

Zoran Augustinović, dipl.ing.el  
KONČAR – Elektronika i informatika d.d., Zagreb  
[zaugustinovic@koncar-inem.hr](mailto:zaugustinovic@koncar-inem.hr)

Branislav Bračić, dipl.ing.el  
HEP – ODS d.o.o., Elektra Šibenik  
[branislav.bracic@hep.hr](mailto:branislav.bracic@hep.hr)

Mladen Puškarić, dipl.ing.el  
KONČAR – Elektronika i informatika d.d., Zagreb  
[mpuskaric@koncar-inem.hr](mailto:mpuskaric@koncar-inem.hr)

Mr.sc. Nikica Mikulandra, dipl.ing.el  
KONČAR – Elektronika i informatika d.d., Zagreb  
[nmikulandra@koncar-inem.hr](mailto:nmikulandra@koncar-inem.hr)

## MONITORING KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE U TS 220/110/30 kV BILICE

### SAŽETAK

Danas, u eri sve veće potrebe za energijom, nekonvencionalni izvori energije, a tu možemo ubrojiti i onu od obnovljivih izvora pa tako i onu dobivenu od VE (vjetroelektrana), postaju sve značajniji u ukupnoj energetske bilanci svake elektroprivrede, a u Hrvatskoj smo na početku korištenja iste.

Samim time, pratiti ponašanje bilo VE bilo mreže na mjestu primopredaje energije postaje od bitnog značaja, pogotovo ako imamo u vidu režime rada neke VE (startanje elektrane, varijacije vjetra tijekom rada,...), kao i ukupnu dozvoljenu energiju iz ovih izvora.

Sustav trajnog nadzora kvalitete električne energije u TS 220/110/30 kV Bilice instaliran je 2006. godine i danas uspješno radi. Inicijalno, mjerenje kvalitete se provodi na 30 kV naponskoj razini na vodnim i trafo poljima na dva sustava sabirnica uporabom mjernih transformatora i digitalnih mjernih uređaja. Naknadno su instalirani uređaji i za praćenje U/I prilika (u smislu PQ) na dovodima VE Orlice odnosno VE Krtolin.

Sam nadzor kvalitete realiziran je uređajima Power Measurement, a sustav u cjelini obuhvaća 14 mjernih uređaja, dva servera (PrP Split i DP Elektra Šibenik), 5 klijentskih računala te pripadajuće komunikacijske linije. Budući da se primopredaja energije iz VE-a odvija na SN razini, sam nadzor i analiza provodi se na serveru u Elektri Šibenik.

Korisnici sustava su odjeli vođenja, mjerenja te održavanja na razini HEP OPS d.o.o. (PrP Split) i HEP ODS d.o.o. (DP Elektra Šibenik).

**Ključne riječi:** VE (vjetroelektrana), kvaliteta električne energije, mjerni uređaji, nadzor kvalitete

## POWER QUALITY MONITORING IN S/S 220/110/30 kV BILICE

### SUMMARY

Today in the era of growing energy consumption the unconventional energy plants, the wind plants have the major influence in the energy production. Electric System of the Republic of Croatia follows the global trends of wind energy penetration. Monitoring wind plant operating regime (starting power plant, wind variation etc.) in the spot of energy transmission is mandatory for electrical utility.

Power quality 220/110/30 kV Bilice substation monitoring system has been installed in 2006. and works today efficiently. Power quality measuring is initially provided on the two 30 kV busbar system, in the transformer field and feeders by sophisticated meter equipments. Meters for energy monitoring in wind plants Orlice and Krtolin have been installed retrospectively.

Power quality measuring system is provided by Power Measurement meters which includes 14 meters, 2 servers (PrP Split and DP Elektra Šibenik), 5 client computers and adequate communication lines. Energy transmission from the plants takes place on distribution level and that's why the monitoring and analyze is made on server in Elektra Šibenik. The final users of the power quality monitoring system are HEP OPS Ltd. and HEP ODS Ltd.

**Key words:** wind power plants, power quality, meters, monitoring

## 1. UVOD

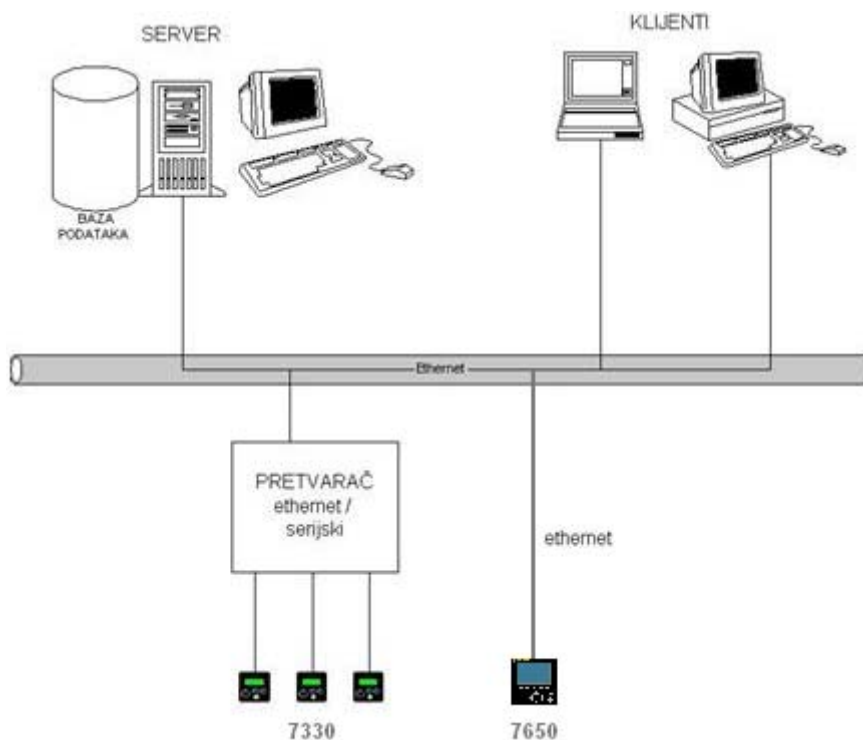
Na početku referata dan je opis sustava nadzora kvalitete električne energije u TS Bilice s naglaskom na distribucijski nivo 30 kV te njegova primjena i mogućnosti. Budući da sustav obuhvaća vjetroelektrane Orlice i Krtolin dan je prikaz potrošnje cijele TS Bilice za 12. mjesec te proizvodnju elektrana u istom mjesecu. Kroz prikaz dnevne proizvodnje elektrana moći će se sagledati oscilacija radne snage kao posljedica promjenjivosti vjetra. Kroz normu EN 50160 će se prikazati utjecaj VE Orlice na mrežu.

## 2. OPIS SUSTAVA

Osnovni dijelovi mjeriteljske opreme su mjerni uređaji te računala sa softverom za prikaz mjerenja. Arhitektura sustava je prikazana slikom 1. Za DP Elektru Šibenik ugrađeno je četrnaest mjernih uređaja. Dvanaest mjernih uređaja je tipa ION 7330. Uređaj ION 7330 ima mogućnosti mjerenja struje, napona, snage, faktora snage,... a ujedno je i brojilo energije. Sam uređaj ima mogućnost pohrane podataka, također ima sposobnost detekcije raznih poremećaja kao što su propadi napona ili prenaponi, može alarmirati korisnike u slučaju prevelike struje ili snage. U memoriji uređaja pohranjeni su svi događaji, te usrednjene vrijednosti mjerenja. Uređaji ION 7330 s računalom komuniciraju serijskom vezom. Osim tipa ION 7330, ugrađena su dva uređaja tipa ION 7650 za praćenje rada vjetroelektrana. Ovi uređaji imaju znatno više mogućnosti od ION 7330. Osim mnoge veće baze podataka i veće točnosti on također ima mogućnost snimanja valnih oblika s frekvencijom uzorkovanja od 1024 uzorka po periodu. Uređaj podržava normu EN 50160. Uređaj ION 7650 s računalom komunicira putem etherneteta. Oba tipa uređaja imaju mogućnost programiranja te tako mogu odgovoriti i na specifične zahtjeve korisnika.

Za podršku pregledavanja mjerenja na računalu ugrađeno je jedno serversko računalo tipa „Končar-INEM, ReaX“. Serversko računalo djeluje kao primarni server sustava te se na njemu nalazi konfiguracija sustava te baza podataka.

ION Enterprise instaliran je na serverskom računalu kao Primarni server-tip instalacije. Na serverskom računalu instalirana je baza podataka tipa MSDE SQL Server. U bazi se nalaze svi prikupljeni podaci s uređaja te podaci koji su dobiveni dodatnom obradom na serveru. U sklopu instalacije ION Enterprise-a na dodatnih pet računala instalirane su klijentske aplikacije.



Slika 1. Prikaz arhitekture sustava

Uređaji u sustavu instalirani po poljima:

• Vodno polje Tisno	TS BILICE	ION 7330
• Vodno polje Primošten	TS BILICE	ION 7330
• Vodno polje Šibenik 1 – Kabel 1	TS BILICE	ION 7330
• Vodno polje Šibenik 1 – Kabel 2	TS BILICE	ION 7330
• Vodno polje Vodice	TS BILICE	ION 7330
• Vodno polje Lozovac 2	TS BILICE	ION 7330
• Vodno polje Lozovac 3	TS BILICE	ION 7330
• Transformatorsko polje 2	TS BILICE	ION 7330
• Transformatorsko polje 3	TS BILICE	ION 7330
• Transformatorsko polje 4	TS BILICE	ION 7330
• Mjerno polje 1	TS BILICE	ION 7330
• Mjerno polje 2	TS BILICE	ION 7330
• Vjetroelektrana Krtolin	TS BILICE	ION 7650
• Vjetroelektrana Orlice	RS ORLICE	ION 7650

## 2.1. Primjena/mogućnosti sustava

DP Elektra Šibenik sustav koristi najviše u svrhe praćenja potrošnje na izvodima i opterećenja transformatora te praćenja napona. Za praćenje rada transformatora u TS Bilice instaliran je uređaj ION 7330 koji uz standardne električne veličine ima mogućnost registriranja harmonika. Na slici 2. dan je prikaz maksimalnog ukupnog harmoničkog izobličenja (THD) napona i struja računatog prema formuli [1] te vrijeme događaja.

Transformatori.Trafo\_3  
Long-Term Harmonics Min/Max Measurements

Harmonics Min/Max Reset :					
MIN:			MAX:		
V1 THD min	0,0 %	12.2.2006 04:05:33.000	V1 THD max	40,1 %	25.8.2006 10:09:40.000
V2 THD min	0,0 %	12.2.2006 04:05:33.000	V2 THD max	47,0 %	4.6.2006 04:51:04.000
V3 THD min	0,0 %	12.2.2006 04:05:33.000	V3 THD max	52,6 %	26.10.2006 08:08:34.000
I1 THD min	0,0 %	12.2.2006 04:05:33.000	I 1 THD max	237,5 %	27.7.2006 19:16:08.000
I2 THD min	0,0 %	12.2.2006 04:05:33.000	I 2 THD max	287,2 %	6.3.2007 12:38:17.000
I3 THD min	0,0 %	12.2.2006 04:05:33.000	I 3 THD max	180,2 %	27.7.2006 19:16:10.000

Slika 2. Prikaz THD faktora za struje i napone transformatora 3

$$THD = \frac{1}{I_1} * \sqrt{\sum_{n=2}^k (I_n)^2} \quad [1]$$

gdje je: k = najveći redni broj harmonika

n= redni broj harmonika

$I_1$ = magnituda osnovnog harmonika

$I_n$ = magnituda n-tog harmonika

U navedenom primjeru maksimalni THD iznosi znatno premašuju dozvoljenu granicu koja u normalnim pogonskim uvjetima iznosi  $THD < 8\%$ .

Sustav nudi sljedeće mogućnosti:

- Analiza mjerenih veličina kroz specijalne izvještaje: Profil opterećenja energije i radne snage kroz 15 min. vrijednosti, Izvještaj kvalitete električne energije, EN 50160 izvještaj

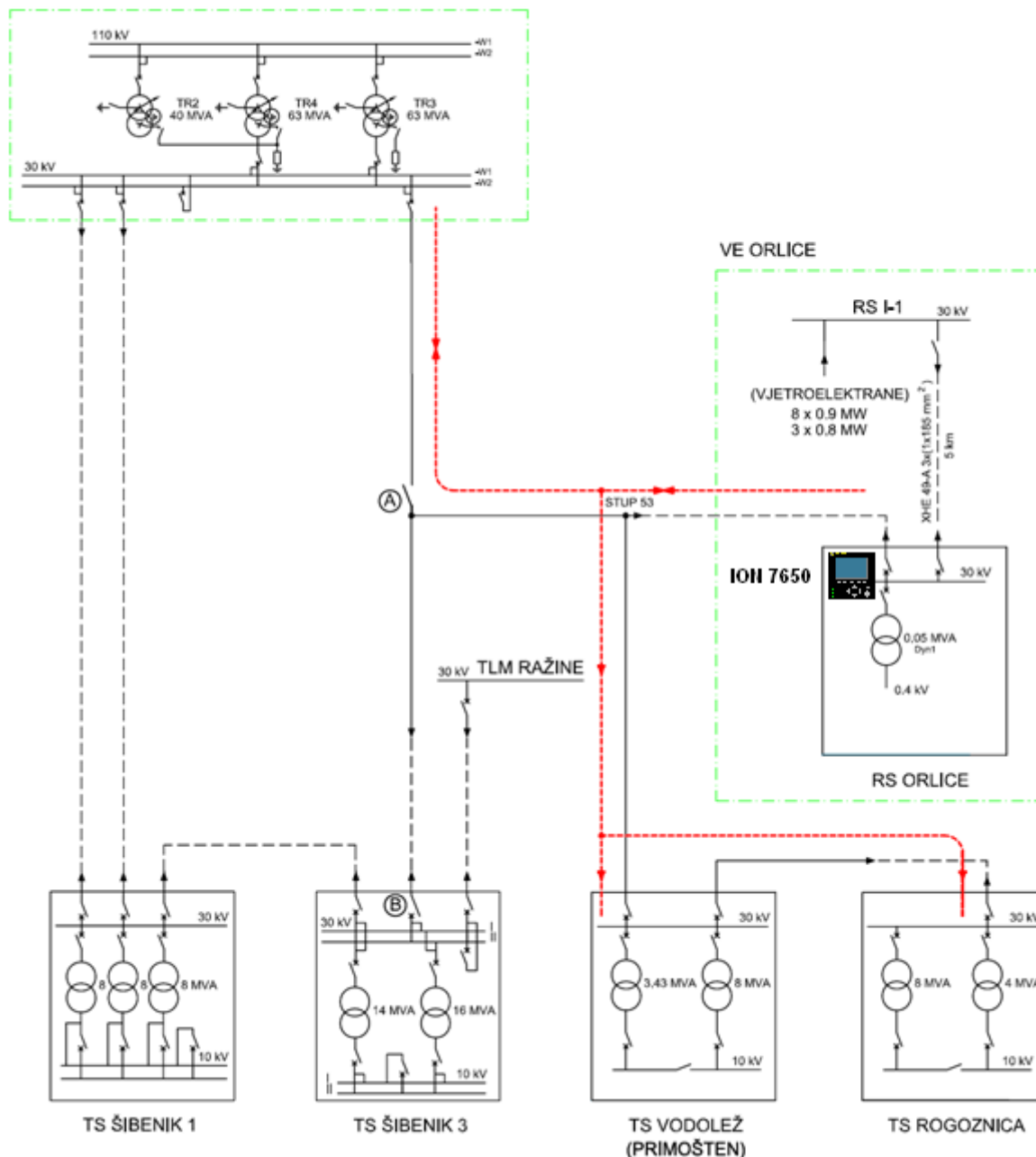
- Praćenje stvarnih vrijednosti napona, struje i energije te povijesnih 15 min. vrijednosti
- Prikupljanje podataka u ODBC bazu tipa MSDE SQL Server
- Uz praćenje povijesnih podataka moguća je izrada grafikona i detaljna analiza mjerenih veličina
- Povezivanje na SCADA sustav odgovarajućim protokolom
- Alarmiranje korisnika ako se pređu podešene granice na e-mail, pager ili na operatorskoj radnoj stanici
- Uz praćenje kvalitete energije sustav je namijenjen za praćenje potrošnje zbirne snage i energije za cijelu TS Bilice
- Dodatno programiranje uređaja i dodavanje novih funkcija za proširenje sustava i nadogradnje
- Praćenje podataka preko web sučelja

### **3. VJETROELEKTRANE KRTOLIN I ORLICE**

Za potrebe mjerenja energije dvaju elektrana instalirani su uređaji ION 7650 s dodatnim mogućnostima praćenja kvalitete električne energije bazirane na normi EN 50160. Vjetroelektrana Orlice sastoji se od 11 vjetroatregata instalirane snage 9,6 MW, a planirana proizvodnja oko 25 GWh što pokriva četvrtinu šibenskih kućanstava. Vjetropark Trtar-Krtolin sadrži 14 vjetroatregata ukupne instalirane snage 11,2 MW.

VE Krtolin je direktno spojena u svoju 30 kV ćeliju u TS Bilice, a VE Orlice su spojene interpolacijom na vod Bilice - Primošten – Rogoznica, što je prikazano slikom 3, kao i lokacija mjernog uređaja ION 7650.

TS 220/110/30 kV BILICE



Slika 3. Shema priključenja VE Orlice (redovno uklopno stanje: A uklop, B isklop) na TS Bilice, s prikazom pozicije mjernog uređaja ION 7650

### 3.1. Praćenje radne energije vjetroelektrana u sustavu TS Bilice za 12. mjesec

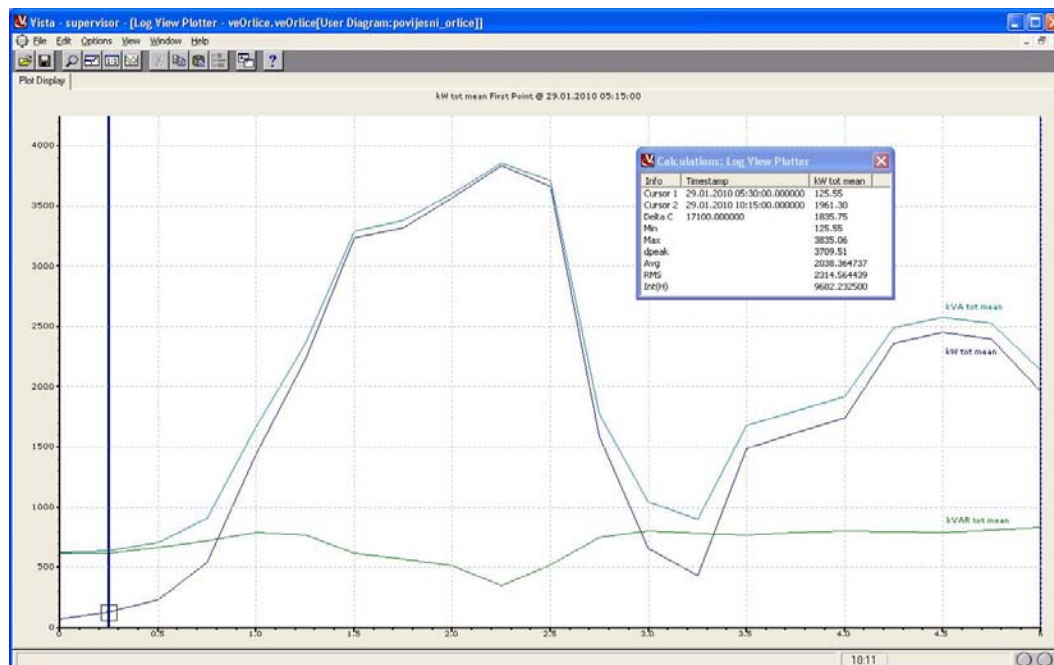
Za primjer praćenja električne energije vjetroelektrana može se usporediti konzum električne energije cijele TS Bilice s proizvodnjom vjetroelektrana za 12. mjesec.

Proizvodnja VE Krtolin je iznosila 4120 MWh, dok je proizvodnja VE Orlice bila 3075 MWh, potrošnja TS Bilice je iznosila 24000 [MWh]. Na primjer prosječna 15 min. potrošnja cijele trafostanice za 12. mjesec 2009 iznosila je 33169 kW, dok je za isti period proizvodnja VE Orlice bila 4130 kW a VE Krtolin 5530 kW. Maksimum za VE Krtolin iznosio je 11160 kW, dok za VE Orlice 9611 kW. Na slici [4.] je prikazan djelomični prikaz 15 min. vrijednosti radne snage za 12. mjesec za cijelu TS Bilice.

Vista - supervisor - [VIP.REAE37356[User Diagram:Zbirni_podaci]]		
File Edit Options View Window Help		
	timestamp	kW
1	31.12.2009 00:00:00.000	26.476,579
2	30.12.2009 23:45:00.000	28.178,854
3	30.12.2009 23:30:00.000	29.455,748
4	30.12.2009 23:15:00.000	30.277,706
5	30.12.2009 23:00:00.000	31.179,359
6	30.12.2009 22:45:00.000	32.595,611
7	30.12.2009 22:30:00.000	33.851,013
8	30.12.2009 22:15:00.000	33.986,146
9	30.12.2009 22:00:00.000	34.687,781
10	30.12.2009 21:45:00.000	34.215,89
11	30.12.2009 21:30:00.000	33.352,975
12	30.12.2009 21:15:00.000	31.520,993
13	30.12.2009 21:00:00.000	31.553,76
14	30.12.2009 20:45:00.000	32.224,557
15	30.12.2009 20:30:00.000	32.697,333

Slika 4. Zbirni podaci radne snage za 12. mjesec

Kako je poznato zbog same prirode vjetra i njegovi promjenjivosti, varijacije proizvodnje u višesatnim intervalima su očigledne, a to ukazuje na problem potrebe rezervi u ostalim izvorima. Slika 5 prikazuje 5-satni period u kojem je vidljiva znatna oscilacija radne snage od **75,42 kW** do **3835,06 kW**, uzete su krajnje vrijednosti za VE Orlice.



Slika 5. Višesatni rad VE Orlice

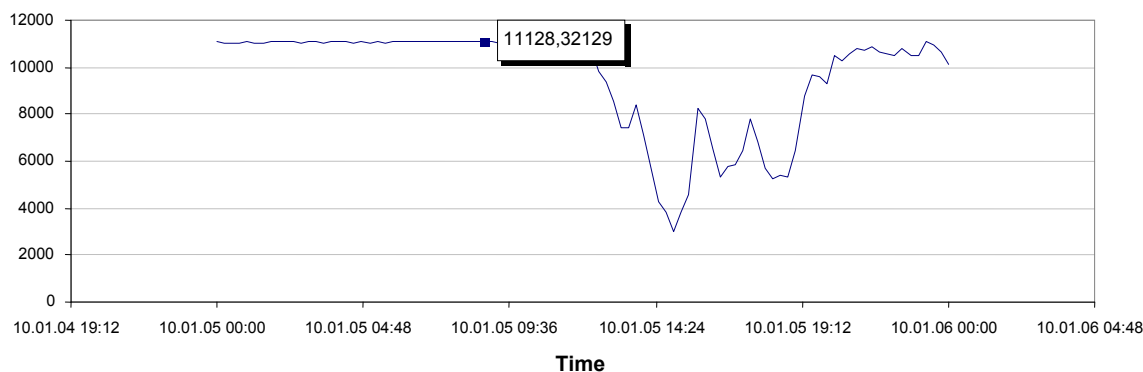
U prilog nestalnosti radne snage, na slikama 6 i 7 su prikazani dnevni dijagrami VE Krtolin i VE Orlice za dan od 5.siječnja do 6.siječnja s istaknutim dnevnim maksimumima u kW.

## Profil opterećenja Vjetroelektrana Krtolin

Od: siječanj 5, 2010 00:00:00

Do: siječanj 6, 2010 00:00:00

kW Total



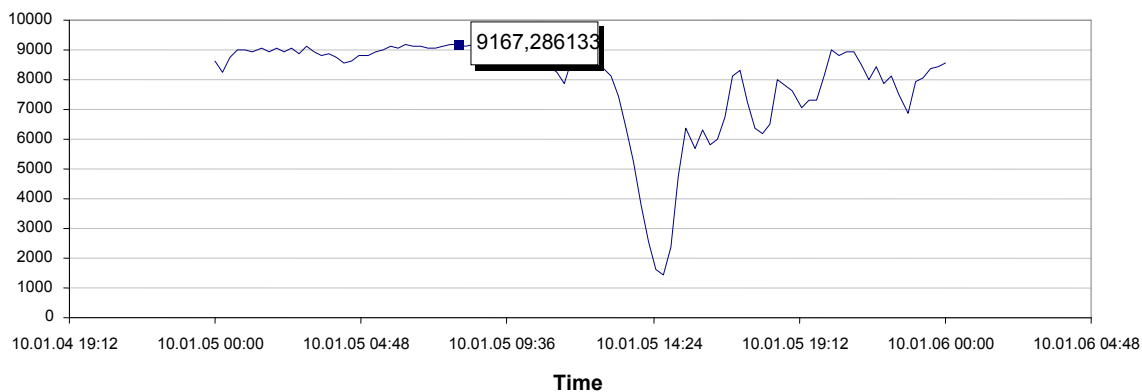
Slika 6. Dnevni profil radne snage VE Krtolin

## Profil opterećenja Vjetroelektrana Orlice

Od: siječanj 5, 2010 00:00:00

Do: siječanj 6, 2010 00:00:00

kW Total



Slika 7. Dnevni profil radne snage VE Orlice

### 3.2. EN 50160 norma u praćenju VE Orlice

Kako sada već s pravom možemo električnu energiju smatrati robom, tako kvalitetu električne energije možemo izdvojiti kao jedan njen čimbenik. Ukoliko se žele promatrati određeni parametri svojstveni za kvalitetu električne energije, kao na primjer tranzijenti struje i napona, flikeri, propadi napona, harmonici, međuharmonici itd. podaci se lako dohvaćaju iz SQL baze. Za pregled događaja pripremljeni su izvještaji koji omogućuju interaktivni pristup korisnika. Za razmatranje su uzeti podaci za 12. mjesec 2009. te je naveden incident 18. za primjer tranzijenta napona V2 trajanja 0,013177 s i 154 % nominalne vrijednosti. U sljedećih nekoliko slika je prikazan jedan „Power Quality“ izvještaj za dano razdoblje.

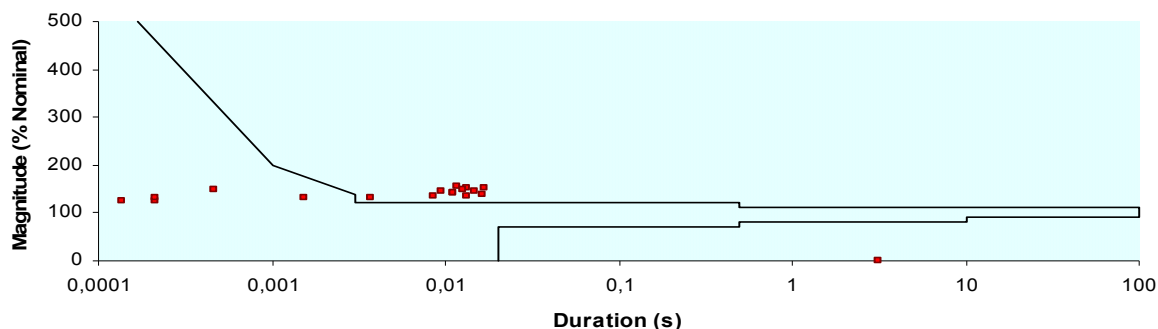
# Kvaliteta električne energije zbirno

Power Measurement

Od: 2009-pro-01 00:00:00  
Do: 2009-pro-31 00:00:00

Number of Incidents	23
Incident Interval	20 seconds
Number of disturbances	65

## Worst Disturbances [1996 CBEMA - ITIC]



Slika 8. Izvještaj o kvaliteti el. energije

### Statistics

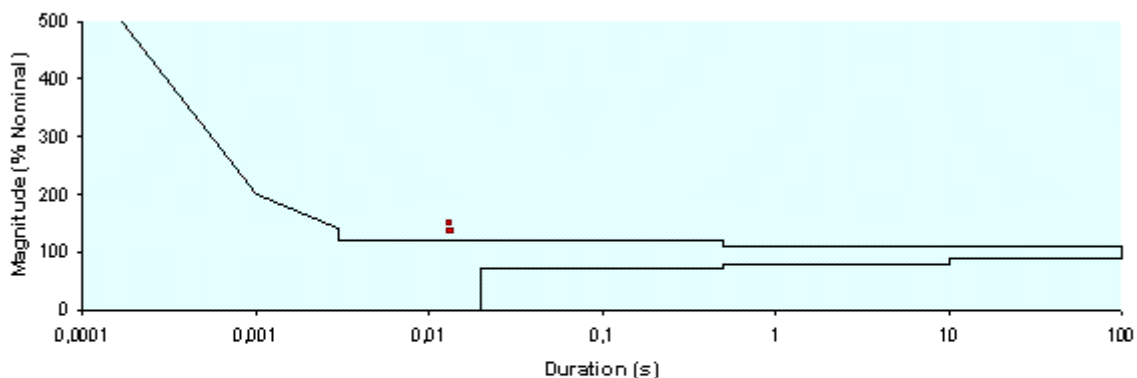
Incident	First TimeStamp	Incident Duration	# Transients	# Sags	# Swells
Incident 1	2009-pro-01 04:48:52,788	0 seconds	1	0	0
Incident 2	2009-pro-01 06:05:26,887	0 seconds	3	0	0
Incident 3	2009-pro-01 08:16:06,660	0 seconds	1	0	0
Incident 4	2009-pro-02 12:02:36,134	2188 seconds	2	1	0
Incident 5	2009-pro-02 13:58:25,437	0 seconds	1	0	0
Incident 6	2009-pro-05 13:57:29,001	2188 seconds	2	6	0
Incident 7	2009-pro-05 14:13:29,635	148 seconds	2	2	0
Incident 8	2009-pro-05 14:18:15,977	5441 seconds	2	2	0
Incident 9	2009-pro-05 15:51:06,231	274 seconds	0	2	0
Incident 10	2009-pro-08 20:41:41,039	4 seconds	0	2	0
Incident 11	2009-pro-08 20:59:51,691	0 seconds	2	0	0
Incident 12	2009-pro-08 21:00:36,607	0 seconds	1	0	0
Incident 13	2009-pro-08 21:05:31,902	0 seconds	2	0	0
Incident 14	2009-pro-08 21:42:44,899	0 seconds	3	0	0
Incident 15	2009-pro-09 01:17:15,458	1 seconds	4	0	0
Incident 16	2009-pro-09 01:18:13,570	0 seconds	4	0	0
Incident 17	2009-pro-09 01:19:03,386	13 seconds	7	0	0
Incident 18	2009-pro-15 10:44:07,689	0 seconds	2	0	0
Incident 19	2009-pro-15 11:08:34,969	0 seconds	2	0	0
Incident 20	2009-pro-15 12:46:16,535	0 seconds	4	0	0
Incident 21	2009-pro-15 14:21:50,558	0 seconds	2	0	0
Incident 22	2009-pro-16 03:28:17,142	0 seconds	1	0	0
Incident 23	2009-pro-19 10:17:36,068	0 seconds	2	0	0
<b>Totals</b>			<b>50</b>	<b>15</b>	<b>0</b>

Slika 9. Statistika svih incidenata

Na slici 9. dan je pregled svih događaja za zadano razdoblje. Zabilježeno je 50 tranzijenata i 15 propada napona.



### Disturbances [1996 CBEMA - ITIC]



### veOrlice.veOrlice - Sags, Swells & Transients

TimeStamp	Type	Phase	Duration (s)	Magnitude (% Nominal)
2009-pro-15 10:44:07.689	Trans *Exceeds Tolerance	V2	0,013177	151
2009-pro-15 10:44:07.799	Trans *Exceeds Tolerance	V3	0,013274	137

### Meter Configuration

Meter	Basic Config	Transient Config	Sag/Swell Config
	PT1-PT2   CT1-CT2   NomSV	Threshold	Sag Lim   Swell Lim
veOrlice.veOrlice	30000 - 100   200 - 5   17320	125	

Slika 10. Događaj 18.

Iz slike 10. je vidljiv događaj 18. u određenom trenutku. Događaj opisuje tranzijent faze V2 čije su vrijednosti izvan granica definiranih CBEMA (Computer and Business Equipment Manufacturers' Association) krivuljama.

Ukoliko se žele pratiti električni parametri vezani za normu EN 50160, uređaji to omogućuju kroz predefinirane dijagrame ili pomoću specijalnih EN 50160 izvještaja u .xls formatu. Slika 11. pokazuje sažeti izvještaj u 4 perioda od jednog tjedna (prema normi), za svaki period je dan prikaz parametara čije vrijednosti mogu biti unutar ili van dozvoljenih granica. U obzir su uzeti sljedeći parametri:

- Frekvencija
- Amplituda napona
- Flikeri
- Propadi napona
- Kratki i dugi prekidi
- Privremeni prenaponi
- Nesimetrija napona
- Harmonici napona
- Međuharmonici napona

Iz slike je vidljivo da su zabilježeni propadi napona u sva 4 tjedna i prekidi u prva dva tjedna. Kratkotrajni prenaponi van granica dozvoljenih norme su zabilježeni u drugom tjednu.

## EN 50160 zbirni izvještaj

Meter Name: veOrlice.veOrlice  
Start Date: 28.11.2009 0:00:01  
End Date: 26.12.2009 0:00:01

Complete Compliance in this Summary?

No

### Measurement and Observation Period Compliance Table

		Power Frequency	Supply Voltage Magnitude	Flicker	Supply Voltage Dips	Short and Long Interruptions	Temporary Overvoltages	Supply Voltage Unbalance	Harmonic Voltage	Interharmonic Voltage
Observation_1	2009.pro.05	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y
Observation_2	2009.pro.12	Y	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y
Observation_3	2009.pro.19	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y
Observation_4	2009.pro.26	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y

Slika 11. EN 50160 zbirni izvještaj

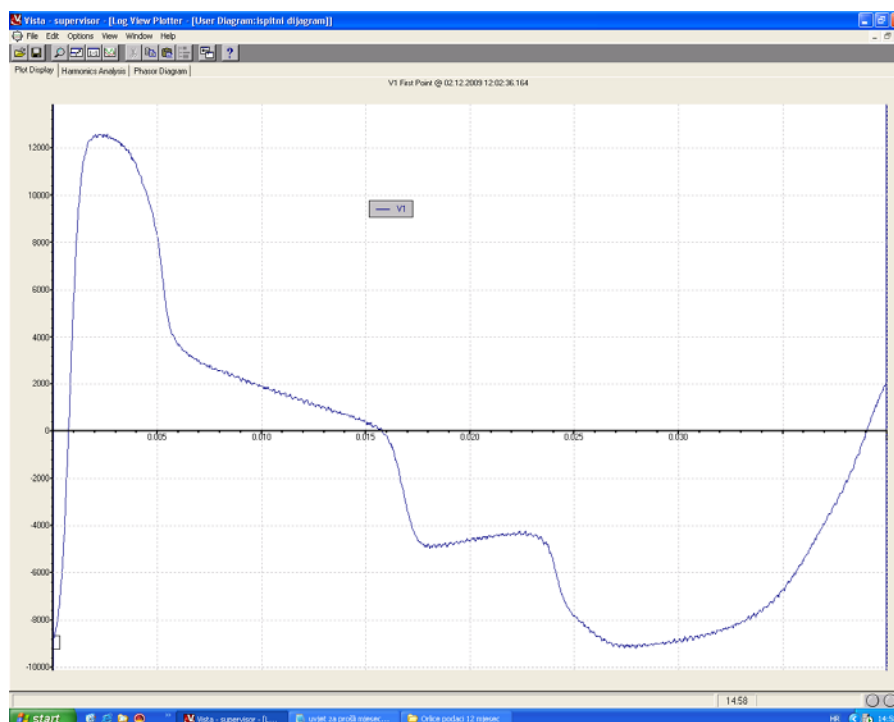
Kao i konvencionalni izvori energije tako i vjetroelektrane moraju zadovoljiti u pogledu kvalitete električne energije zbog stabilnosti i pouzdanosti samog sustava, ali i zadovoljstva potrošača priključenih na električnu mrežu.

Za ilustraciju utjecaja vjetroelektrana na kvalitetu električne energije dana je tablica koja ukazuje na uzročno – posljedične veze operativnosti elektrana na mreži.

Tablica I. Utjecaj vjetroelektrana na kvalitetu električne energije [2]

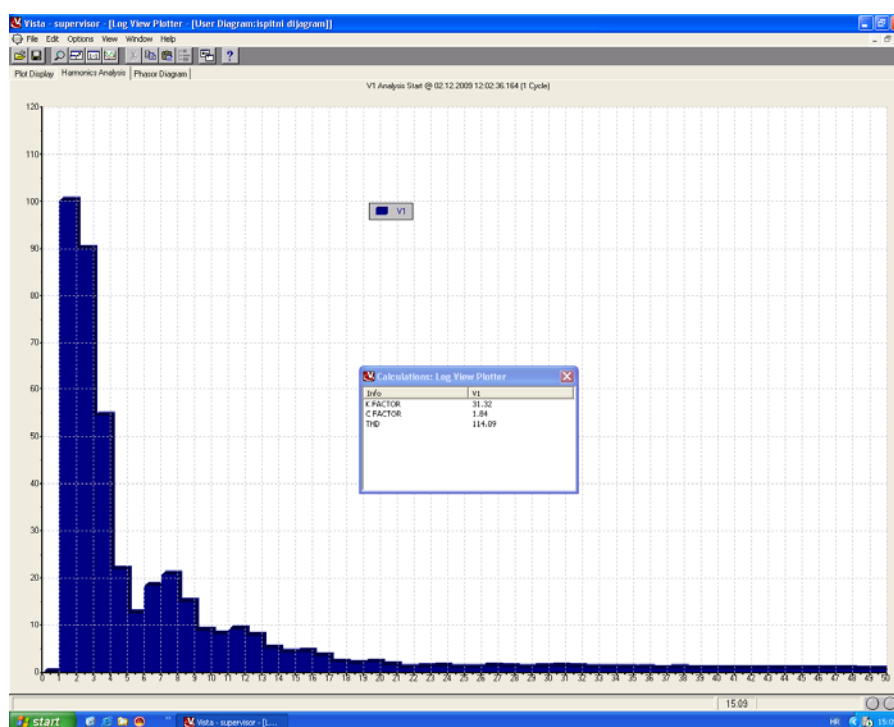
Poremećaji	Uzroci
Promjena napona	Promjena brzina vjetra
Prekomjerna struja	Udar vjetra
Emisija flikera	Dinamičke operacije vjetroturbine
Emisija flikera	Uključenje/isključenje vjetroturbine
Pad napona	Struja uklopa generatora
Harmonici	Energetski pretvarači

Još jedan događaj – promjena u valnom obliku napona u fazi V1, koji je zabilježen kao jedan od događaja kvalitete električne energije, je prikazan na slici 12.



Slika 12. Valni oblik napona faze V1

Pripadajuća harmonička analiza napona faze V1 za valni oblik prikazana je na slici 13.



Slika 13. Prikaz harmonika faze V1

U ovom slučaju THD iznosi 114.09 % i prema grafu je vidljiv velik udio 2. harmonika (90 % osnovnog harmonika) i 3. harmonika (55 % osnovnog harmonika).

#### **4. ZAKLJUČAK**

Ovim referatom je dan uvid u sustav kojim se obavlja daljinsko praćenje električne energije kao i njene kvalitete. U članku se ne ulazi u detaljno objašnjavanje grafičkih prikaza i pojava nastalih kao rezultat raznih operacija vjetroelektrana i njihovih učinaka na mrežu što zahtjeva detaljnije analize i matematičke modele, već se nastoji prikazati mogućnosti koje sustav nudi. Dan je naglasak na učinak vjetroelektrana na kvalitetu električne energije kroz normu EN 50160. U budućnosti će biti mjesta za proširenje mogućnosti sustava, kao primjerice praćenje samog starta elektrana, broj radnih sati elektrana u mjesecu, mogućnost prognoze temeljem ostvarenog trenda proizvodnje itd.

#### **LITERATURA**

- [1] PowerLogic® ION Reference, ION Architecture & ION Modules, Reference Guide, 09/2008
- [2] M. Lasić, „Kvaliteta električne energije i negativno povratno djelovanje trošila na mrežu“, Kvalifikacijski doktorski ispit, 2006 g.
- [3] EN 50160: „Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems“, CENELEC