
Elektromagnetska kompatibilnost i kvaliteta električne energije - primjena propisa

Mjerenja kvalitete napona, iskustva i prijedlozi nadopune regulative

Mate Lasić, dipl. ing.
KONČAR - Institut za elektrotehniku d.d.

Mjerenja kvalitete napona

- iznos frekvencije napona
- iznos napona u kvazistacionarnom stanju
- iznos naponskih harmonika
- iznos treperenja napona (fliker)
- iznos nesimetričnosti napona
- iznosi napona signaliziranja
- iznosi propada napona i prenapona

MJERENJA KVALITETE NAPONA, ISKUSTVA I PRIJEDLOZI NADOPUNE REGULATIVE

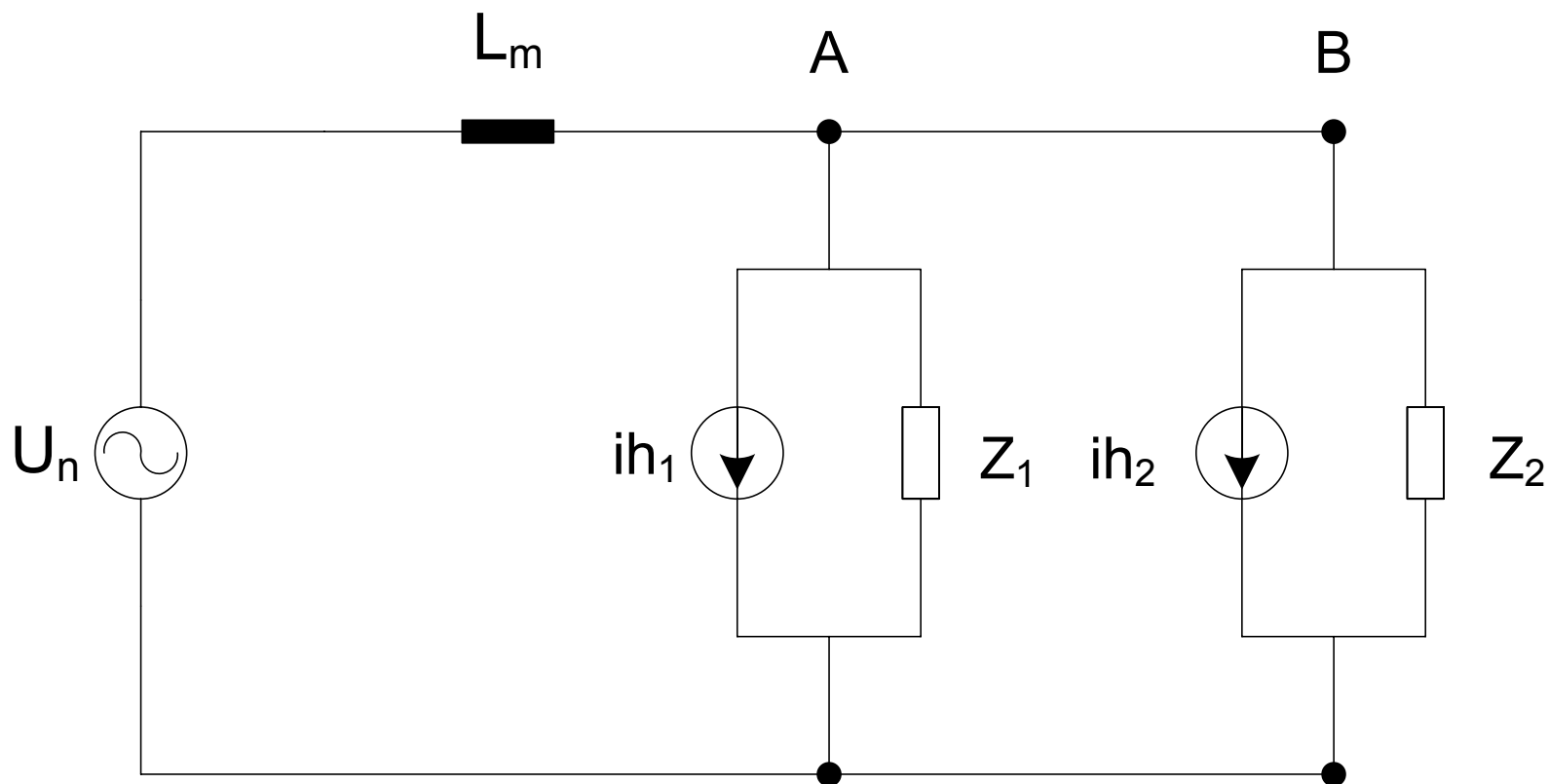
Mate Lasić, dipl. ing. - KONČAR - Institut za elektrotehniku d.d.

Posljedica	Uzrok
Naponski harmonici	TV-uređaji, fluo rasvjeta, računala, uredska oprema, klima uređaji, EVP, elektrolučne peći, vjetroagregati
Fliker	Elektrolučne peći, pokretanje motora velikih snaga, valjaonička postrojenja, vjetroagregati
Nesimetrija	EVP, loše simetriranje opterećenja na NN, zavarivanje
Naponski međuharmonici	Elektrolučne peći

Mjerenja kvalitete napona

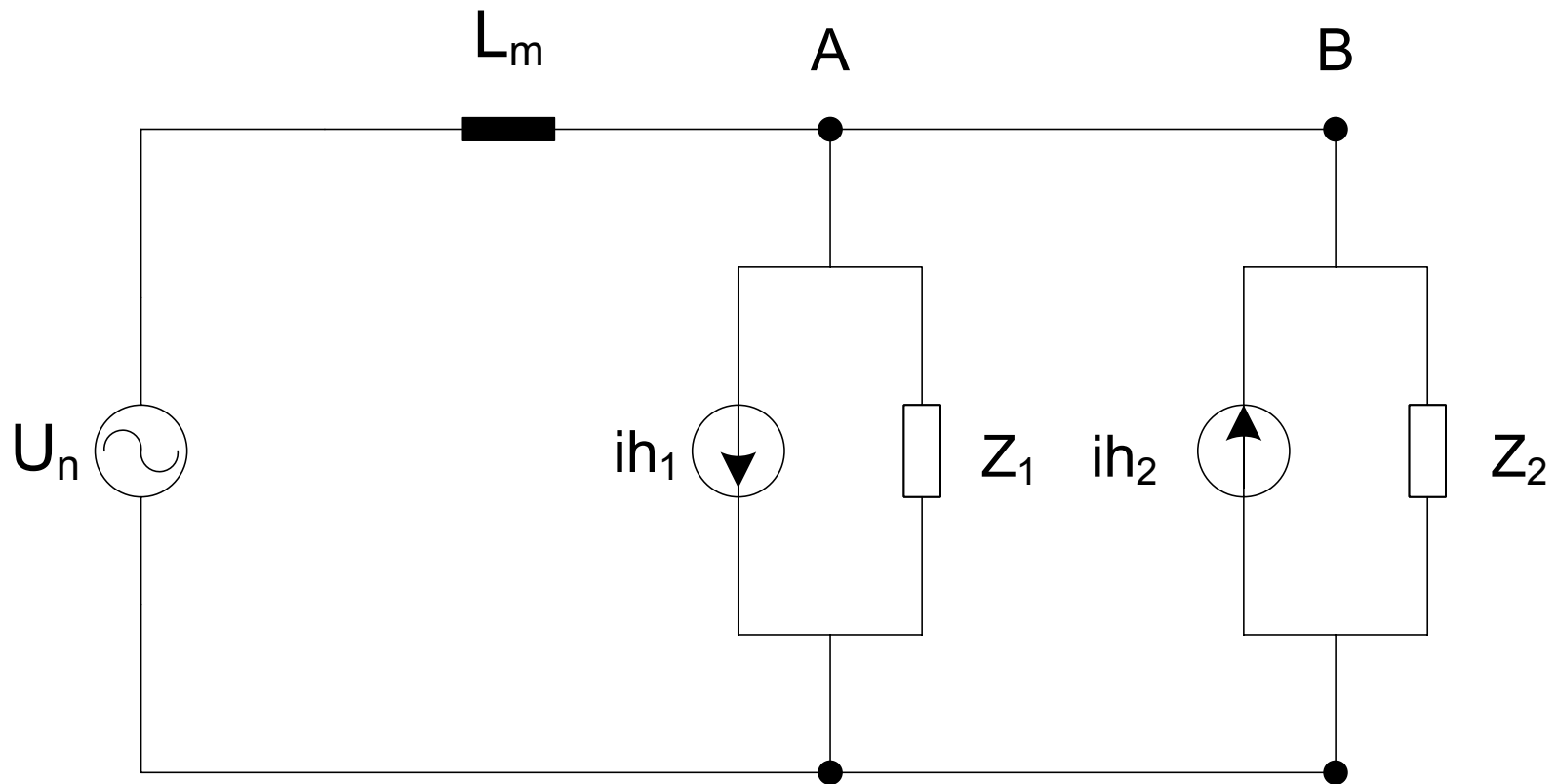
- više različitih korisnika mreže priključenih u jedno čvorište iste naponske razine imaju istu kvalitetu napona
- kvaliteta napona u tom čvorištu je odraz trenutnog stanja tokova snaga te zbirnog utjecaja negativnog povratnog djelovanja opreme svakog korisnika mreže u tom čvorištu
- za određivanje razine kvalitete napona dovoljno je provesti mjerenja samo na jednom mjestu (OMM)
- za određivanje utjecaja negativnog povratnog djelovanja opreme korisnika mreže potrebno je mjeriti i iznos struje (opterećenja)
- često je potrebno provesti mjerenja u više točaka istodobno da bi se mogla izvršiti cjelovita analiza stanja kvalitete napona

Emisija viših harmonika struje više korisnika mreže



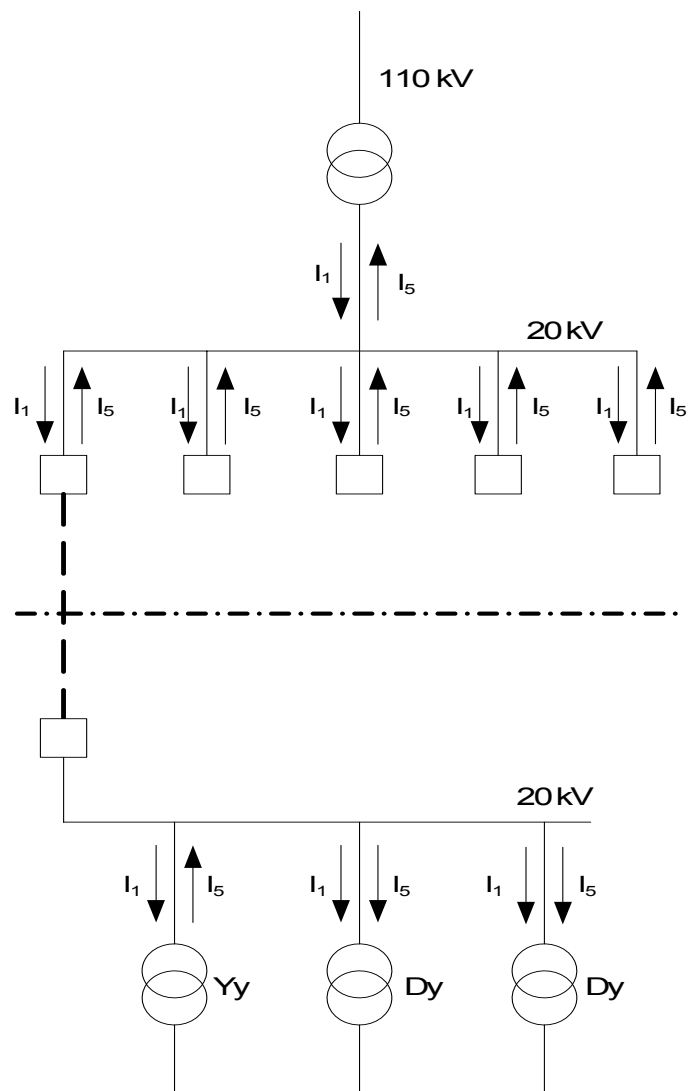
MJERENJA KVALITETE NAPONA, ISKUSTVA I PRIJEDLOZI NADOPUNE REGULATIVE

Mate Lasić, dipl. ing. - KONČAR - Institut za elektrotehniku d.d.



MJERENJA KVALITETE NAPONA, ISKUSTVA I PRIJEDLOZI NADOPUNE REGULATIVE

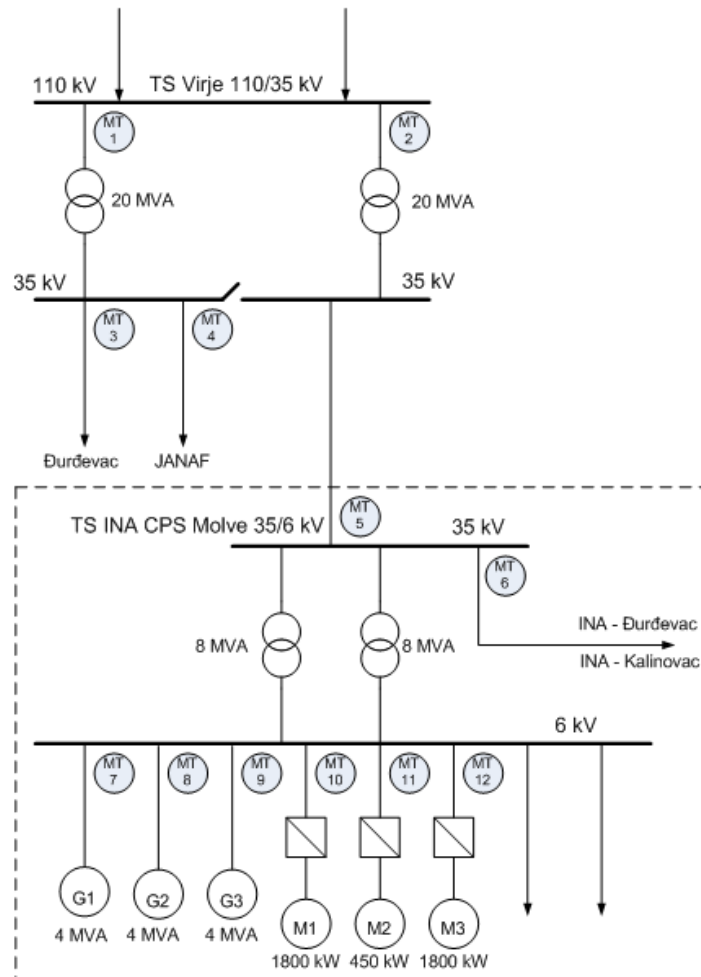
Mate Lasić, dipl. ing. - KONČAR - Institut za elektrotehniku d.d.



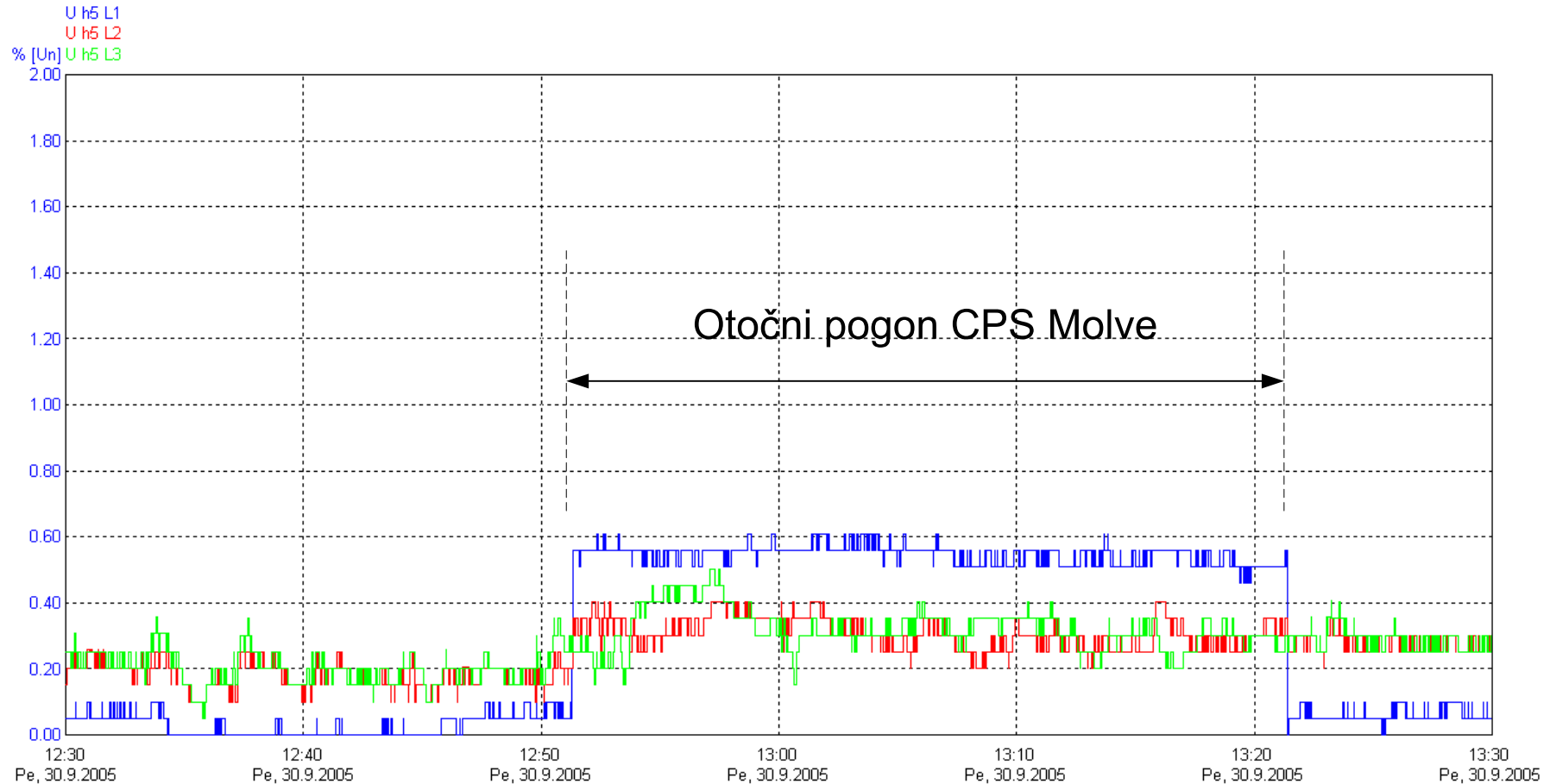
MJERENJA KVALITETE NAPONA, ISKUSTVA I PRIJEDLOZI NADOPUNE REGULATIVE

Mate Lasić, dipl. ing. - KONČAR - Institut za elektrotehniku d.d.

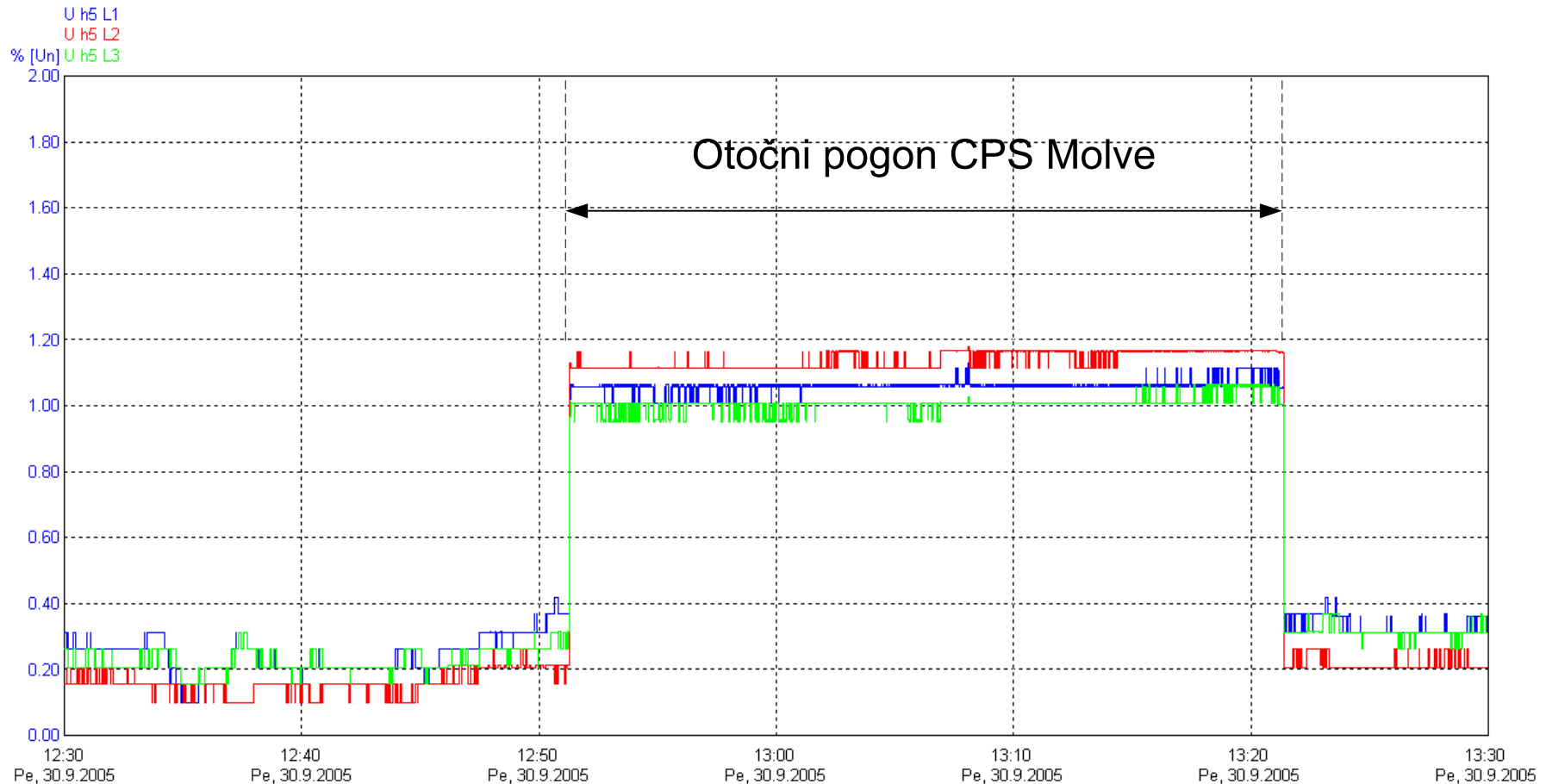
Primjer mjerenja kod većeg industrijskog korisnika mreže



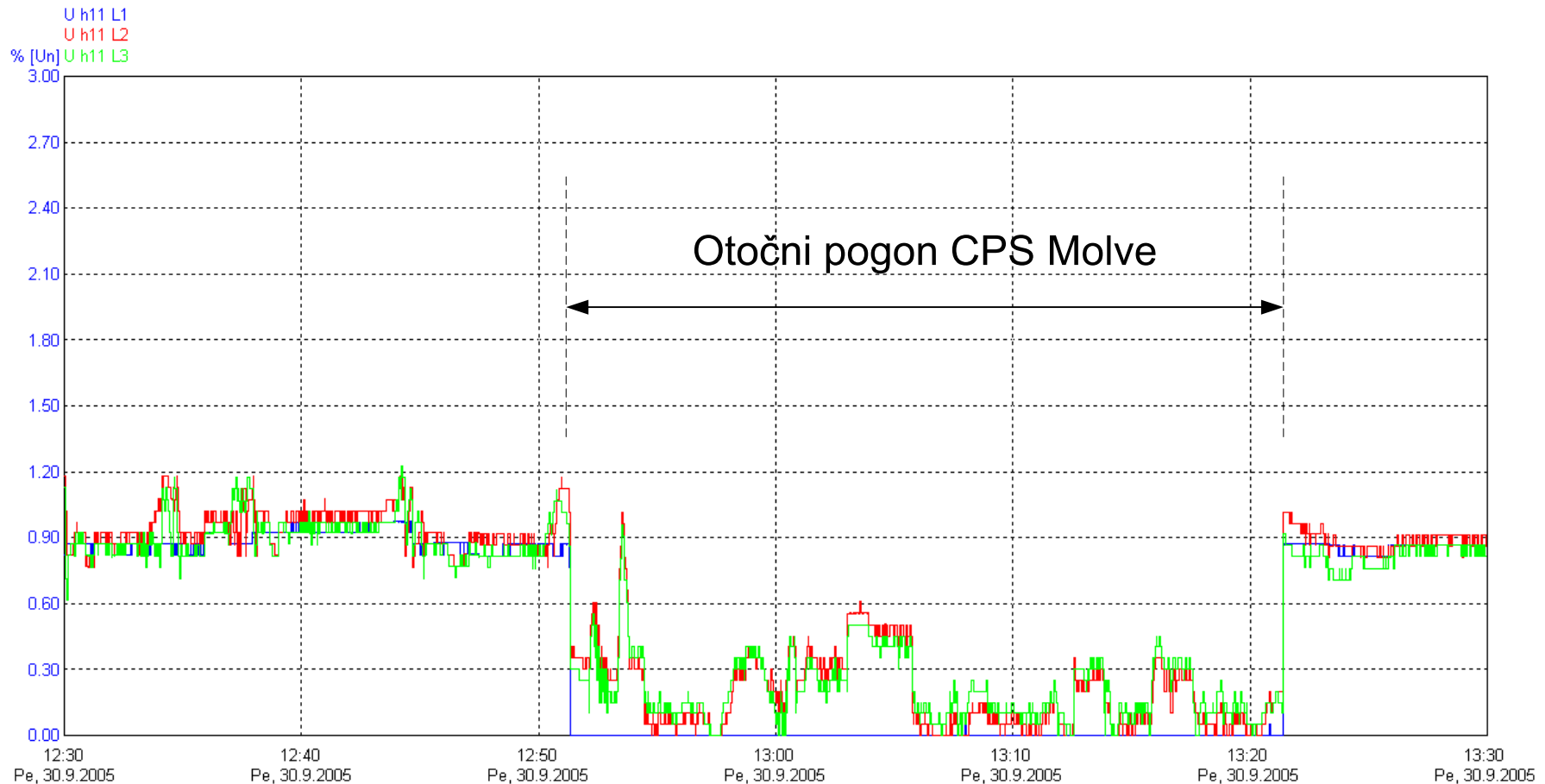
MT5 - 35 kV - ODS - iznos 5. harmonika napona



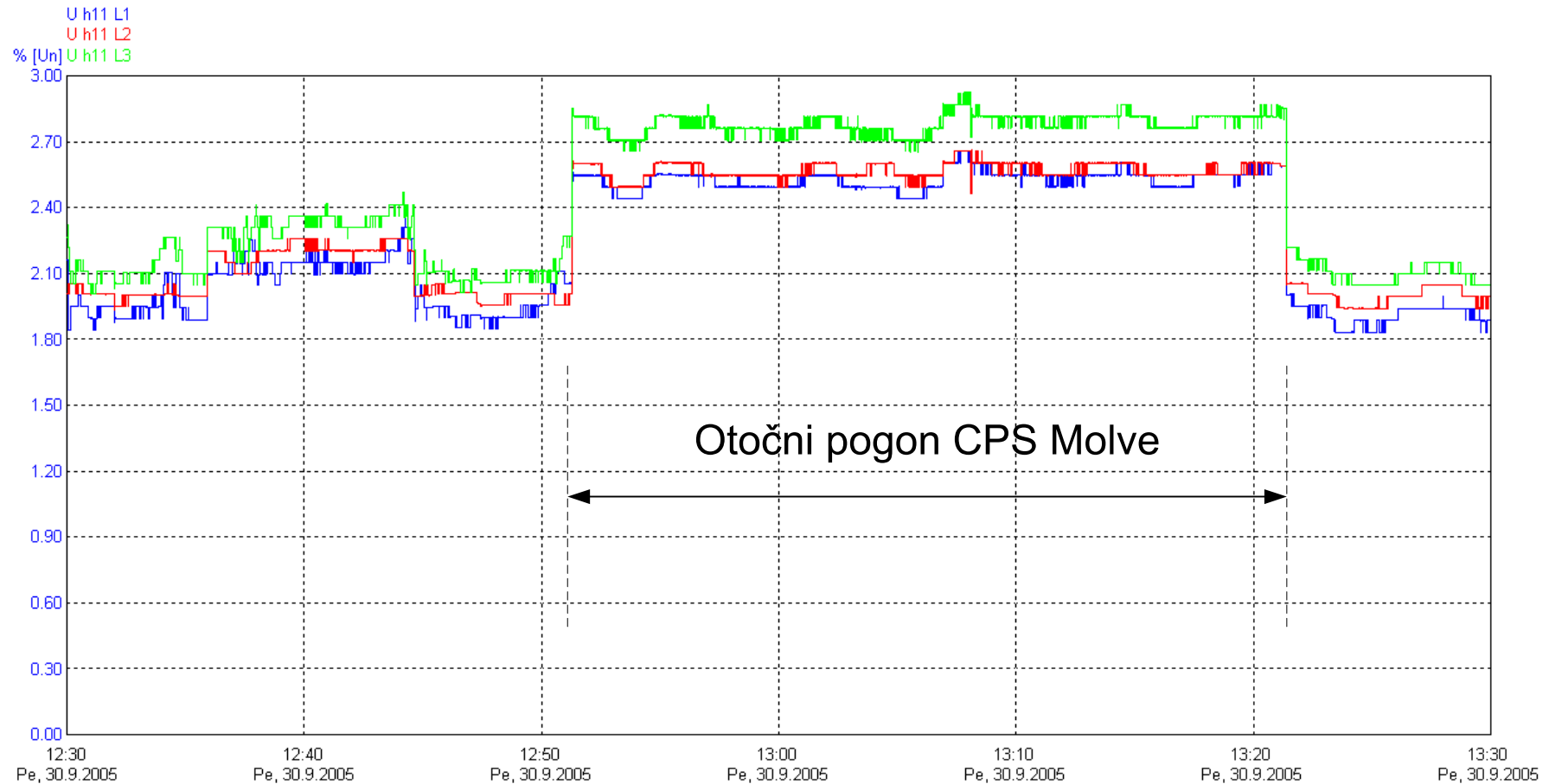
MT9 - 6 kV - CPS Molve - iznos 5. harmonika napona



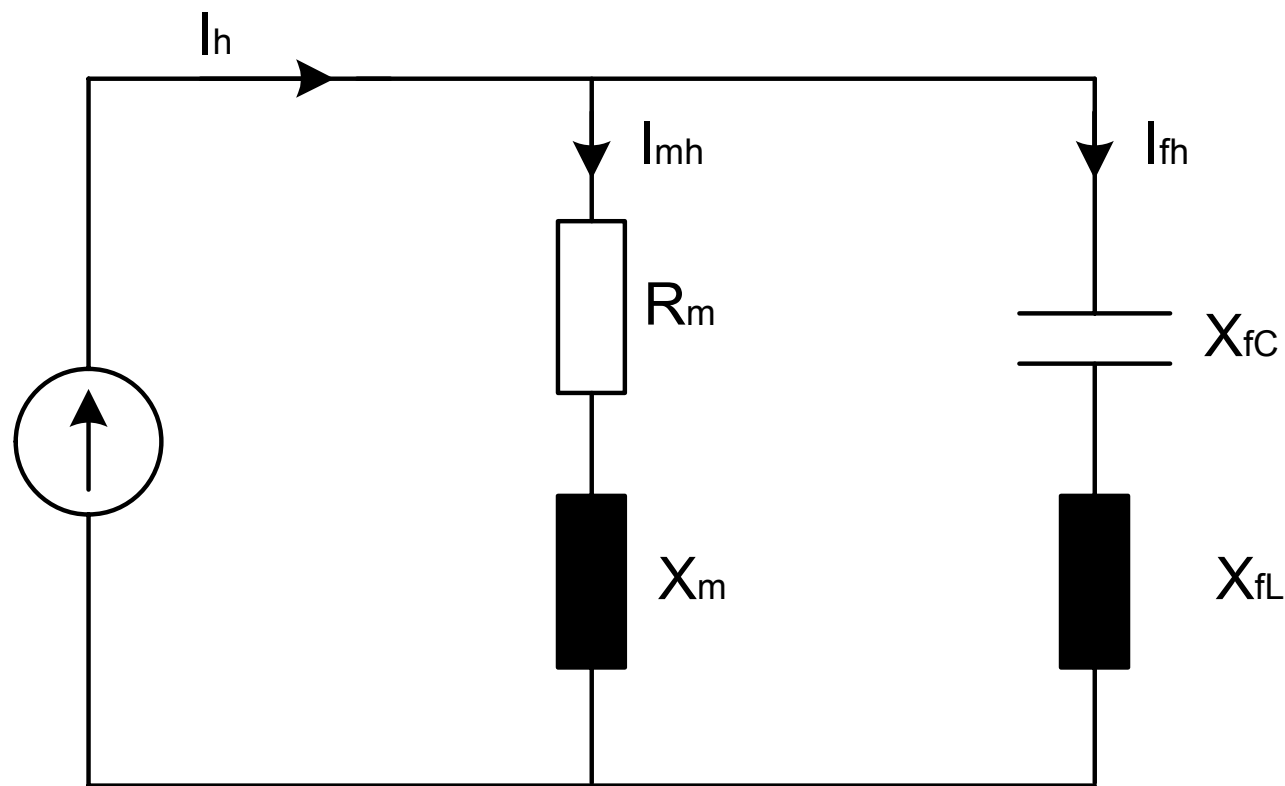
MT5 - 35 kV - ODS - iznos 11. harmonika napona



MT9 - 6 kV - CPS Molve - iznos 11. harmonika napona



Paralelna rezonancija

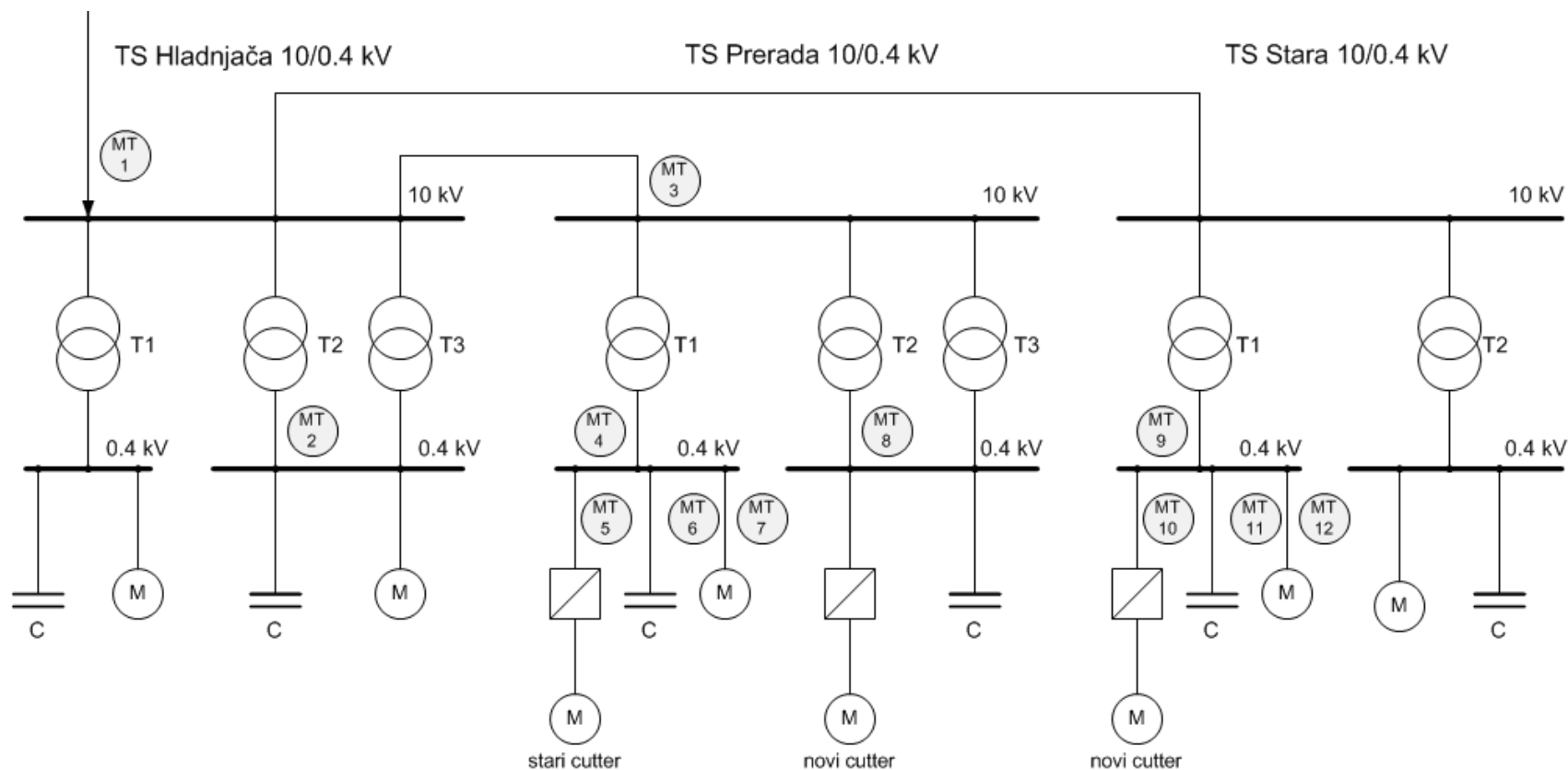


Izvor
harmonika

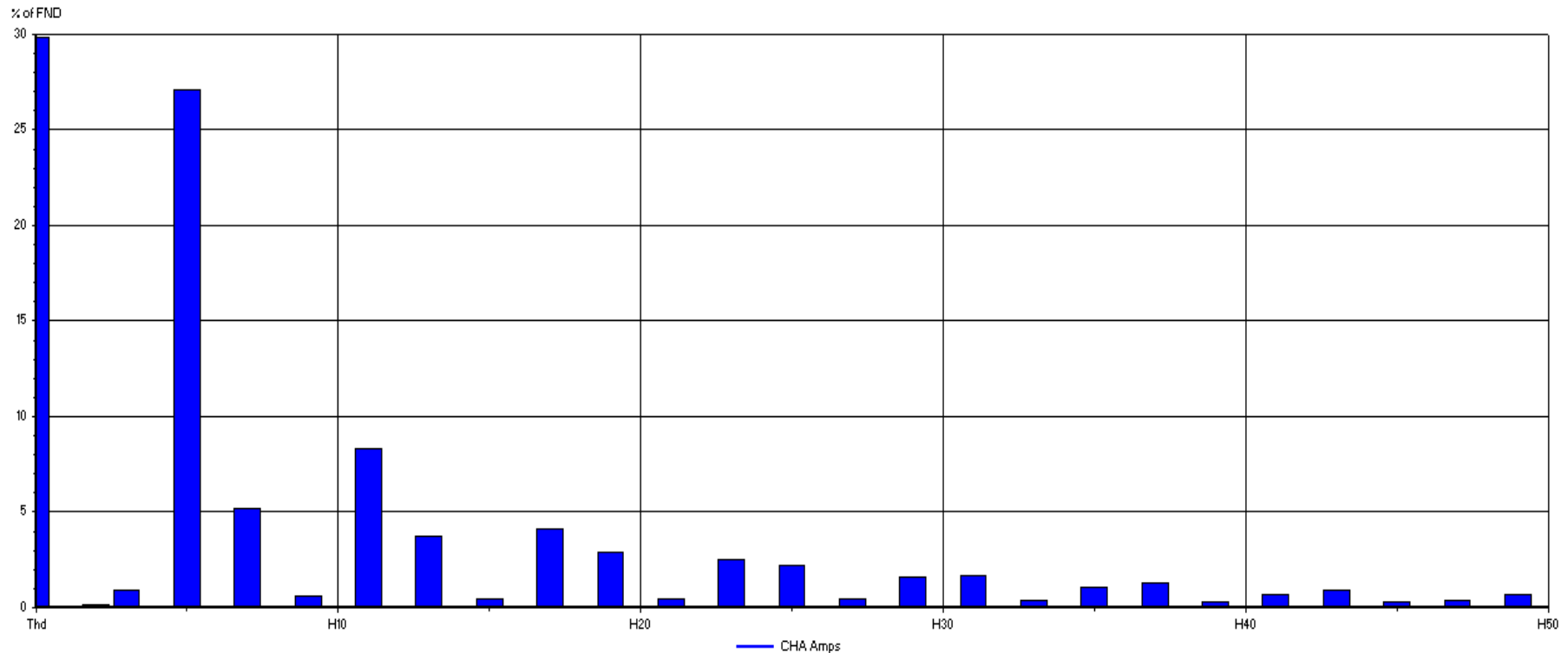
Mreža

Kondenzatorska
baterija ili filter

Primjer mjerenja kod većeg industrijskog korisnika mreže



FFT analiza valnog oblika struje na odvodu za cutter - MT5

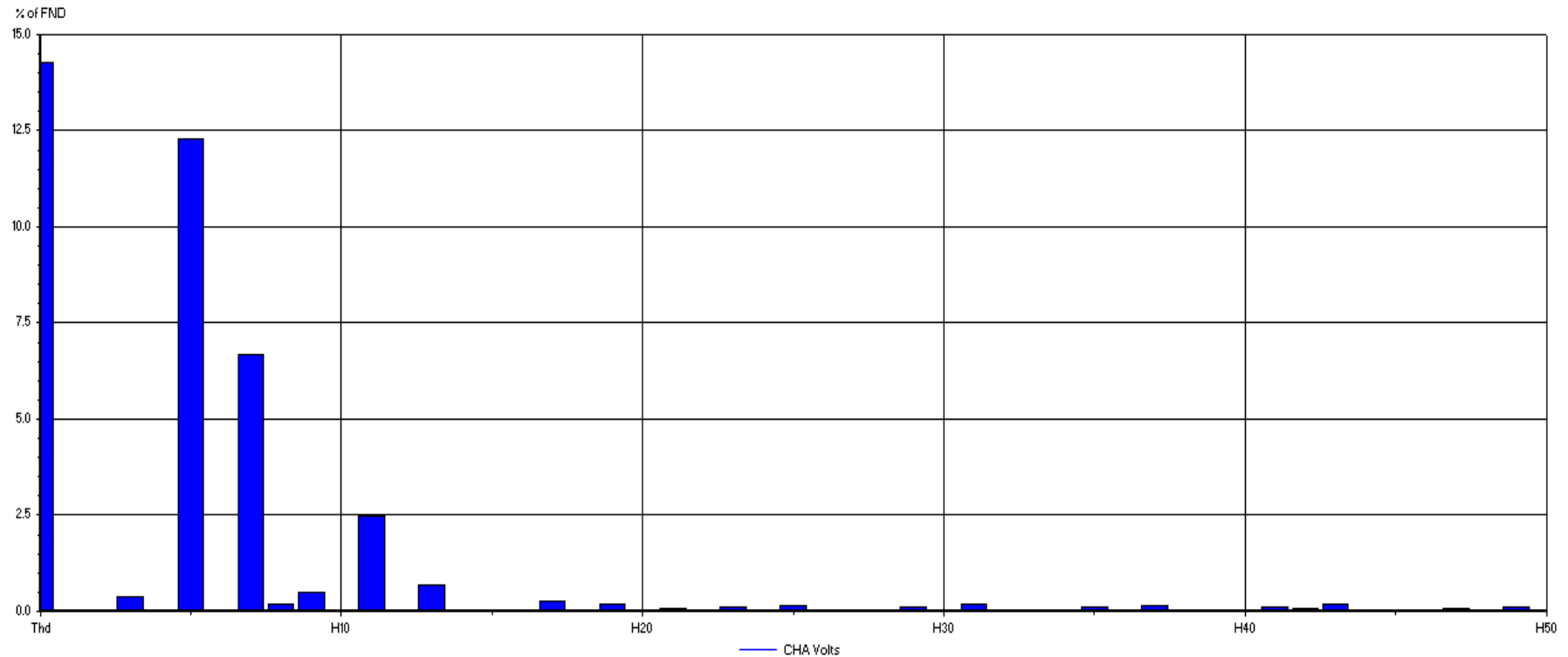


CHA Amps

Total RMS: 1028.91 Amps
DC Level : 6.88 Amps
Fundamental(H1) RMS: 985.61 Amps
Total Harmonic Distortion (H02-H50): 29.89 % of FND
Even contribution (H02-H50): 0.25 % of FND
Odd contribution (H03-H49): 29.89 % of FND

Waveform Snapshot at 31.08.2006 11:59:59

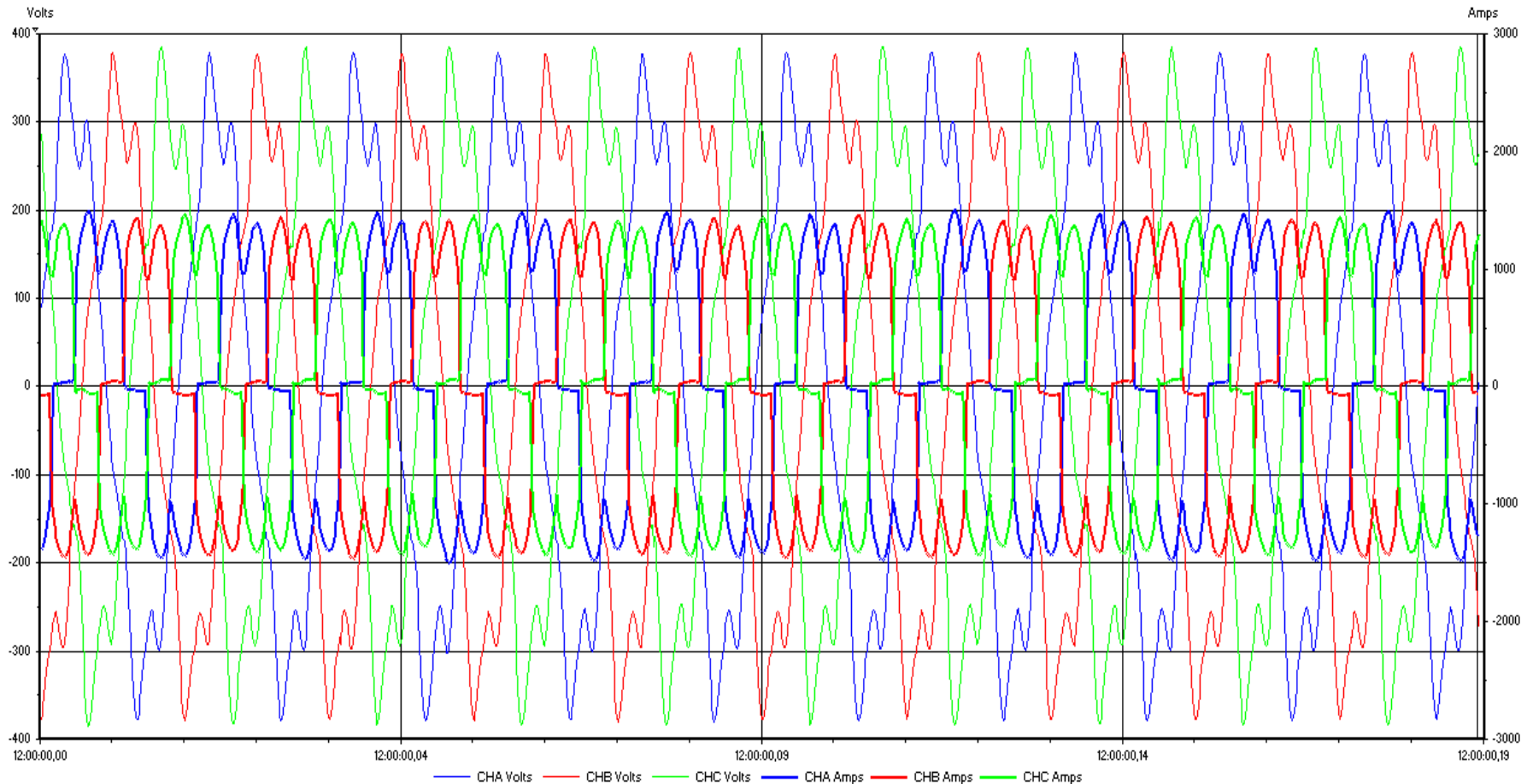
FFT analiza valnog oblika napona na odvodu za cutter - MT5



Total RMS: 234.35 Volts
DC Level: -0.06 Volts
Fundamental(H1) RMS: 231.99 Volts
Total Harmonic Distortion (H02-H50): 14.27 % of FND
Even contribution (H02-H50): 0.24 % of FND
Odd contribution (H03-H49): 14.27 % of FND

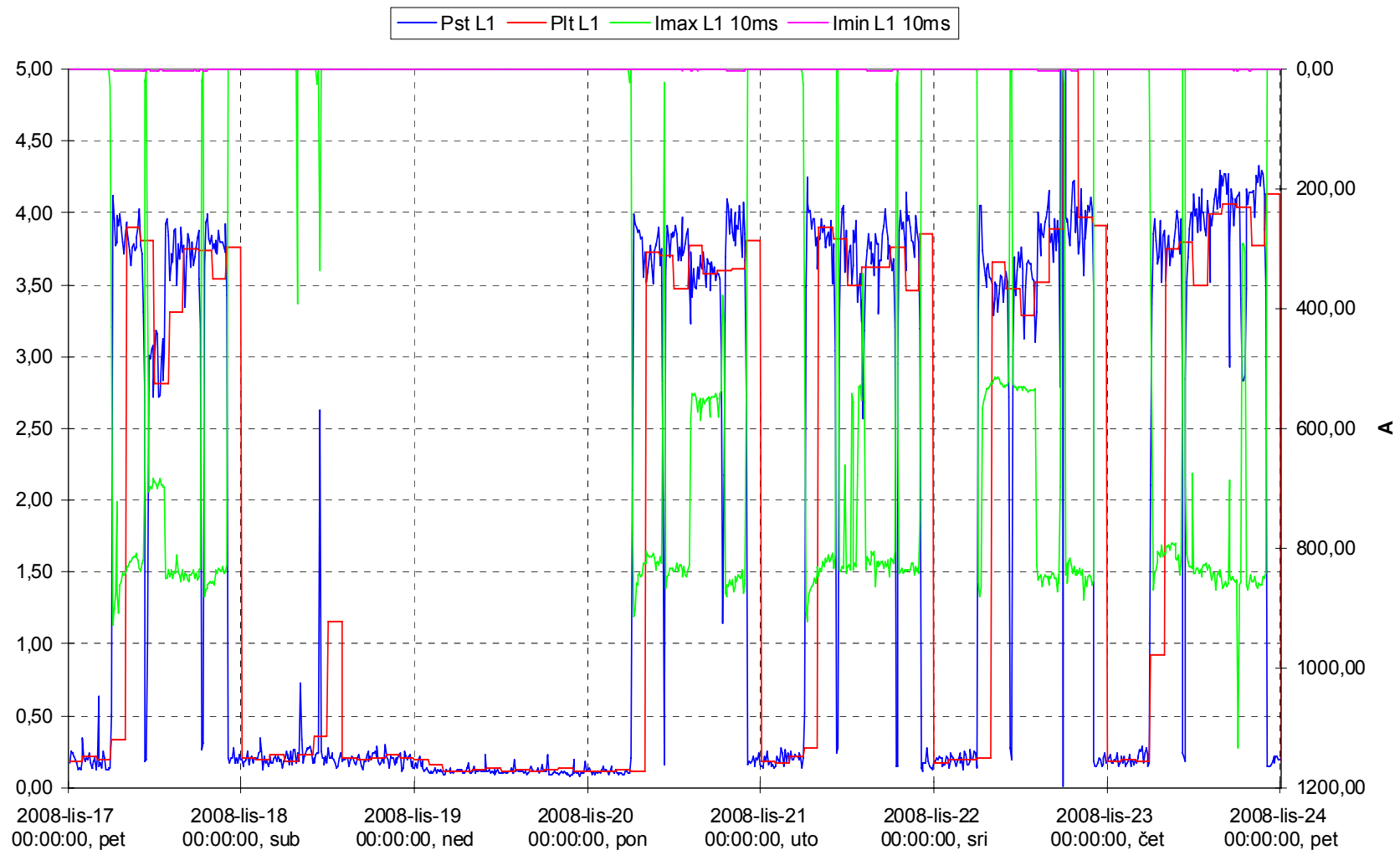
Waveform Snapshot at 31.08.2006 11:59:59

Vrlo veliko izobličenje valnog oblika napona - MT5

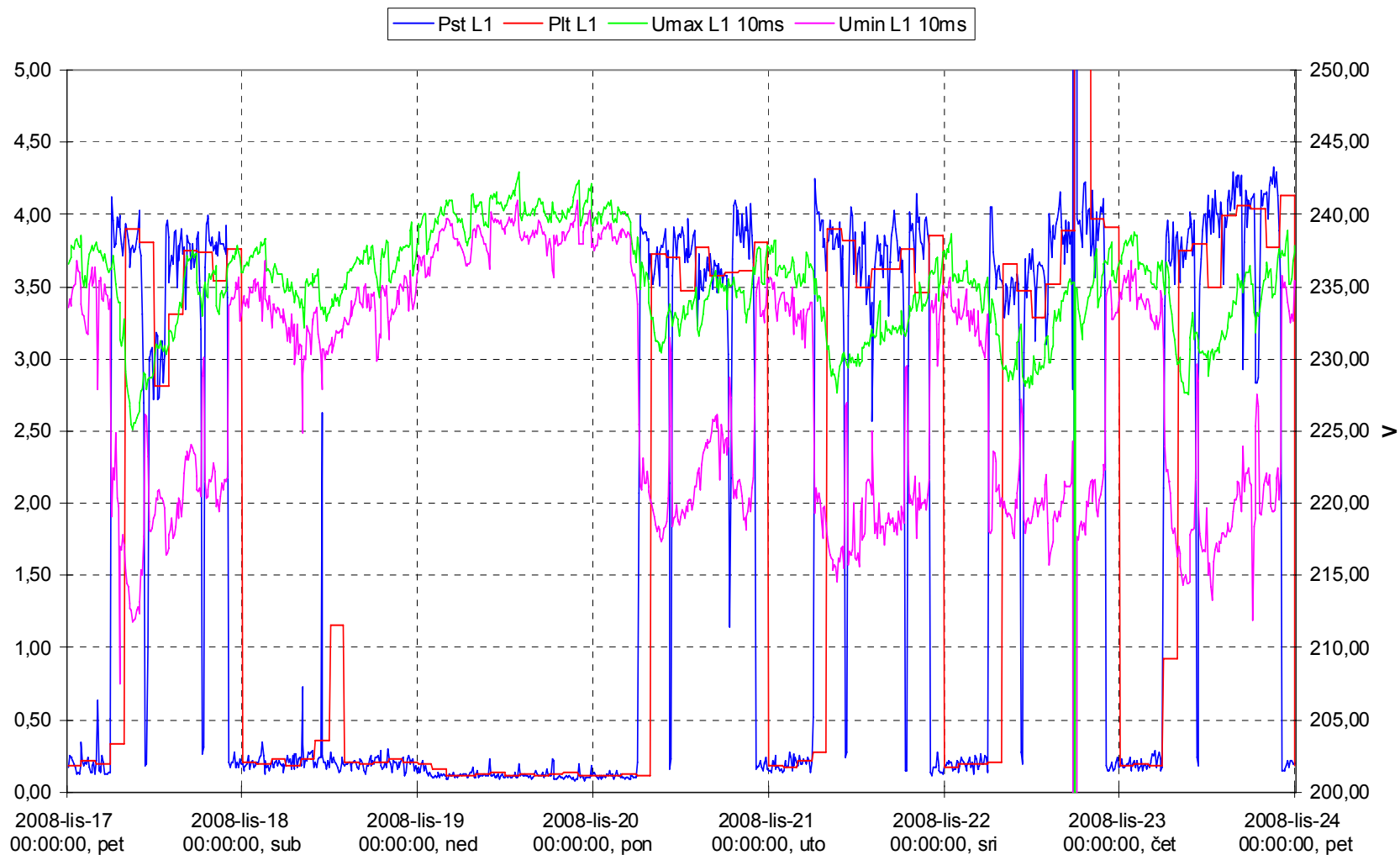


Waveform Snapshot at 31.08.2006 11:59:59

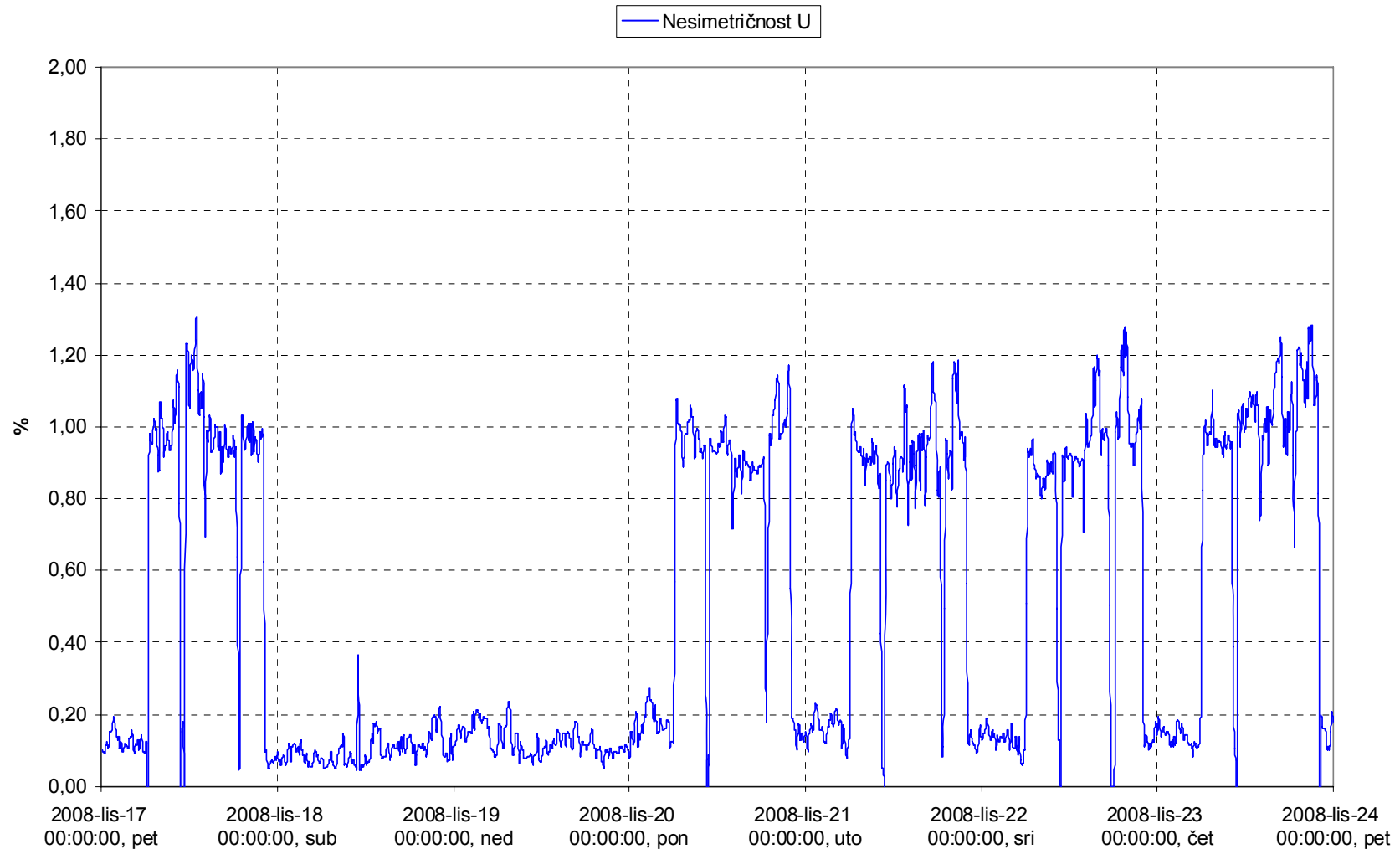
Analiza iznosa flikera - primjer korisnika mreže - zavarivanje



Analiza iznosa flikera - primjer korisnika mreže - zavarivanje



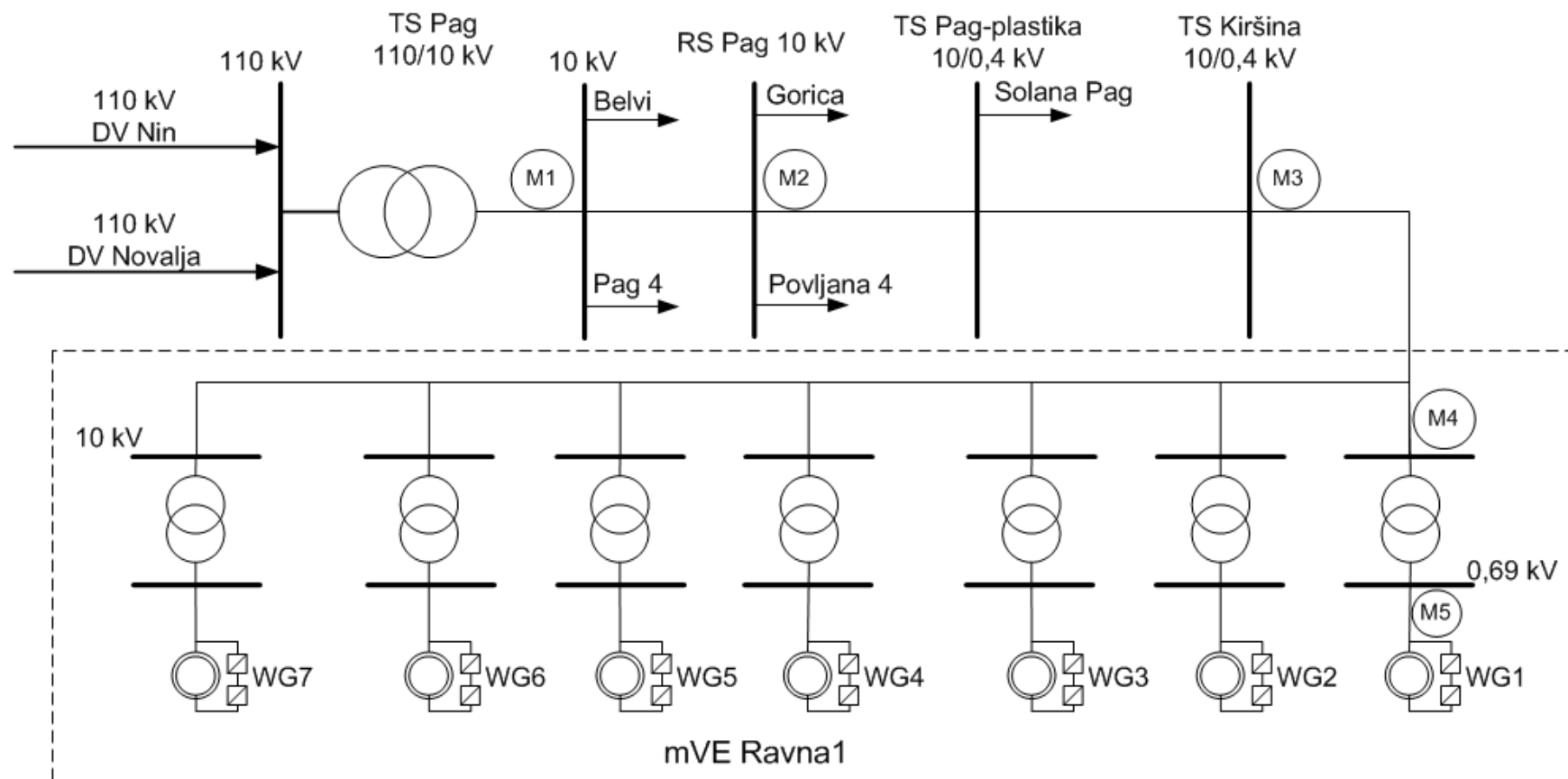
Nesimetričnost napona - primjer korisnika mreže - zavarivanje



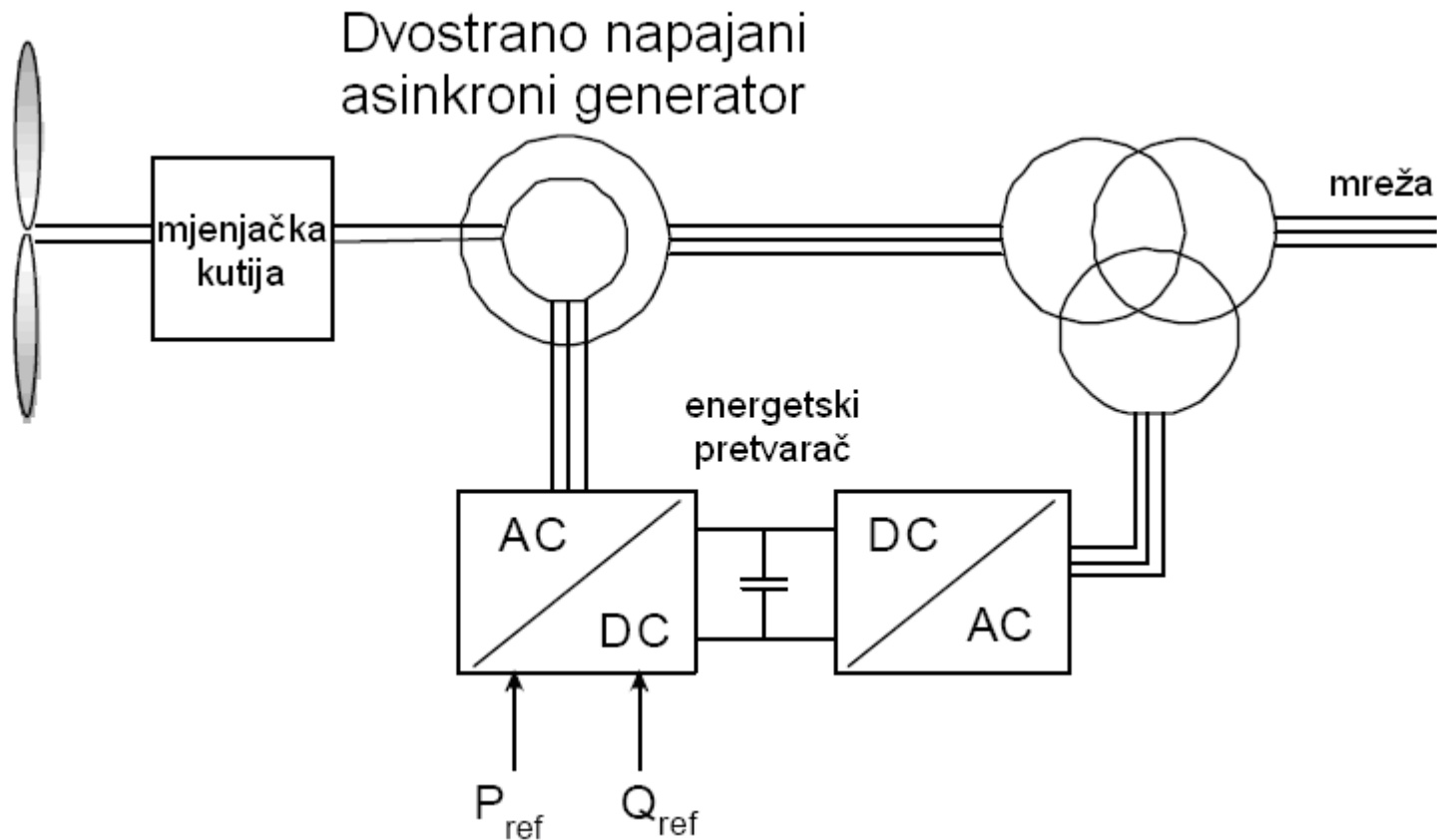
Utjecaj rada vjetroelektrana na KN

- iznos napona u kvazistacionarnom stanju
- dinamičke promjene napona (fliker)
- tranzijenti uzrokovani sklapanjem
- injektiranje viših harmonika struje u mrežu

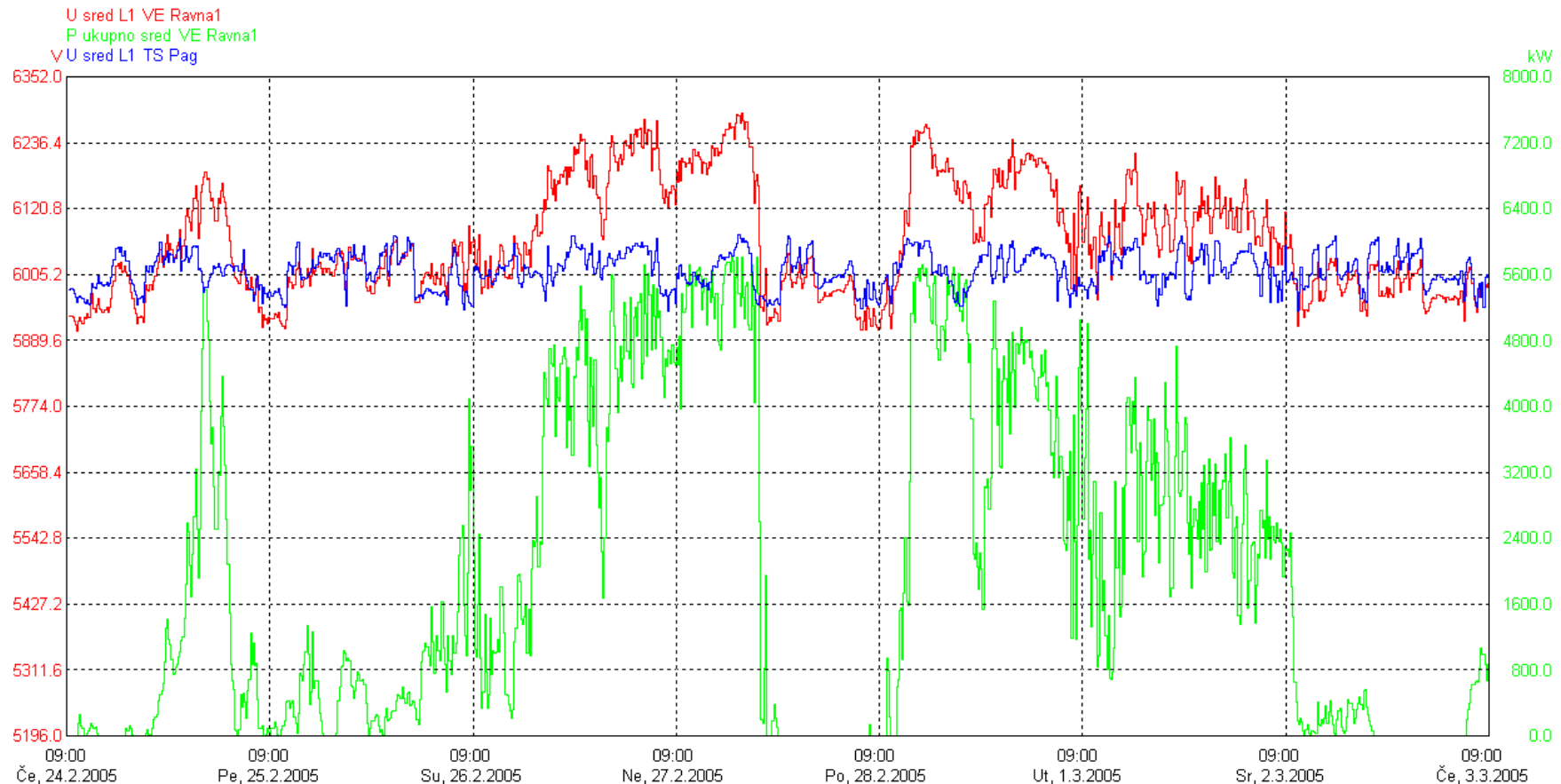
Mjerenja kvalitete napona na otoku Pagu - mVE Ravna1



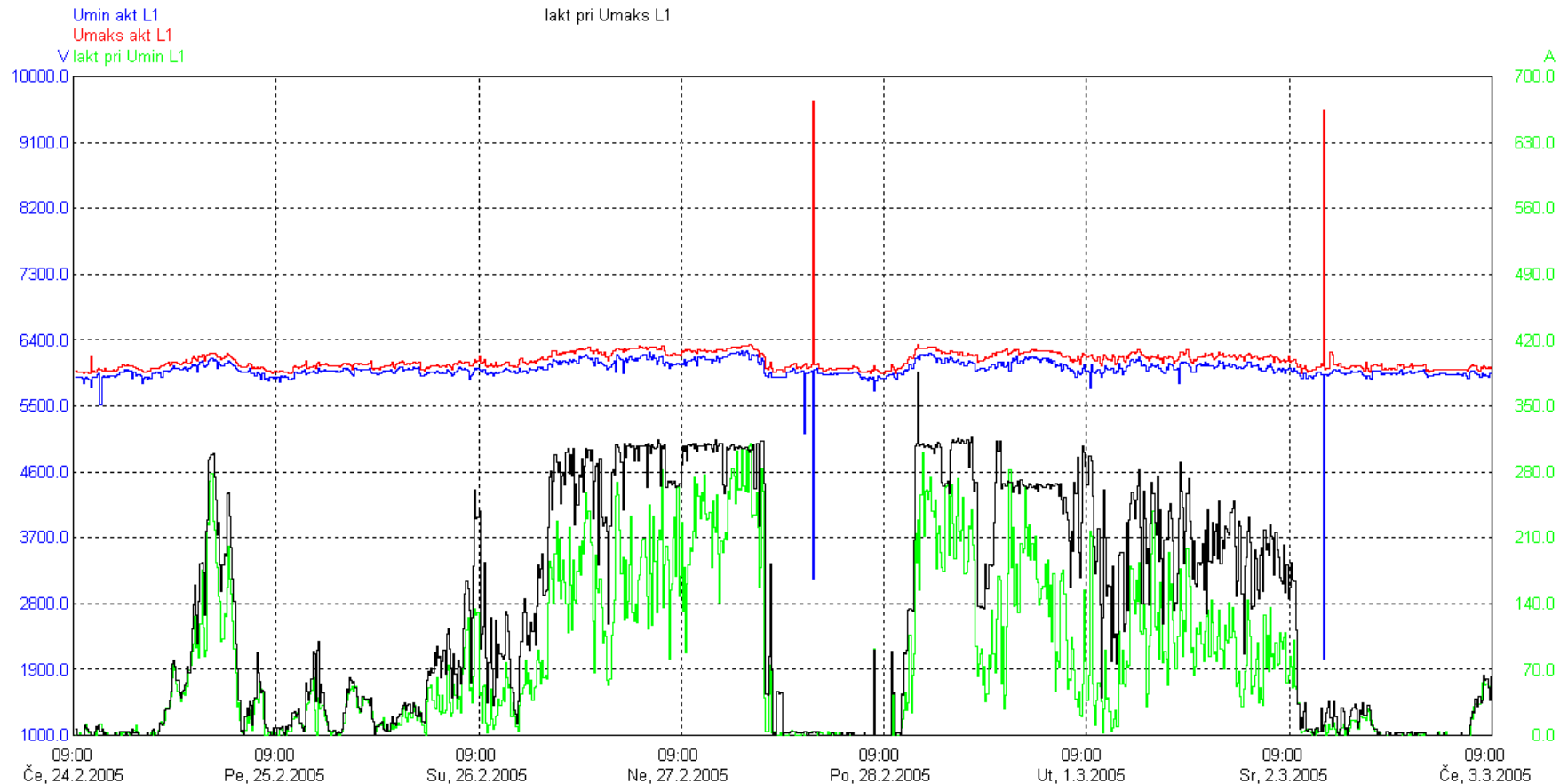
Principijelna shema DFIG izvedbe vjetroagregata



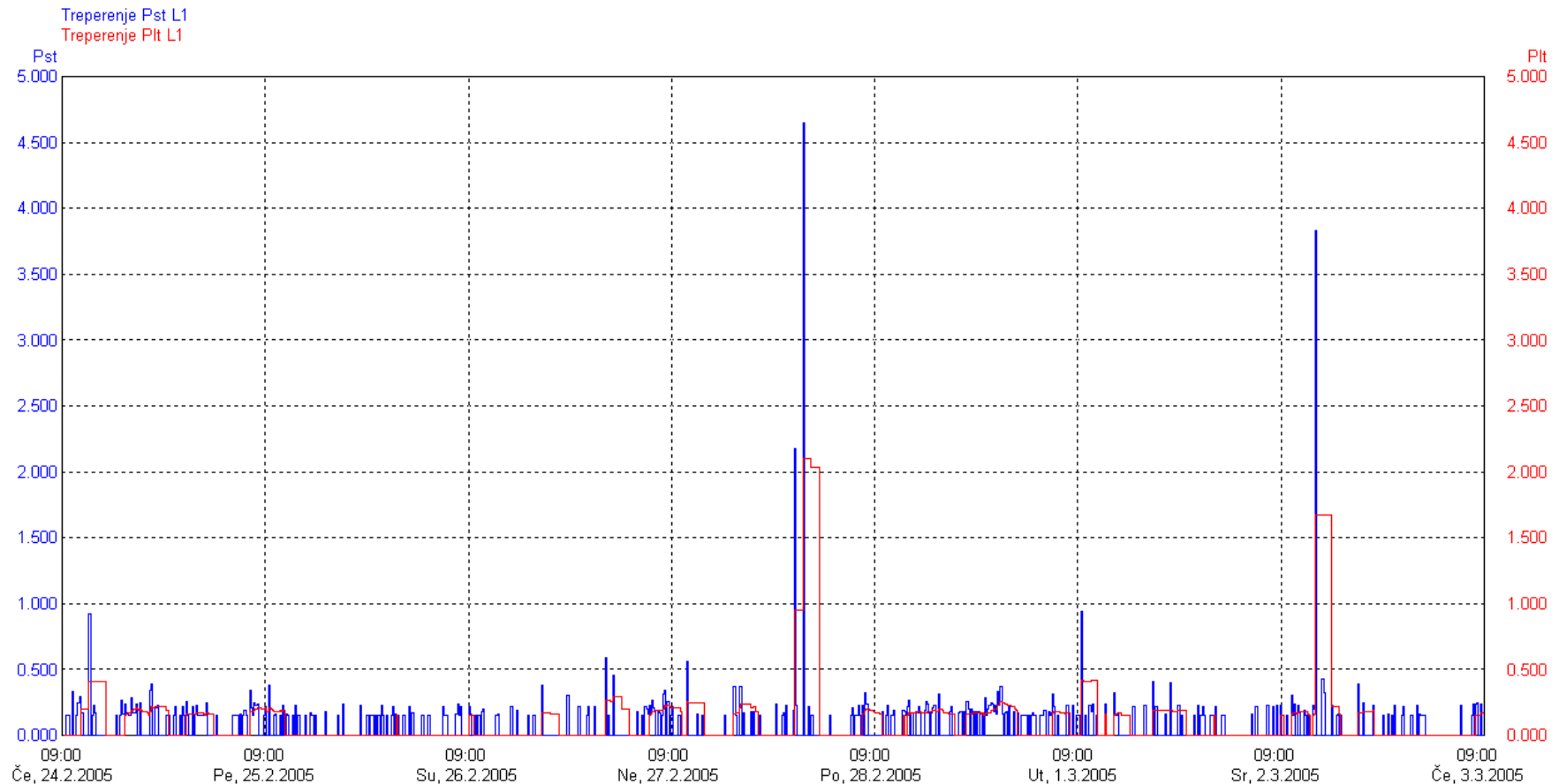
Usporedba iznosa napona u TS Pag - M1 i mVE Ravna1 - M3



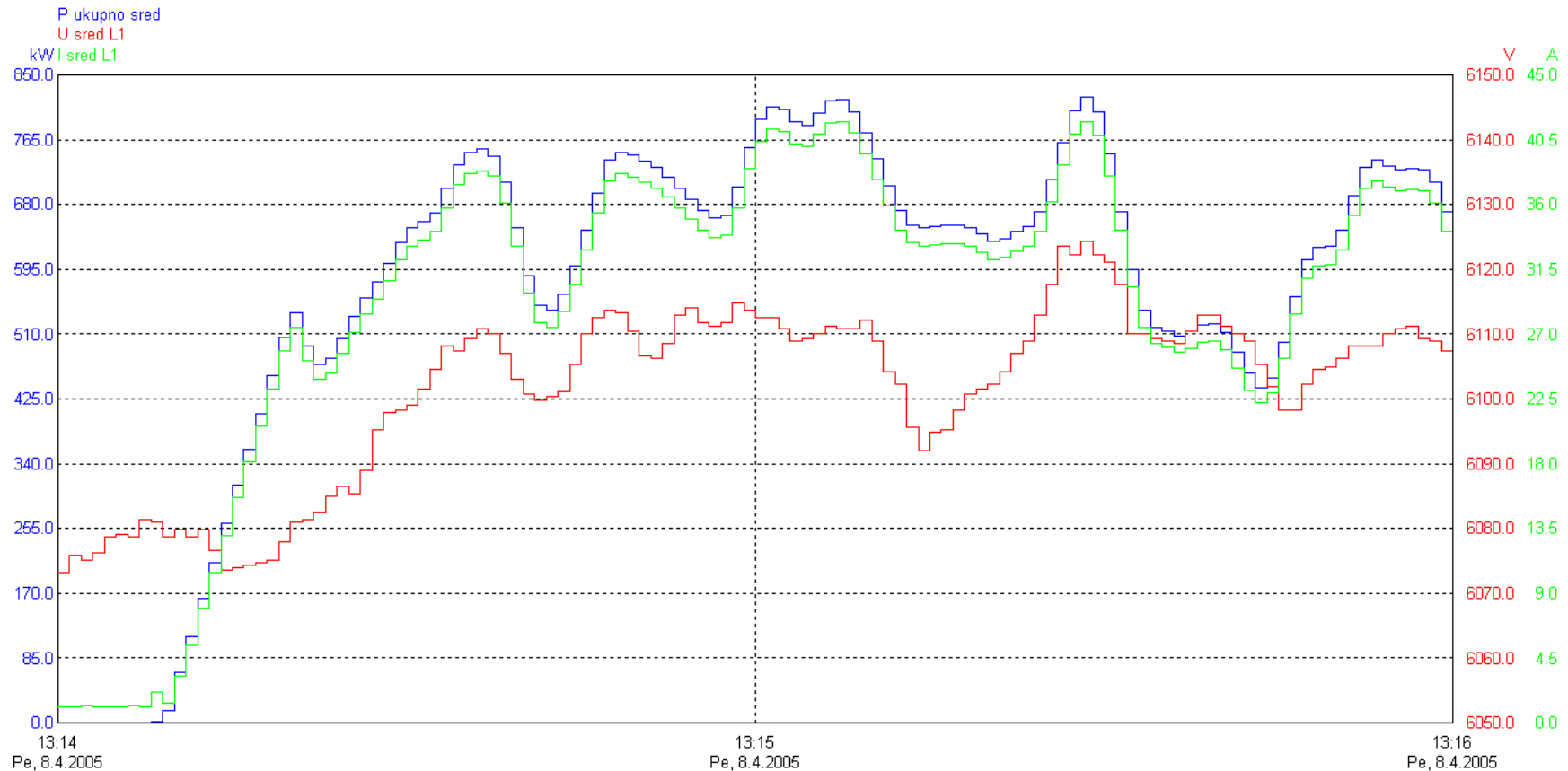
Analiza iznosa flikera u mVE Ravna1 - M3



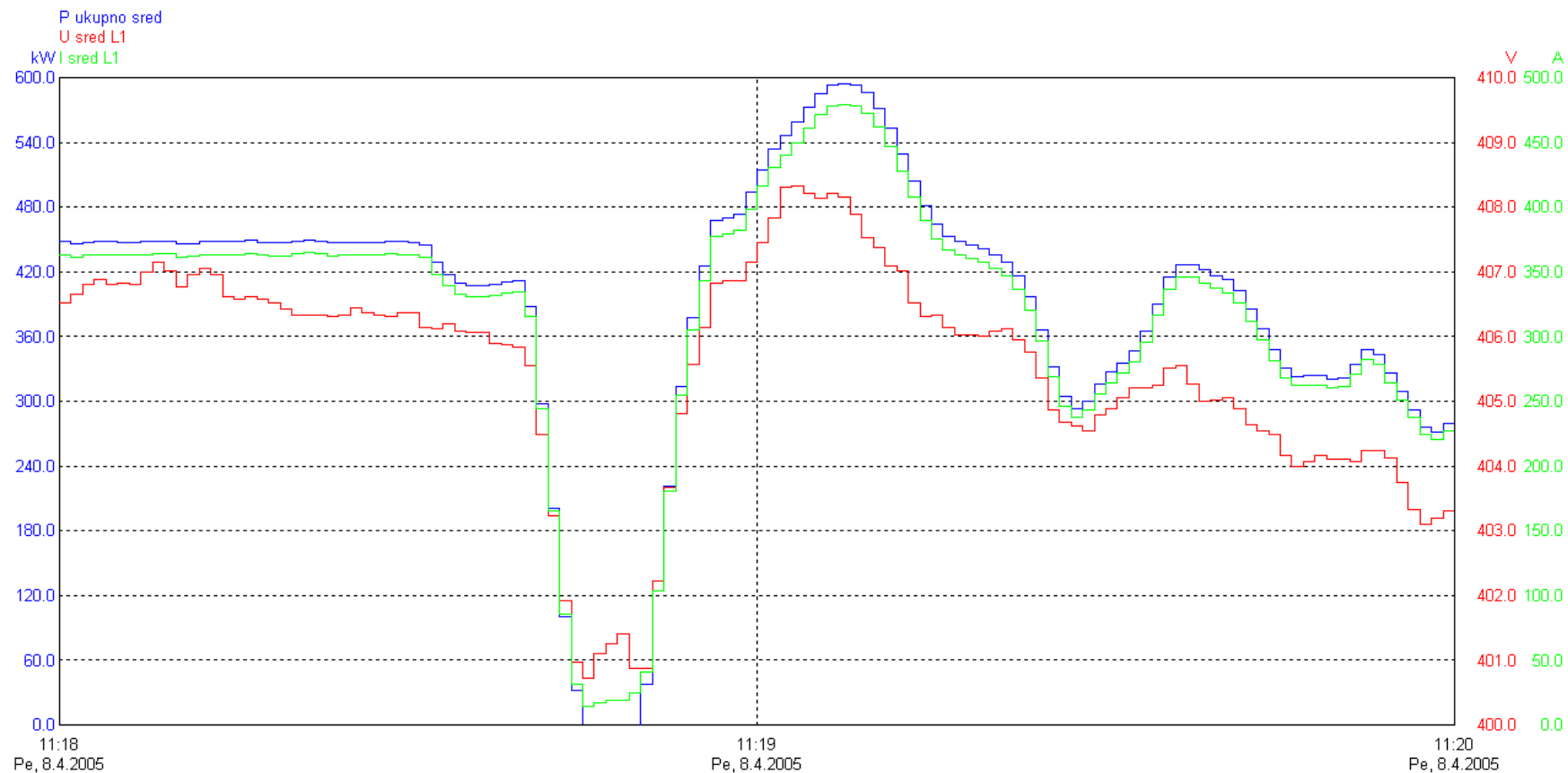
Analiza iznosa flikera u mVE Ravna1 - M3



Uklop vjetroagregata pri nazivnoj brzini vjetra - M4



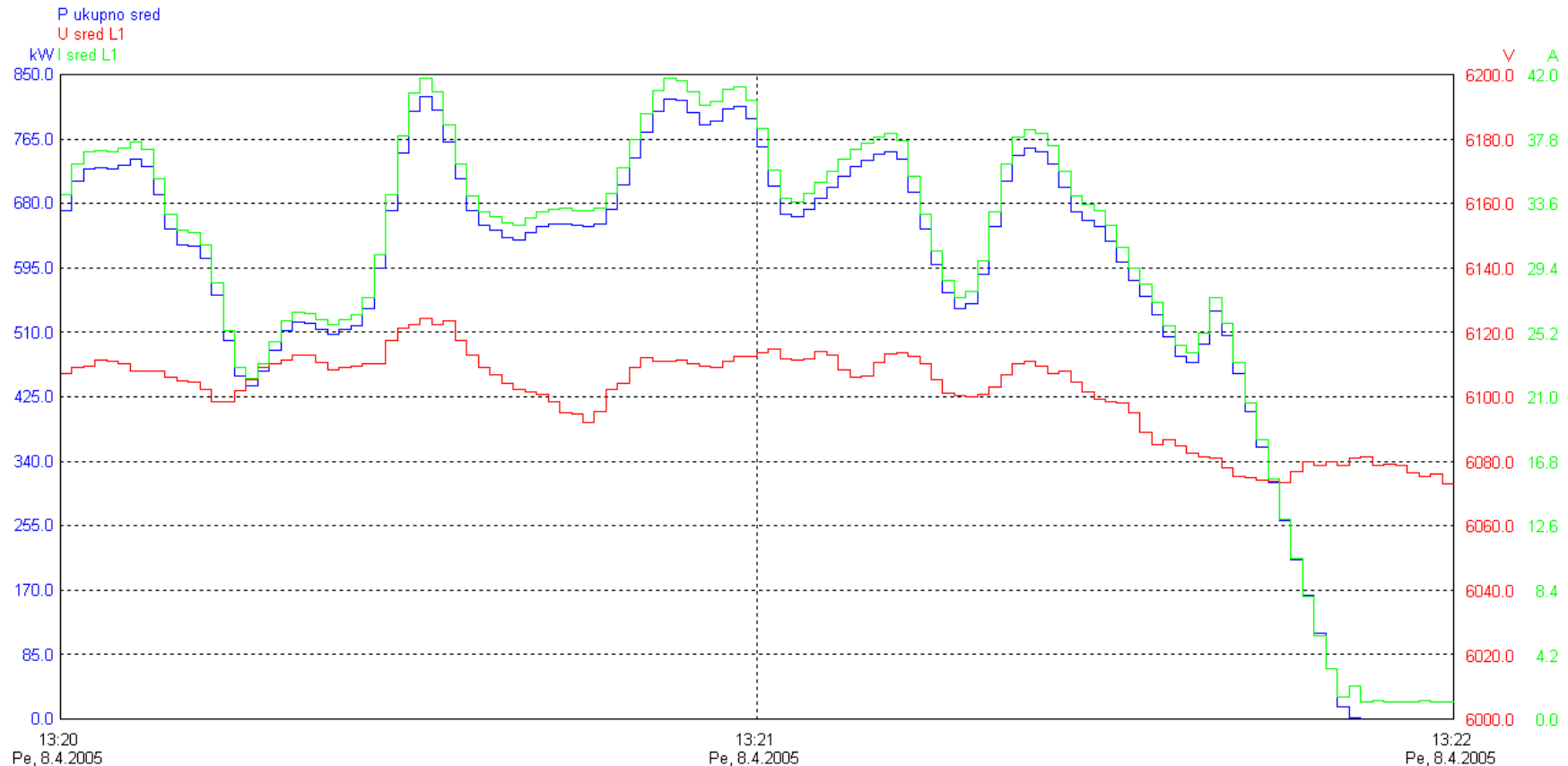
Preklapanje namota zvijezda-trokut vjetroagregata - M5



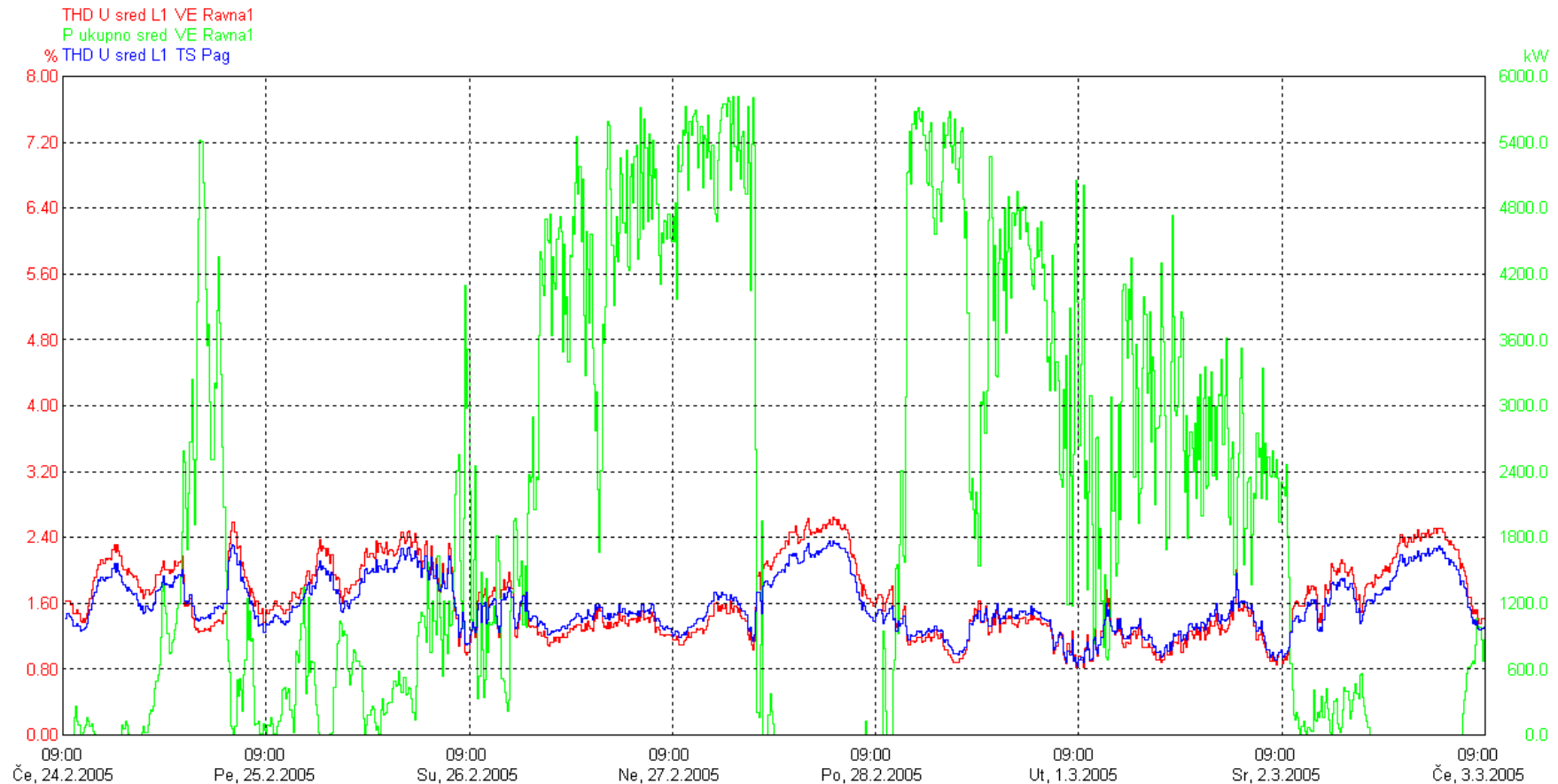
MJERENJA KVALITETE NAPONA, ISKUSTVA I PRIJEDLOZI NADOPUNE REGULATIVE

Mate Lasić, dipl. ing. - KONČAR - Institut za elektrotehniku d.d.

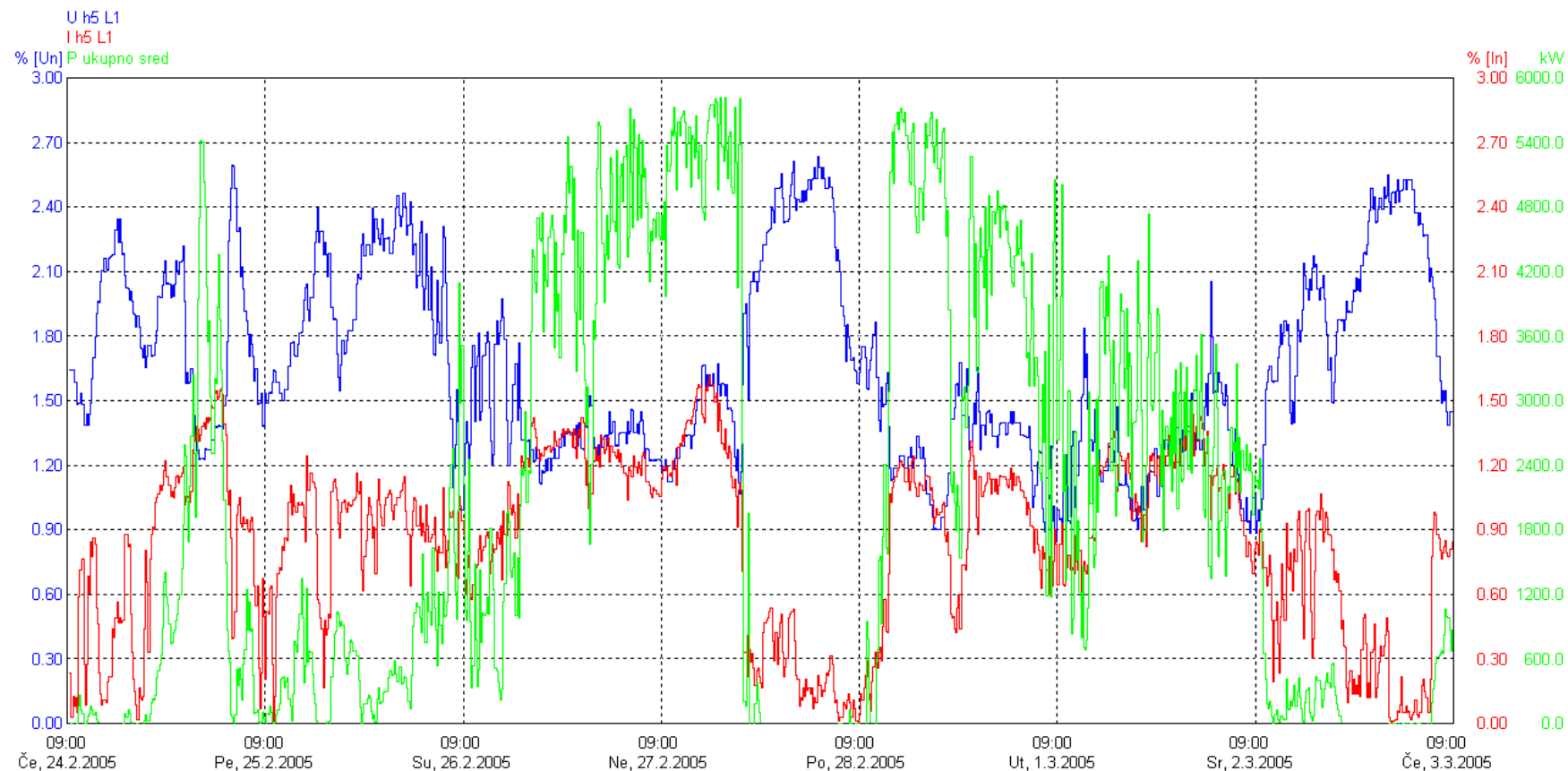
Isklop vjetroagregata pri nazivnoj brzini vjetra - M4



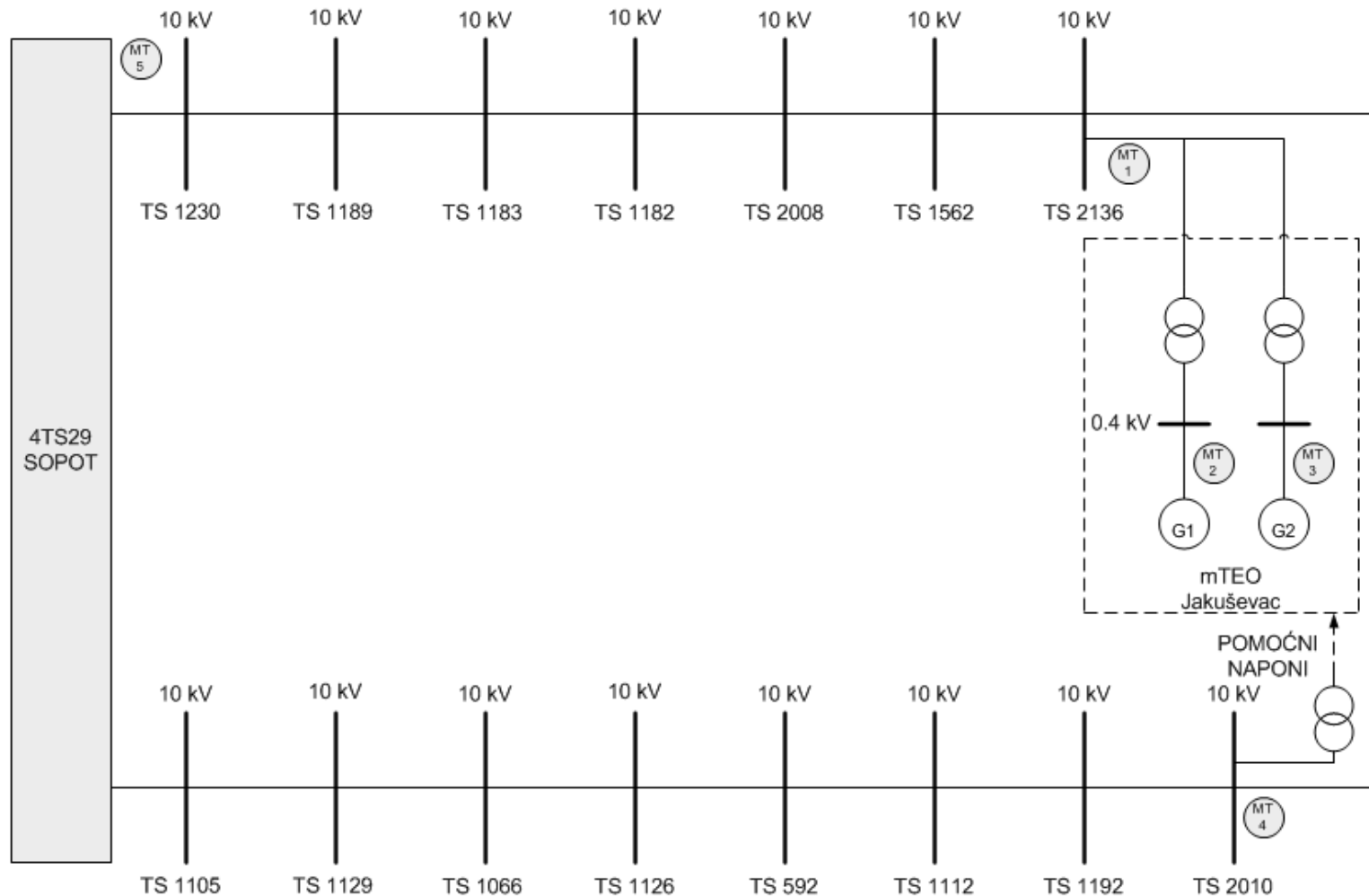
Usporedba iznosa THD napona u TS Pag - M1 i mVE Ravna1 - M3



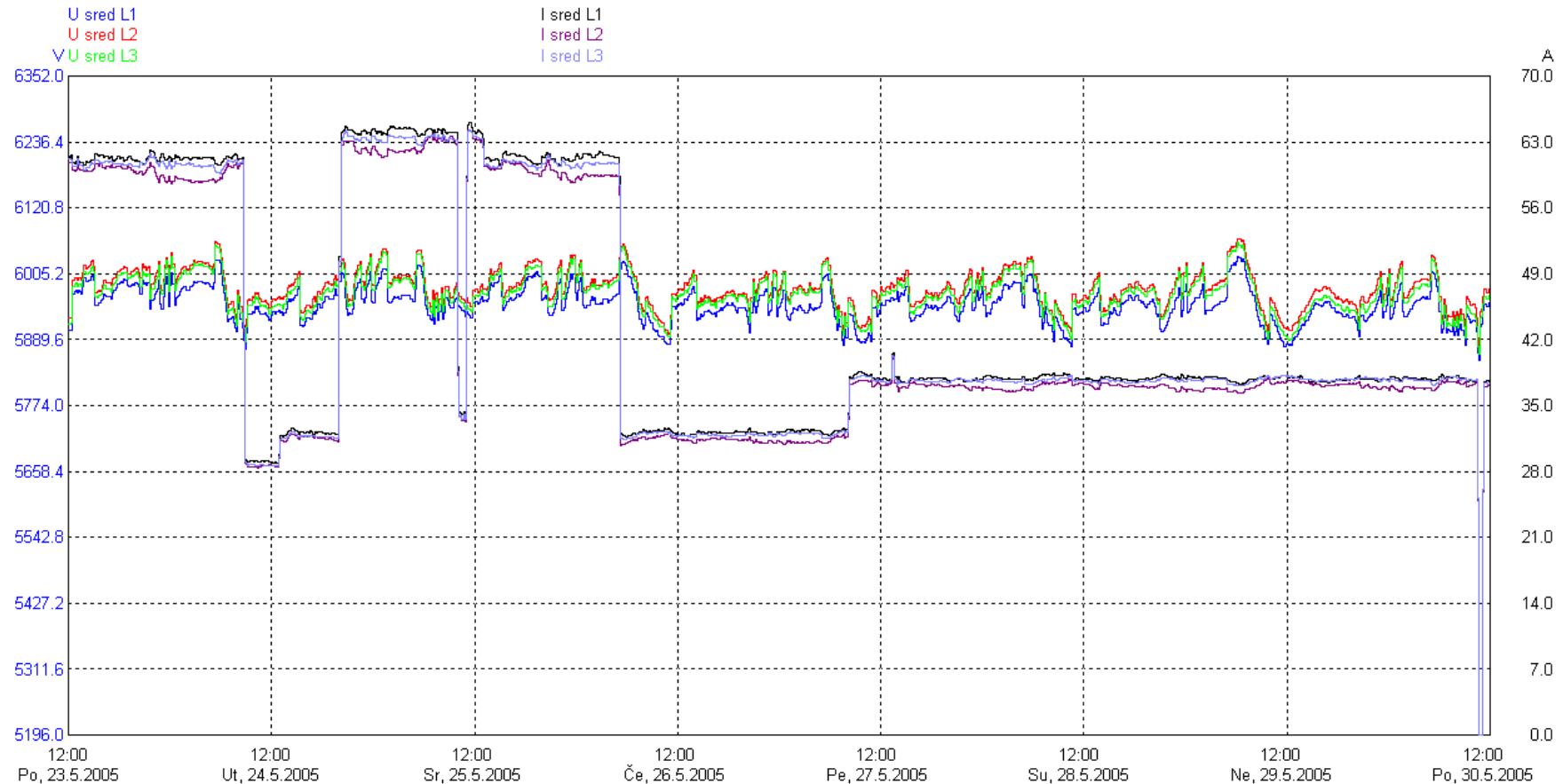
Analiza iznosa 5. harmonika napona u mVE Ravna1 - M3



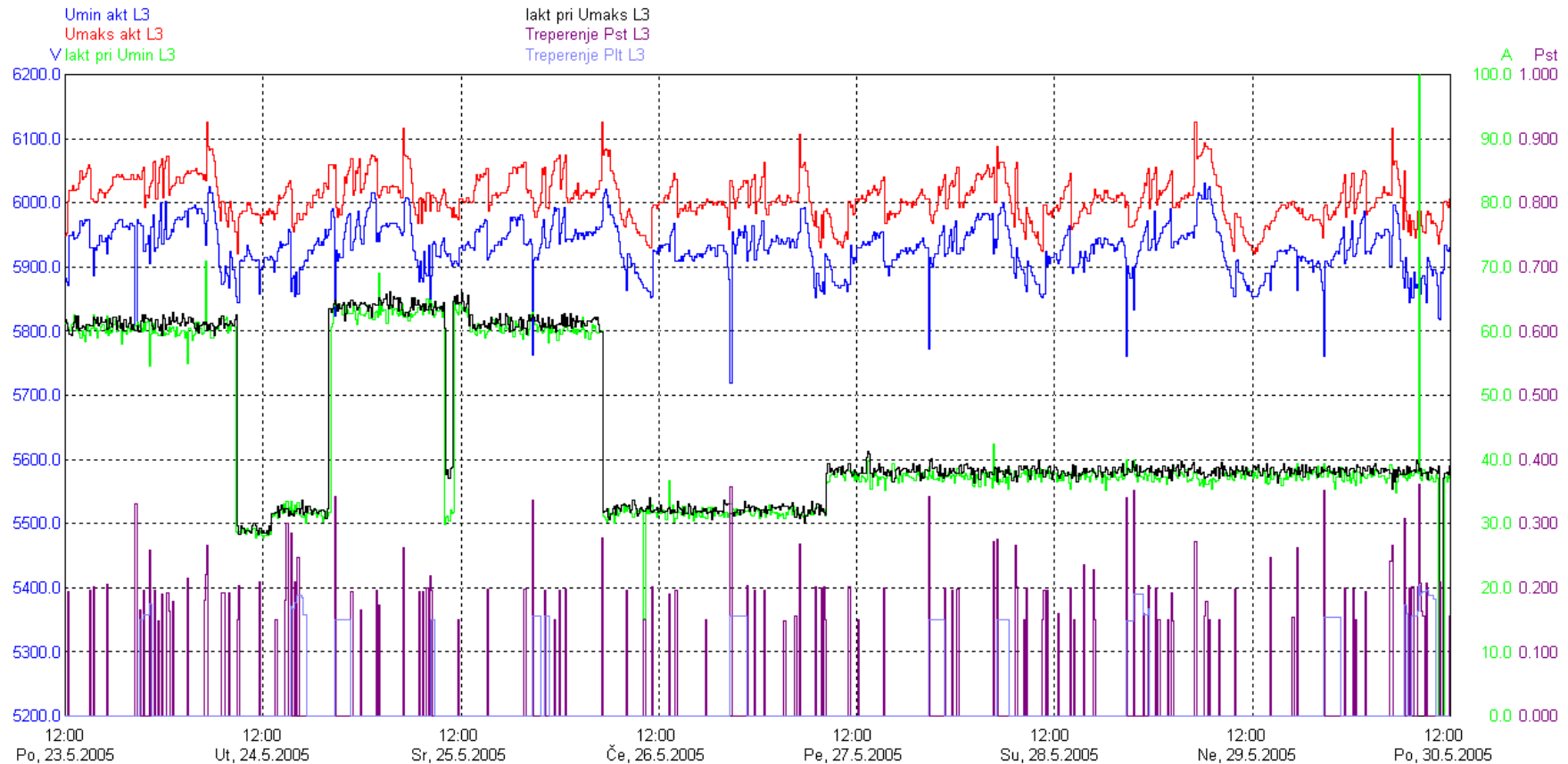
Mjerenja kvalitete napona na mTEO Jakuševac



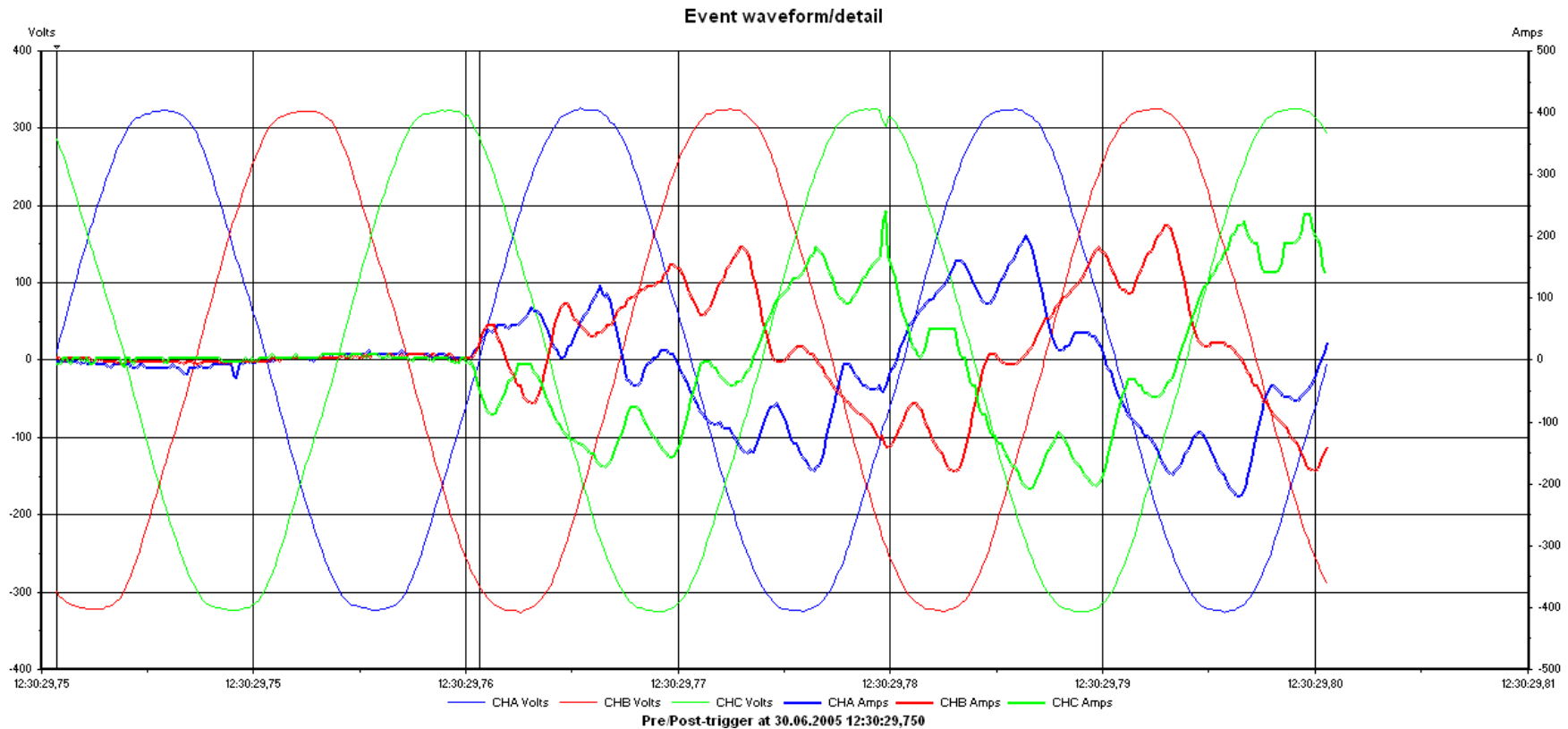
Usporedba iznosa struja i napona na mTEO Jakuševac - MT1



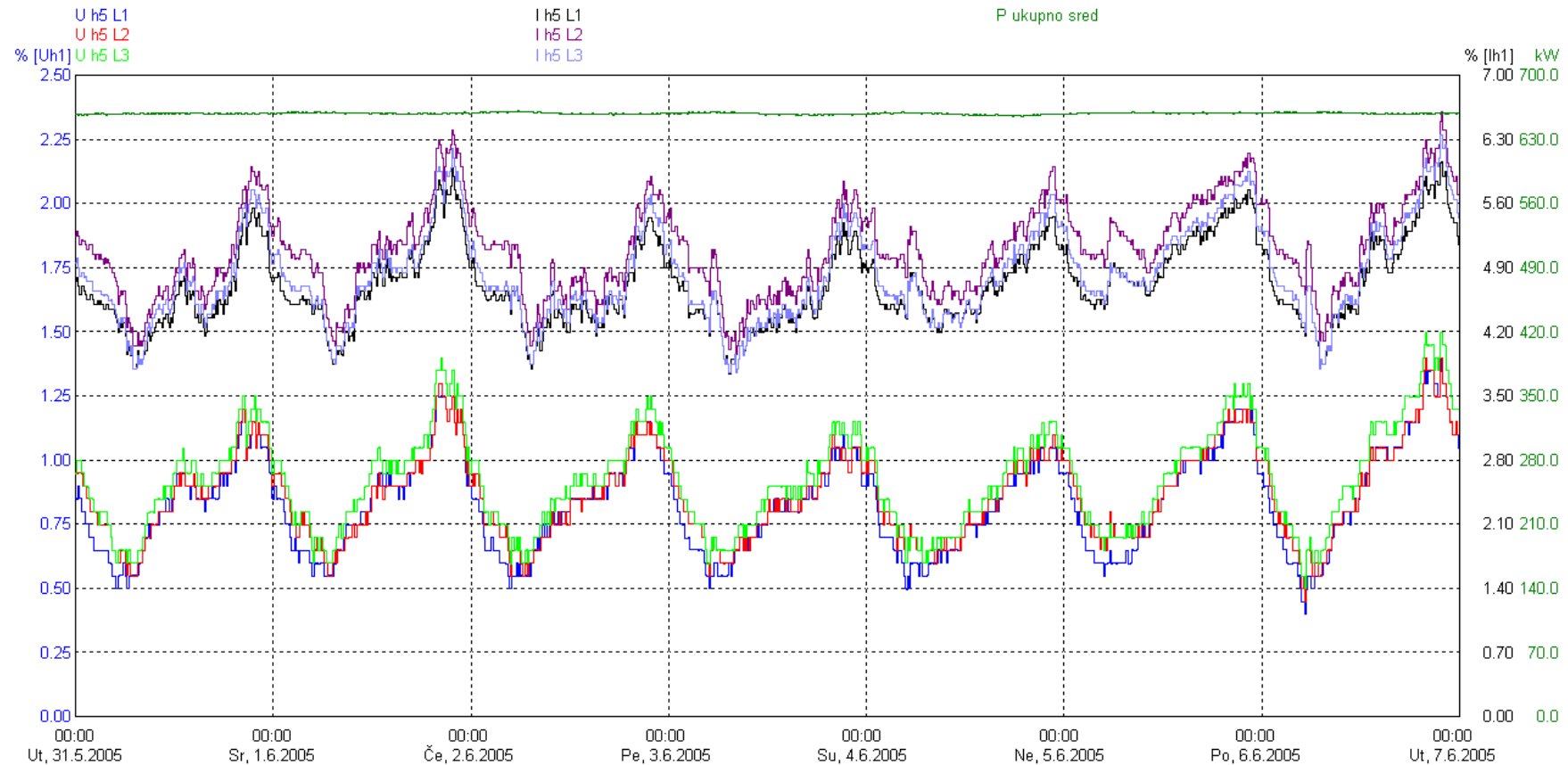
Analiza iznosa flikera na mTEO Jakuševac - MT1



Valni oblici struja i napona prilikom uklopa generatora G1 - MT2



Analiza iznosa 5. harmonika napona na generatoru G1 - M2



Mjerenja i analiza kvalitete električne energije te izrada prijedloga standarda kvalitete napona u mreži HEP-ODS-a

- 63 mjerne “vertikale“ po svim DP-ima
- mjerna “vertikala“ podrazumijeva istodobna mjerenja na 5 do 10 mjernih točaka počevši od 110 kV razine do 0.4 kV
- 413 mjernih točaka
- statistička obrada podataka za svako mjerno mjesto
- grupna statistička obrada potrebna za određivanje graničnih vrijednosti pojedinih pokazatelja kvalitete napona

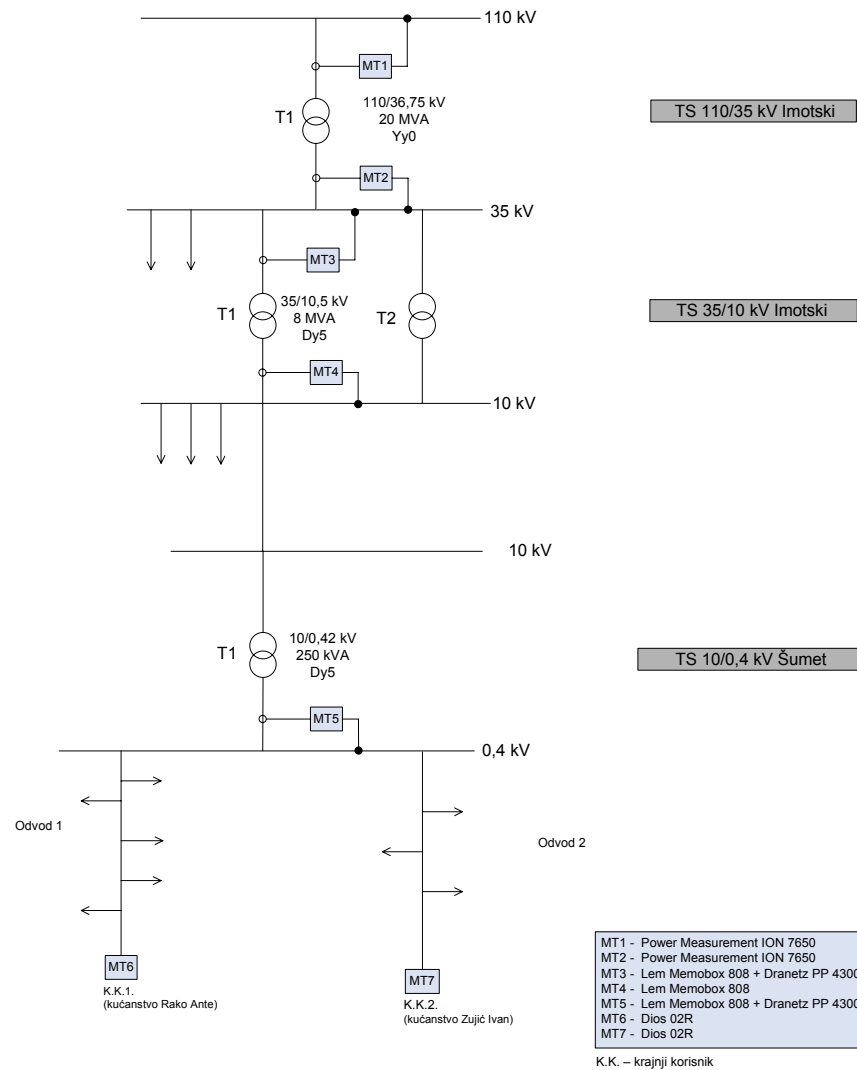
Cilj mjerenja:

- **prijedlog standardih razina KN za mrežu HEP-ODS-a**
- analiza širenja viših harmonika struje i napona kroz distribucijsku mrežu
- analiza širenja treperenja napona (fliker) kroz distribucijsku mrežu
- analiza širenja prijelaznih pojava

MJERENJA KVALITETE NAPONA, ISKUSTVA I PRIJEDLOZI NADOPUNE REGULATIVE

Mate Lasić, dipl. ing. - KONČAR - Institut za elektrotehniku d.d.

Vertikala Imotski



MJERENJA KVALITETE NAPONA, ISKUSTVA I PRIJEDLOZI NADOPUNE REGULATIVE

Mate Lasić, dipl. ing. - KONČAR - Institut za elektrotehniku d.d.

Sažeti rezultati mjerenja kvalitete napona za SN mrežu

	100% M.T.	100% M.T.	100% M.T.	95% M.T.	95% M.T.	95% M.T.	EN 50160	EN 50160
	MIN 100%	MIN 99%	MIN 95%	MIN 100%	MIN 99%	MIN 95%	MIN 100%	MIN 9x%
Iznos napona/ p.u.	0,89	0,90	0,91	0,96	0,96	0,97		0,90
Frekvencija / Hz	49,91	49,94	49,95	49,92	49,95	49,96	47,00	49,50

	100% M.T.	100% M.T.	100% M.T.	95% M.T.	95% M.T.	95% M.T.	EN 50160	EN 50160
	MAX 100%	MAX 99%	MAX 95%	MAX 100%	MAX 99%	MAX 95%	MAX 100%	MAX 9x%
Iznos napona/ p.u.	1,10	1,09	1,09	1,08	1,08	1,07		1,10
Frekvencija / Hz	50,11	50,07	50,07	50,10	50,06	50,04	52,00	50,50
ThdU / %	5,24	4,88	4,55	3,81	3,65	3,16		8,00
Pst	2,10	2,00	1,37	1,52	1,25	0,86		
Plt	2,00	2,00	1,16	1,11	1,08	0,77		1,00
Nesimetričnost / %	1,97	1,96	1,88	0,75	0,65	0,62		2,00
Uh2 / %Un	1,23	0,65	0,57	0,38	0,14	0,09		2,00
Uh3 / %Un	2,59	2,54	2,50	1,18	1,09	1,00		5,00
Uh4 / %Un	0,81	0,72	0,62	0,43	0,24	0,17		1,00
Uh5 / %Un	5,22	4,88	4,54	3,67	3,55	3,06		6,00
Uh6 / %Un	0,42	0,16	0,14	0,17	0,07	0,05		0,50
Uh7 / %Un	2,14	2,03	1,82	1,59	1,47	1,39		5,00
Uh8 / %Un	0,17	0,11	0,09	0,09	0,05	0,04		0,50

MJERENJA KVALITETE NAPONA, ISKUSTVA I PRIJEDLOZI NADOPUNE REGULATIVE

Mate Lasić, dipl. ing. - KONČAR - Institut za elektrotehniku d.d.

Uh9 / %Un	0,46	0,25	0,22	0,20	0,14	0,12		1,50
Uh10 / %Un	0,15	0,07	0,07	0,08	0,05	0,05		0,50
Uh11 / %Un	1,67	1,64	1,58	0,46	0,41	0,36		3,50
Uh12 / %Un	0,15	0,06	0,05	0,06	0,03	0,02		0,50
Uh13 / %Un	1,33	1,26	1,20	0,31	0,26	0,22		3,00
Uh14 / %Un	0,14	0,08	0,08	0,06	0,03	0,02		0,50
Uh15 / %Un	0,32	0,23	0,20	0,21	0,19	0,14		0,50
Uh16 / %Un	0,14	0,07	0,07	0,05	0,04	0,03		0,50
Uh17 / %Un	1,44	1,39	1,29	0,40	0,30	0,24		2,00
Uh18 / %Un	0,11	0,07	0,07	0,05	0,04	0,02		0,50
Uh19 / %Un	1,61	1,48	1,31	0,40	0,34	0,29		1,50
Uh20 / %Un	0,13	0,12	0,11	0,08	0,05	0,03		0,50
Uh21 / %Un	0,84	0,64	0,46	0,44	0,33	0,25		0,50
Uh22 / %Un	0,14	0,13	0,11	0,10	0,05	0,03		0,50
Uh23 / %Un	1,55	1,29	1,21	0,54	0,39	0,30		1,50
Uh24 / %Un	0,14	0,12	0,07	0,05	0,03	0,02		0,50
Uh25 / %Un	1,45	1,26	1,13	0,36	0,27	0,20		1,50
MTU / %Un	4,14	3,64	2,86	2,60	2,15	1,92		9,00

MJERENJA KVALITETE NAPONA, ISKUSTVA I PRIJEDLOZI NADOPUNE REGULATIVE

Mate Lasić, dipl. ing. - KONČAR - Institut za elektrotehniku d.d.

Sažeti rezultati mjerenja kvalitete napona za NN mrežu

	100% M.T.	100% M.T.	100% M.T.	95% M.T.	95% M.T.	95% M.T.	EN 50160	EN 50160
	MIN 100%	MIN 99%	MIN 95%	MIN 100%	MIN 99%	MIN 95%	MIN 100%	MIN 9x%
Iznos napona/ p.u.	0,92	0,94	0,95	0,93	0,94	0,96	0,85	0,90
Frekvencija / Hz	49,91	49,94	49,96	49,92	49,94	49,96	47,00	49,50

	100% M.T.	100% M.T.	100% M.T.	95% M.T.	95% M.T.	95% M.T.	EN 50160	EN 50160
	MAX 100%	MAX 99%	MAX 95%	MAX 100%	MAX 99%	MAX 95%	MAX 100%	MAX 9x%
Iznos napona/ p.u.	1,11	1,10	1,10	1,08	1,07	1,07	1,10	1,10
Frekvencija / Hz	50,10	50,06	50,04	50,09	50,06	50,04	52,00	50,50
ThdU / %	5,32	4,87	4,47	4,68	4,34	4,13		8,00
Pst	2,91	1,47	1,38	1,62	1,12	0,87		
Plt	1,29	1,27	1,16	1,23	1,05	0,77		1,00
Nesimetričnost / %	1,34	1,13	0,95	0,99	0,81	0,73		2,00
Uh2 / %Un	0,85	0,28	0,25	0,23	0,10	0,08		2,00
Uh3 / %Un	1,94	1,72	1,55	1,09	1,04	0,96		5,00
Uh4 / %Un	0,77	0,69	0,60	0,26	0,16	0,13		1,00
Uh5 / %Un	5,25	4,87	4,49	4,40	4,14	3,95		6,00
Uh6 / %Un	0,35	0,20	0,12	0,13	0,07	0,05		0,50
Uh7 / %Un	3,34	3,17	2,99	2,17	2,05	1,83		5,00
Uh8 / %Un	0,14	0,11	0,07	0,10	0,06	0,05		0,50

MJERENJA KVALITETE NAPONA, ISKUSTVA I PRIJEDLOZI NADOPUNE REGULATIVE

Mate Lasić, dipl. ing. - KONČAR - Institut za elektrotehniku d.d.

Uh9 / %Un	0,62	0,60	0,51	0,50	0,46	0,44		1,50
Uh10 / %Un	0,11	0,06	0,05	0,08	0,04	0,03		0,50
Uh11 / %Un	2,10	1,99	1,89	1,01	0,89	0,73		3,50
Uh12 / %Un	0,09	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03		0,50
Uh13 / %Un	2,11	1,99	1,84	0,79	0,73	0,67		3,00
Uh14 / %Un	0,10	0,10	0,05	0,05	0,04	0,03		0,50
Uh15 / %Un	0,35	0,32	0,29	0,21	0,20	0,16		0,50
Uh16 / %Un	0,07	0,06	0,06	0,04	0,04	0,04		0,50
Uh17 / %Un	1,47	1,36	1,21	0,34	0,29	0,24		2,00
Uh18 / %Un	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03		0,50
Uh19 / %Un	1,82	1,72	1,57	0,28	0,25	0,18		1,50
Uh20 / %Un	0,10	0,10	0,10	0,04	0,03	0,03		0,50
Uh21 / %Un	0,42	0,31	0,25	0,21	0,15	0,10		0,50
Uh22 / %Un	0,16	0,10	0,10	0,04	0,04	0,03		0,50
Uh23 / %Un	1,36	1,25	1,13	0,25	0,18	0,16		1,50
Uh24 / %Un	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02		0,50
Uh25 / %Un	1,42	1,35	1,20	0,19	0,14	0,13		
MTU / %Un	3,77	1,94	1,42	2,06	1,63	1,15		9,00

MJERENJA KVALITETE NAPONA, ISKUSTVA I PRIJEDLOZI NADOPUNE REGULATIVE

Mate Lasić, dipl. ing. - KONČAR - Institut za elektrotehniku d.d.

	100% M.T.	100% M.T.	100% M.T.	95% M.T.	95% M.T.	95% M.T.	EN 50160	EN 50160
	MIN 100%	MIN 99%	MIN 95%	MIN 100%	MIN 99%	MIN 95%	MIN 100%	MIN 95%
Iznos napona/ p.u.	0,75	0,76	0,79	0,82	0,84	0,88	0,85	0,90

	100% M.T.	100% M.T.	100% M.T.	95% M.T.	95% M.T.	95% M.T.	EN 50160	EN 50160
	MAX 100%	MAX 99%	MAX 95%	MAX 100%	MAX 99%	MAX 95%	MAX 100%	MAX 95%
Iznos napona/ p.u.	1,11	1,10	1,09	1,08	1,07	1,06	1,10	1,10



MJERENJA KVALITETE NAPONA, ISKUSTVA I PRIJEDLOZI NADOPUNE REGULATIVE

Mate Lasić, dipl. ing. - KONČAR - Institut za elektrotehniku d.d.

Prijedlog standardnih razina KN za SN mrežu

		Prijedlog standardnih razina		EN 50160	
		95/99/99,5 %	100%	95/99/99,5 %	100%
Iznos napona/ p.u.	MAX	1,10		1,10	
	MIN	0,90		0,90	
Frekvencija / Hz	MAX	50,50	52,00	50,50	52,00
	MIN	49,50	47,00	49,50	47,00
ThdU / %	MAX	8,00		8,00	
Plt	MAX	1,00		1,00	
Nesimetričnost / %	MAX	2,00		2,00 / 3,00 *	
Uh2 / %Un	MAX	2,00		2,00	
Uh3 / %Un	MAX	5,00		5,00	
Uh4 / %Un	MAX	1,00		1,00	
Uh5 / %Un	MAX	6,00		6,00	
Uh6 / %Un	MAX	0,50		0,50	
Uh7 / %Un	MAX	5,00		5,00	
Uh8 / %Un	MAX	0,50		0,50	
Uh9 / %Un	MAX	1,50		1,50	

MJERENJA KVALITETE NAPONA, ISKUSTVA I PRIJEDLOZI NADOPUNE REGULATIVE

Mate Lasić, dipl. ing. - KONČAR - Institut za elektrotehniku d.d.

Uh10 / %Un	MAX	0,50		0,50	
Uh11 / %Un	MAX	3,50		3,50	
Uh12 / %Un	MAX	0,50		0,50	
Uh13 / %Un	MAX	3,00		3,00	
Uh14 / %Un	MAX	0,50		0,50	
Uh15 / %Un	MAX	0,50		0,50	
Uh16 / %Un	MAX	0,50		0,50	
Uh17 / %Un	MAX	2,00		2,00	
Uh18 / %Un	MAX	0,50		0,50	
Uh19 / %Un	MAX	1,50		1,50	
Uh20 / %Un	MAX	0,50		0,50	
Uh21 / %Un	MAX	0,50		0,50	
Uh22 / %Un	MAX	0,50		0,50	
Uh23 / %Un	MAX	1,50		1,50	
Uh24 / %Un	MAX	0,50		0,50	
Uh25 / %Un	MAX	1,50		1,50	
MTU / %Un	MAX	9,00		9,00	



MJERENJA KVALITETE NAPONA, ISKUSTVA I PRIJEDLOZI NADOPUNE REGULATIVE

Mate Lasić, dipl. ing. - KONČAR - Institut za elektrotehniku d.d.

Prijedlog standardnih razina KN za NN mrežu

		Prijedlog standardnih razina		EN 50160	
		95/99/99,5 %	100%	95/99/99,5 %	100%
Iznos napona/ p.u.	MAX	1,10 / 1,10*	1,10 / 1,10*	1,10	1,10**
	MIN	0,90 / 0,85 *	0,85 / 0,80 *	0,90	0,85**
Frekvencija / Hz	MAX	50,50	52,00	50,50	52,00
	MIN	49,50	47,00	49,50	47,00
ThdU / %	MAX	8,00		8,00	
Plt	MAX	1,00		1,00	
Nesimetričnost / %	MAX	3,00		2,00 / 3,00 ***	
Uh2 / %Un	MAX	2,00		2,00	
Uh3 / %Un	MAX	5,00		5,00	
Uh4 / %Un	MAX	1,00		1,00	
Uh5 / %Un	MAX	6,00		6,00	
Uh6 / %Un	MAX	0,50		0,50	
Uh7 / %Un	MAX	5,00		5,00	
Uh8 / %Un	MAX	0,50		0,50	
Uh9 / %Un	MAX	1,50		1,50	

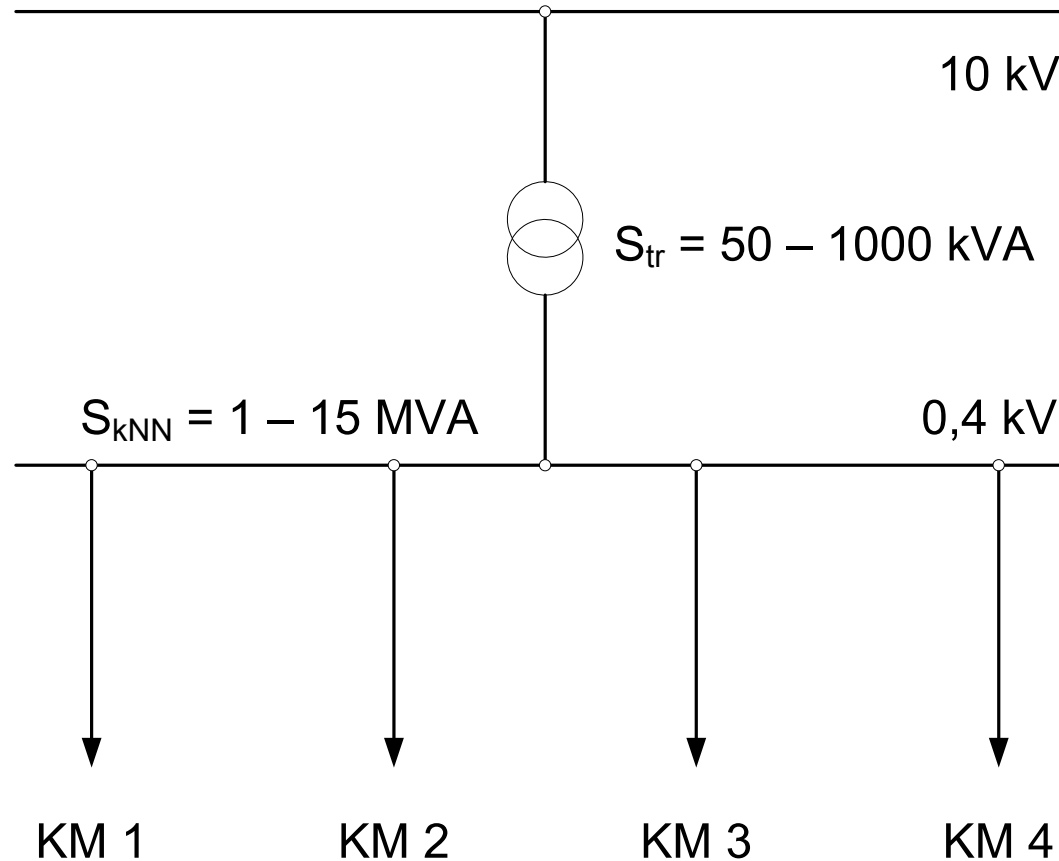
MJERENJA KVALITETE NAPONA, ISKUSTVA I PRIJEDLOZI NADOPUNE REGULATIVE

Mate Lasić, dipl. ing. - KONČAR - Institut za elektrotehniku d.d.

Uh10 / %Un	MAX	0,50		0,50	
Uh11 / %Un	MAX	3,50		3,50	
Uh12 / %Un	MAX	0,50		0,50	
Uh13 / %Un	MAX	3,00		3,00	
Uh14 / %Un	MAX	0,50		0,50	
Uh15 / %Un	MAX	0,50		0,50	
Uh16 / %Un	MAX	0,50		0,50	
Uh17 / %Un	MAX	2,00		2,00	
Uh18 / %Un	MAX	0,50		0,50	
Uh19 / %Un	MAX	1,50		1,50	
Uh20 / %Un	MAX	0,50		0,50	
Uh21 / %Un	MAX	0,50		0,50	
Uh22 / %Un	MAX	0,50		0,50	
Uh23 / %Un	MAX	1,50		1,50	
Uh24 / %Un	MAX	0,50		0,50	
Uh25 / %Un	MAX	1,50			
MTU / %Un	MAX	9,00		9,00	

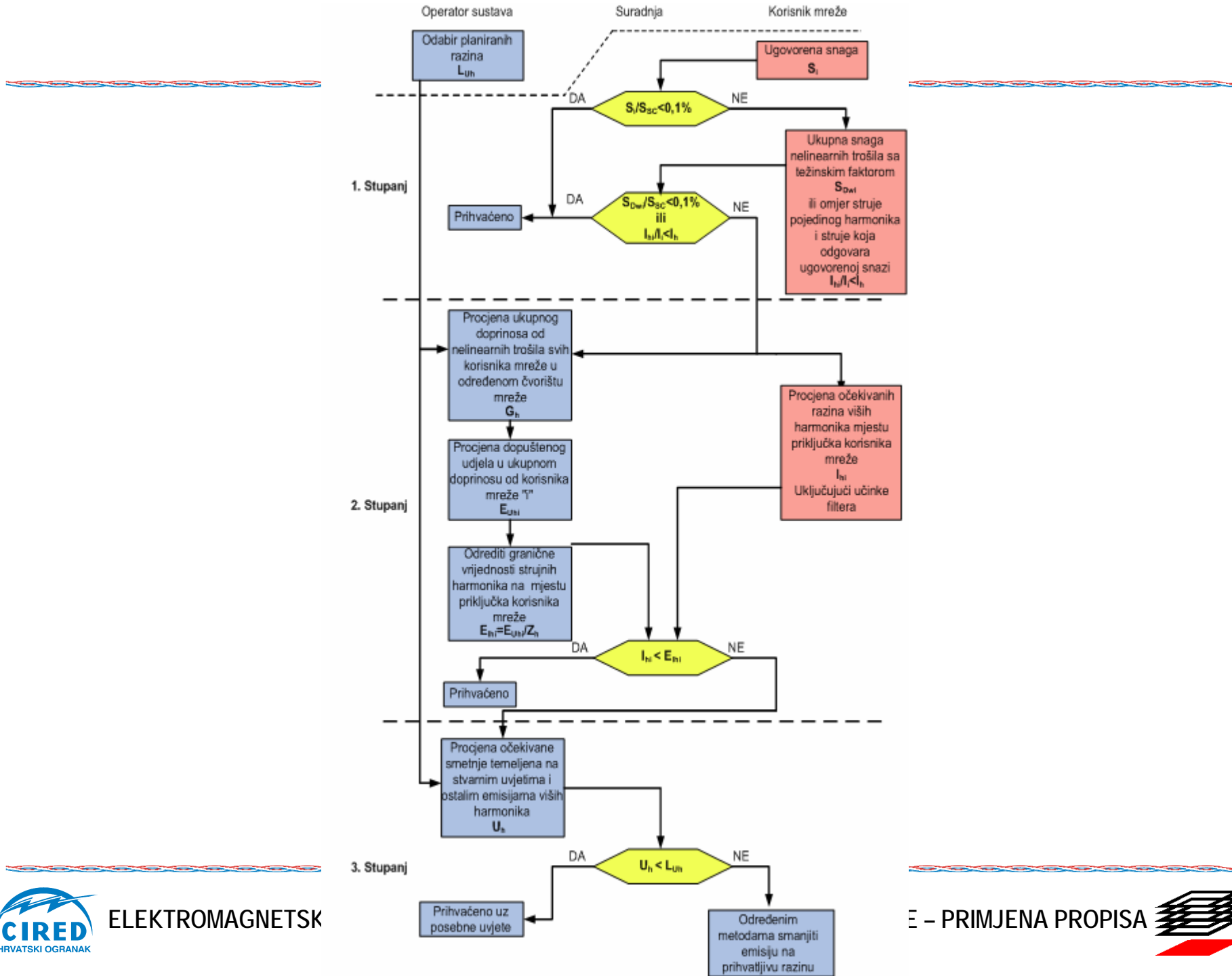


Mrežna pravila - sadašnje stanje

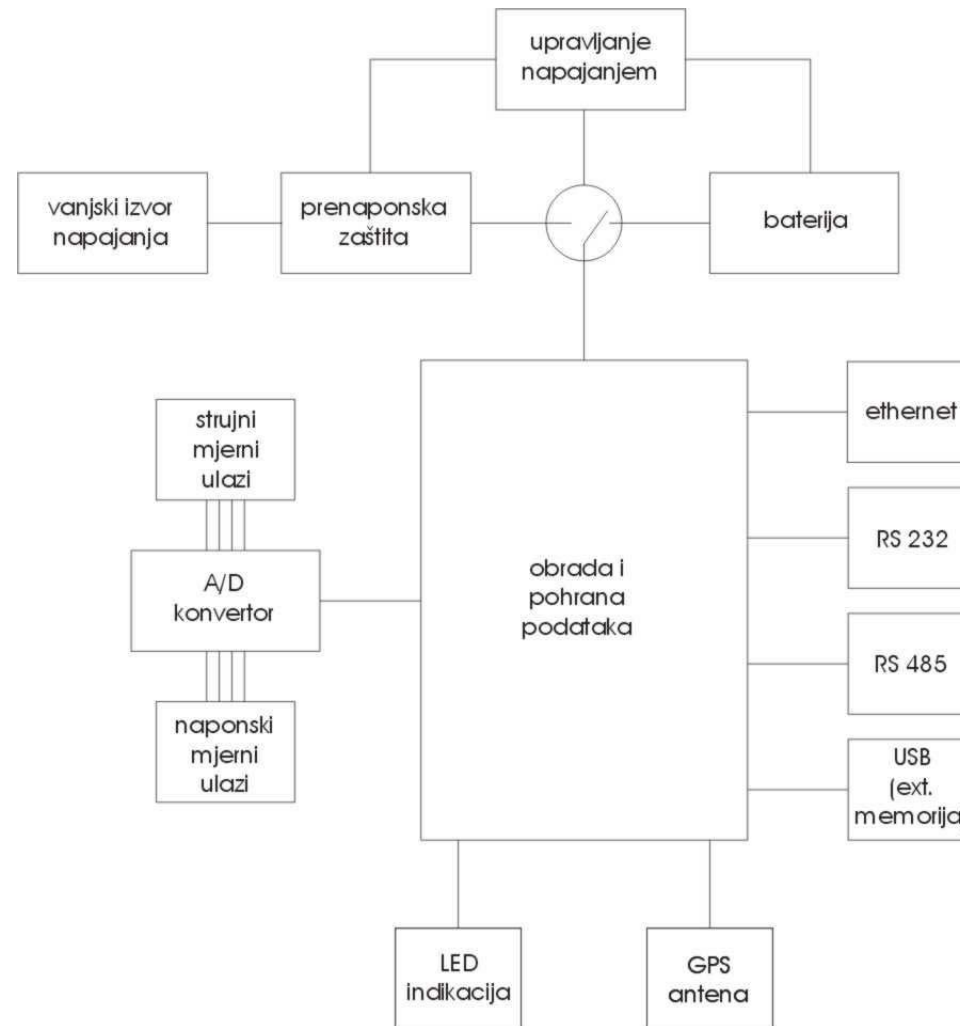


Prijedlog smjernica za dopunu mrežnih pravila

- ograničiti razine smetnji u sustavu za opskrbu električnom energijom na **razinu kompatibilnosti**
- operator sustava treba donositi procjenu utjecaja postrojenja korisnika mreže na kvalitetu napona na osnovu:
 - **Zakupljene snage postrojenja**
 - **Ukupne snage svih tereta u čvorištu**
 - **Karakteristika mreže i tereta**
- procjenu emisije smetnji treba izraditi za najgori mogući slučaj pogonskog stanja



Principijelna blok shema mjernog uređaja za mjerenje KN



Usporedba tehničkih zahtjeva za mjernu opremu

Parametar	IEC 61000-4-30		EN 50160	IEC 61000-3-6	IEC 61000-3-7
	A klasa	B klasa			
Frekvencija napona	10 s	specificira proizvođač	10 s	-	-
Iznos napona napajanja	3 s, 10 min i 2 h	specificira proizvođač	10 min	-	-
Treperenje napona P_{st}	10 min	specificira proizvođač	10 min	-	10 min
Treperenje napona P_{lt}	2 h	specificira proizvođač	2 h	-	2 h
Nesimetričnost napona	3 s, 10 min i 2 h	specificira proizvođač	10 min	-	-
Naponski harmonici	3 s, 10 min i 2 h	specificira proizvođač	10 min	3 s i 10 min	-
Strujni harmonici	-	-	-	3 s i 10 min	-

Pitanja i diskusija