN 50160 Norme 8 % i Mrežnih pravila HEP-a koji dopuštaju doprinos generatora u ukupnom harmoničnom izobličenju od 2,0%.



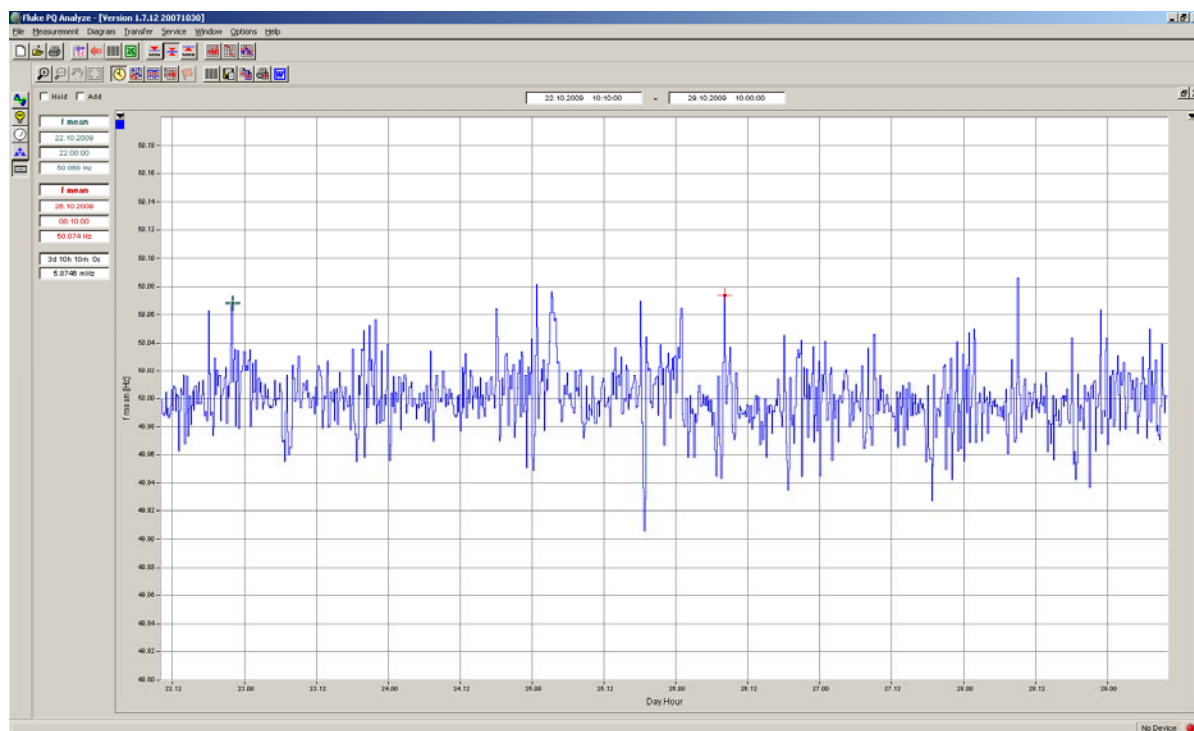
Slika 5. Dugi treptaji napona (flickeri).

Dugi treptaji napona (flickeri) u sve tri faze su u 95 % mjernog razdoblja bili u granicama EN 50160 norme  $P_{st} < 1$ .



Slika 6. Nesimetrija napona je u granicama norme EN 50160,  $< 2\%$ .

Nesimetrija je oko 0.26% prosječno i daleko ispod granice norme EN 50160 (2 %) te granice Mrežnih pravila elektroenergetskog sustava (1,3 % nazivnog napona).



Slika 7. Promjena frekvencije u granicama EN 50160.

### 3. ZAKLJUČAK

U radu su analizirani rezultati mjerenja kvalitete električne energije na 10 (20) kV rasklopištu u HEP ODS «ELEKTRA» Vinkovci na koje je priključena mE Osatina. Kvaliteta napona je mjerena u priključnom polju koje napaja 1 MW generatorsko postrojenje pokretano bioplinskim agregatom. Nakon analize može se zaključiti da su svi parametri opskrbnog napona sukladni ograničenjima norme EN 50160 te Mrežnim pravilima elektroenergetskog sustava.

### LITERATURA

- [1] European standard EN 50160 ICS 29.020, November 1994.
- [2] S. Nikolovski, Z. Klaić, Z. Baus, "Statistical Analysis of Voltage Sags in Distribution Network According the EN 50160 Standard - Case Study" 19- th International Conference and Exhibition on ELECTRICITY DISTRIBUTION / Jean-Pierre Connerotte (ur.). Vienna : CIRED -AIM, 2007.
- [3] S. Nikolovski, Z. Klaić, P.Marić, Z.Kraus, M. Vukobratović „ELABORAT PRIKLJUČKA me OSATINA NA FARMU PZ OSATINA“, IVANKOVO, Elaborat, ETF Osijek