



ISPITIVANJE KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE PO ŽALBAMA POTROŠAČA -
STUDIJA SLUČAJA IZ PREDGRADA SUBOTICE

ELECTRIC POWER QUALITY TESTING UPON CONSUMER COMPLAINTS - A CASE
STUDY FROM THE SUBURBS OF SUBOTICA

Željka Zolotić, Vladimir Katić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO

Kratak sadržaj – Tema ovog istraživačkog rada bavi se merenjem i analizom kvaliteta električne energije u domaćinstvima na području predgrada Subotice.

Ključne reči: Analiza kvaliteta napona, kvalitet električne energije, nesimetrija napona

Abstract – The topic of this research paper deals with measuring and analyzing quality of electricity in households in the suburbs of Subotica.

Keywords: Voltage quality analysis, quality of electricity, voltage unbalance

1. UVOD

Kvalitet isporučene električne energije, sa aspekta elektrodistribucije, podrazumeva kvalitet isporučenog napona, odnosno kvalitet napona na sabirnici na koju se priključuju potrošači – mesto zajedničkog priključenja (*Point of Common Coupling* – PCC). To znači da se osnovne karakteristike napona, kao što su efektivna vrednost, frekvencija, simetričnost i talasni oblik (sinusoidalnost) drže u zadanim okvirima tolerancije oko nominalnih vrednosti pri ustaljenom stanju elektroenergetskog sistema [1]. Ove vrednosti i granice tolerancije definisane su odgovarajućim nacionalnim ili međunarodnim standardima, u ovom slučaju srpskim standardom SRPS EN 50160 [2].

Na karakteristike napona značajan uticaj imaju sami potrošači, naročito grupa nelinearnih potrošača (elektronski potrošači, kao što su TV, računari i računarska oprema, audio uređaji i sl.), zatim velike varijacije opterećenja na perifernim delovima, komutacije, atmosferski prenaponi, kvarovi u sistemu, rad sistema na granicama mogućnosti (naponske redukcije, “slaba” mreža i sl.), te drugi faktori [1].

Problem kvaliteta električne energije u Srbiji je stalno aktuelan. Veoma pomno se prate i koriguju varijacije osnovnih parametara, koje su ipak neki put veće od dozvoljenih. Odgovarajuće studije i snimanja stanja traju već više od 25 godina, s tim da se poklanja dosta pažnje kvalitetu napona, odnosno pojavi viših harmonika i propada napona [3, 4]. Mogu se definisati dve grupe činilaca, koje određuju kvalitet korišćenog napona: osnovni parametri i deformacije talasnih oblika:

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Vladimir Katić, red. prof.

- varijacija efektivne vrednosti napona, frekvencije i pojava nesimetrije u mreži, i
- deformacije tranzijentne prirode, deformacije zbog prelaznih režima i deformacije u ustaljenom stanju. U slučaju odstupanja od propisanih vrednosti javljaju se negativni efekti kod potrošača, odnosno nepravilnosti u radu njegovih električnih uređaja. Ove nepravilnosti uočavaju se na bazi prijave samih potrošača ili tokom redovnih merenja u elektrodistributivnoj mreži.

Cilj ovog rada je da razmotri stanje kvaliteta napona na bazi žalbe potrošača lociranog u predgrađu Subotice.

2. POJMOVI I DEFINICIJE PARAMETARA KVALITETA

Kvalitet isporučene električne energije se definiše nizom parametara. Oni su podeljeni u osnovne parametre i deformacije talasnih oblika, koje se mogu javiti tokom tranzijentnih pojava, u prelaznim režimima ili u ustaljenom stanju [1]. U ovom poglavlju oni će biti ukratko detaljnije opisane.

2.1. Osnovni parametri napona

U osnovne parametre napona, odnosno prvu grupu činilaca kvaliteta spadaju:

- varijacija efektivne vrednosti napona,
- varijacija frekvencije i
- pojava nesimetrije u mreži.

Ovi parametri definišu pravilan rad sistema i njihova odstupanja su definisana standardima. Kvalitet je ugrožen, ako varijacije premaše dozvoljene limite [1].

2.2. Deformacije talasnog oblika napona

Druga grupa činilaca kvaliteta podrazumeva parametre, koji utiču na sinusoidalni oblik napona na sabirnicama i varijacije njegove efektivne vrednosti, kao i na talasni oblik struje, koju potrošači konzumiraju. Oni se mogu podeliti na tri podgrupe na osnovu dužine perioda nastajanja, odnosno trajanja:

- deformacije tokom tranzijenata,
- deformacije u prelaznim stanjima sistema (kratkog i dugog trajanja) i
- deformacije u ustaljenom stanju sistema.

Ova grupa činilaca direktno definiše kvalitet isporučene električne energije, odnosno kvalitet napajanja. Njoj se poslednjih godina poklanja sve veća pažnja, jer je uočen niz negativnih efekata, pre svega kod modernih računara i računarske opreme, sofisticiranih mikro-elektronskih uređaja, ali i standardne električne opreme, te drugih tkzv. osetljivih potrošača. Naročito predstavljaju problem

kratkotrajne varijacije napona (propadi i poskoci napona), zatim viši harmonici, fliker i slične deformacije [1].

2.3. Tranzijenti

Tranzijent označava pojavu ili veličinu koja se menja između dva uzastopna ustaljena stanja tokom vremenskog intervala, koji je kratak u poređenju sa razmatranim vremenskim opsegom. Tranzijent može biti jednosmerni impuls bilo kog polariteta ili prigušen oscilatorni talas sa prvim maksimumom ma kog polariteta. Tako se tranzijenti mogu podeliti u dve kategorije, impulsne i oscilatorne. Ovi termini odražavaju talasni oblik tranzijenta struje ili napona [1].

2.4. Prelazni režimi rada

U prelazne režime spadaju propadi, premašenja, beznaponske pauze, podnaponi, prenaponi i beznaponske pauze duže od 1 minuta. Prelazni režimi sistema se mogu, shodno trajanju, podeliti na tri kategorije:

- trenutni (0,5-30perioda),
- prolazni (30perioda-3s),
- privremeni (3s-1min).

Imajući u vidu ovu podelu, propadi, premašenja i beznaponske pauze takođe mogu biti trenutni, prolazni ili privremeni, a u skladu sa svojom dužinom trajanja [1].

2.5. Ustaljeno stanje sistema

Deformacije u ustaljenom stanju obuhvataju DC offset (jednosmernu komponentu), više harmonike, interharmonike, ureze (rupe), fluktuaciju napona i šum [1].

3. STANDARDI I PREPORUKE (SRPS EN 50160)

Standard SRPS EN 50160 daje definicije i opisuje bitne osobine distributivnog napona na mestu predaje potrošaču u javnim niskonaponskim (NN) i srednjenaponskim (SN) mrežama pri normalnim pogonskim uslovima. Cilj standarda je da se utvrde karakteristike distributivnog napona s obzirom na frekvenciju, veličinu, talasni oblik i simetriju trofaznog napona [2].

Pri normalnim radnim uslovima, izuzimajući situacije koje nastaju usled kvara ili prekida u napajanju, tokom svakog perioda jedne nedelje 95% desetominutnih srednjih efektivnih vrednosti napona napajanja moraju biti u opsegu od $U_n \pm 10\%$, odnosno 100% desetominutnih srednjih efektivnih vrednosti napona napajanja moraju biti u opsegu $U_n +10\% / -15\%$.

4. UTICAJ POTROŠAČA U DOMAĆINSTVU NA KVALITET ELEKTRIČNE ENERGIJE

U domaćinstvima, kao jednoj od najrasprostranjenijih kategorija potrošača u elektrodistributivnoj mreži, električni uređaji se mogu podeliti u 3 grupe:

- Rezistivni (R-tip), kod kojih dominira otporna karakteristika (grejalice, štednjaci, električni bojleri, sijalice sa užarenim vlaknom i sl.)
- Rezistivno-induktivni (RL-tip), koji se karakterišu radom električnih motora ili drugih uređaja sa otporno-induktivnom karakteristikom (mašine za pranje veša i sudova, frižideri i klima uređaji, fluo rasveta i sl.)
- Kapacitivni ili nelinearni (C-tip), kod kojih dominira uticaj kapacitivnosti, ali i njihova nelinearna

karakteristika (elektronski uređaji sa diodnim ispravljačem naponskog tipa)

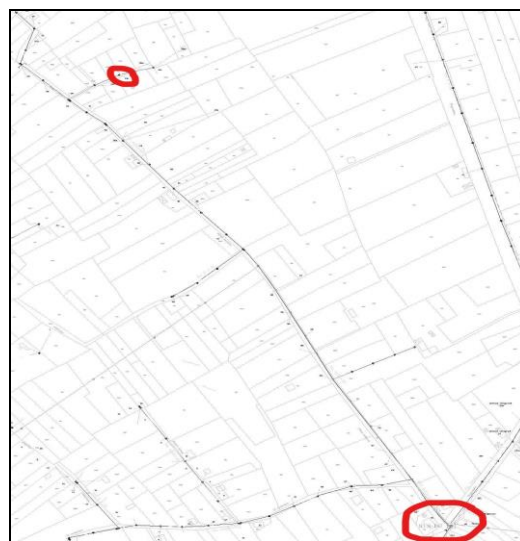
Prva grupa potrošača se karakteriše intenzivnim strujama i kao takva izaziva najznačajnije padove napona na radikalnoj mreži, posebno na dugim vodovima. To je naročito izraženo na perifernim delovima distributivne mreže, u slučajevima „slabe mreže“, kao i u ruralnim mrežama. Rezultat je nizak nivo (efektivna vrednost) napona na potrošačima usled kojeg oni ne rade pravilno, preopterećuju se ili dolazi do prekida u radu.

Na kvalitet mrežnog napona najznačajniji uticaj imaju druga i treća vrsta. Kod RL potrošača, nelinearna karakteristika jezgra (gvožđa) električne mašine ili prigušnice fluo-rasvete izazivaju deformacije struje. Sličan efekat ima i rad diodnog naponskog ispravljača sa C filterom u trećoj grupi potrošača. Njihova upotreba je posebno raširena kod elektronskih, mikroelektronskih i računarskih uređaja i druge opreme malih snaga ($I_n < 16A$). Pomenuti nelinearni potrošači (računari, štampači, fluorescentne svetiljke, TV, video i audio uređaji) su izvori viših harmonika, ali istovremeno i uređaji na koje izobličjenja u talasnom obliku napona napajanja mogu imati izrazito negativan uticaj [5].

5. ELEKTRO MREŽA U PREDGRADU SUBOTICE

Elektrodistributivna mreža ED Subotice pokriva potrošače i gradskoj zoni Subotice, ali i u predgrađu i okolnim selima. Ima 687 trafo stanica 20/0,4kV, 290 km nadzemnih vodova i kablova na 20 kV naponskom nivou, kao i 296 km na 0.4 kV naponskom nivou. Karakterišu je dobra stabilnost i sigurno napajanje potrošača, kao i kvalitetno održavanje.

Za potrošače u predgrađu, elektrodistributivna mreža je uglavnom radikalne, zvezdaste konfiguracije. Primer mreže u predgrađu Subotice, odnosno naselju Makova sedmica dat je na slici 1. Vidi se da od glavne transformatorske stanice (TS) TS 187 (zaokružena u dnu slike) vodovi idu zvezdasto sa dugim trasama.



Sl.1. Distributivna mreža u naselju Makova sedmica

6. POSTUPAK MERENJA I MERNO MESTO

Potrošači u naselju Makova sedmica u predgrađu Subotice uputili su žalbu ED Subotice na slab kvalitet

napona, odnosno na njegove niske efektivne vrednosti. Na osnovu toga pokrenut je postupak merenja kvaliteta električne energije. Cilj je bio proveriti stanje naponskih prilika kod udaljenih potrošača, otkrivanje uzroka i posledica lošeg kvaliteta električne energije, i predlaganje mera za rešenje problema i unapređenje snabdevanja.

6.1. Kratak opis mernih mesta

Na slici 2 pokazane su lokacije dva domaćinstva, kod kojih je meren kvalitet električne energije, kao i pozicija TS 187. Potrošači su u ulicama Jelene Četković 41b i Isidore Sekulić 36. Obe lokacije se napajaju iz iste TS 187, samo iz različitih NN izvoda, ali obe imaju probleme sa kvalitetom napajanja i startovanjem kućnih aparata. Crvenom bojom su označene obe lokacije i sama TS, pa se može uočiti da se konkretno obe lokacije nalaze prilično udaljeno od TS, što može da bude jedan od razloga zbog kojeg je narušen kvalitet napona. Zbog ograničenog prostora, ovde će biti prikazani samo rezultati provere kod potrošača u ulici Jelene Četković 41b.



Sl. 2. Pozicija TS 187 i lokacija mernih mesta 1 i 2

6.2. Lokacija mernog mesta 1

Potrošač u ulici Jelene Četković br.41b, koji se žalio na kvalitet napona, napaja se iz TS 187, čiji naponski odnos je 20/0,4 kV, sa NN izvoda „Jelena Četković“. Na tom izvodu nalazi se 34 potrošača, od kojih 16 potrošača ima trofazni priključak, među kojima i potrošač sa broja 36. Preostalih 18 potrošača ima samo monofazni priključak.

Pošto se očekuje da je uzrok problema nedozvoljeni pad napona prvi korak je da se razmotre preseki i tip provodnika duž NN voda, broj potrošača i mesta priključenja istih. Takođe, potrebno je izmeriti rastojanje od TS do svakog potrošača. Sa ovim ulaznim podacima može se izvršiti proračun tokova snaga i naponskih prilika.

Na slici 3 prikazan je tip provodnika i debljina kabla, kao i tačna dužina trase do samog mernog mesta. Potrebno je naglasiti da je za priključak od stuba NN linije (ABS 9m) do krovnog nosača na kući korišćen kabl tipa Al/Če 4x16 mm².

Za merenje je korišćen profesionalni merni uređaj „Analizator kvaliteta električne energije“ oznake CA 8435, čiji širi opis je dat u sledećem poglavlju. Za mesto priključenja uređaja izabrana je garaža objekta, jer je u njoj izvedena trofazna utičnica. Merenje struje za

konkretno ovaj slučaj nije bilo potrebno, pa shodno tome nisu povezivana strujna klešta. Napajanje mernog uređaja izvršeno je sa posebnog priključka u garaži.



Sl. 3. - Konfiguracija NN mreže za proračun naponskih prilika

6.3. Zadatak merenja

Potrošač se žalio na slab napon i nemogućnost funkcionisanja osnovnih uređaja, kao što su frižider, veš mašina, računar, tako da zadato da se izvrši merenje naponskih prilika. Pored efektivne vrednosti napona, merenje je obuhvatilo fliker i ukupno harmonijsko izobličenje.

7. MERNI UREĐAJI I RUKOVANJE

Merni uređaj CA 8435 je profesionalni trofazni analizator kvaliteta električne energije, koji je kompaktni, otporan na udarce i pogodan za merenja na terenu [6]. Koristi se prilikom merenja kvaliteta električne energije na zahtev potrošača, ako se oni žale na kvalitet energije ili ukoliko se uočavaju neke smetnje ili dešavaju kvarovi. Ergonomski dizajn ovih uređaja i jednostavnost njihovog korisničkog interfejsa, čine njihovu upotrebu prijatnom i intuitivnom. Oni ne samo da omogućavaju korisniku da dobije trenutnu sliku o osnovnim karakteristikama mreže, već i da prate njihove varijacije tokom određenog vremenskog perioda (merenje traje bar 7 dana).

7.1. Rukovanje sa CA 8435

Pre priključenja sondi i kablova na merne tačke, merni uređaj mora biti ispravno podešen. Mod za podešavanje uređaja se bira tipkom „KONFIGURACIJA“. Pritiskom na tu tipku, na ekranu se pojavljuju parametri za podešavanje [6]:

- datum i vreme (*date/time*);
- način proračuna (*calculation parameters*);
- način priključenja (*connection*);
- tip strujnog senzora (*current sensor*);
- odabir mernih vrednosti za zapis (*recording*) i
- nominalna frekvencija (*rated frequency*).

7.2. Način priključenja

Postoje četiri načina priključenja uređaja na merno mesto, u zavisnosti od potrebne merne veličine i načina priključenja i to: monofazno, dvofazno, trofazno trožično ili trofazno četvorožično [6]. U konkretnom slučaju, merenje je vršeno četvorožično.

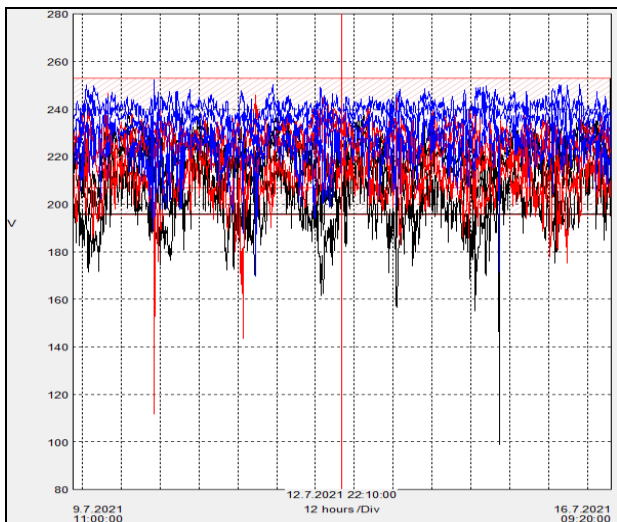
8. ANALIZA REZULTATA MERENJA

Merni uređaj CA 8435 je postavljen od strane stručnog tima na mernom mestu dana 09.07.2021. u 11 časova, a merenje je trajalo 7 dana, tj. do 16.07.2021., a u skladu sa SRPS EN 50160 [2]. U ovom periodu mereni su i zabeleženi sledeći parametri:

- varijacije napona,
- brze promene napona,
- dugi i kratki prekidi napona,
- propadi napona i poskoci napona,
- talasni oblik napona sve tri faze,

- pojava flikera P_{It} ,
- ukupno harmonijsko izobličenje napona THDU,
- neravnoteža odnosno nesimetrija napona U_{unb} .

Na slici 4 dat je grafički prikaz snimljenog napona u sve tri faze. Označena je gornja i donja granica prema standardu. Po standardu SRPS EN 50160 nominalni fazni napon iznosi 230V sa dozvoljenim odstupanjem $\pm 10\%$ nominalne vrednosti. U tabeli 1 je dat skraćeni prikaz svih merenih rezultata sa oznakom da li je vrednost unutar dozvoljenih granica (*Test passed*) ili ima odstupanja (*Test failed*). U tabeli 2 je izveštaj o propadima napona.



Sl. 4. Grafički prikaz varijacije faznih napona sa označenim granicama

Rezultati merenja ukazuju na značajna odstupanja od graničnih vrednosti. Vide se problemi u niskoj vrednosti napona, čija 95% vrednost je u jednoj fazi (L1) bila 83,5% nominalnog napona ili 192,5 V (minimalna vrednost je 207 V). Uočene su i pojave propada napona (Tabela 2), kao i odstupanja flikera (P_{It} , Tabela 1). Očigledno je da su žalbe potrošača bile umerne.

Tabela 1: Izveštaj sa merenja sa indikacijom odstupanja

Parameter	Phase	Nominal	Threshold Low %	Threshold Low	Threshold High %	Threshold High	Aggregat...	% of aggregation periods needed	Test results	% of aggregation periods within limits
V rms	L1	230,0 V	-15,0%	195,5 V	+10,0%	253 V	10 min	100,0	Test failed	97,8
V rms	L2	230,0 V	-15,0%	195,5 V	+10,0%	253 V	10 min	100,0	Test passed	100,0
V rms	L3	230,0 V	-15,0%	195,5 V	+10,0%	253 V	10 min	100,0	Test passed	100,0
V rms	L1	230,0 V	-10,0%	207 V	+10,0%	253 V	10 min	95,0	Test failed	83,5
V rms	L2	230,0 V	-10,0%	207 V	+10,0%	253 V	10 min	95,0	Test passed	99,1
V rms	L3	230,0 V	-10,0%	207 V	+10,0%	253 V	10 min	95,0	Test passed	100,0
U rms	L1	398,4 V	-15,0%	338,6 V	+10,0%	438,2 V	10 min	100,0	Test passed	100,0
U rms	L2	398,4 V	-15,0%	338,6 V	+10,0%	438,2 V	10 min	100,0	Test passed	100,0
U rms	L3	398,4 V	-15,0%	338,6 V	+10,0%	438,2 V	10 min	100,0	Test passed	100,0
U rms	L1	398,4 V	-10,0%	358,5 V	+10,0%	438,2 V	10 min	95,0	Test passed	99,9
U rms	L2	398,4 V	-10,0%	358,5 V	+10,0%	438,2 V	10 min	95,0	Test passed	100,0
U rms	L3	398,4 V	-10,0%	358,5 V	+10,0%	438,2 V	10 min	95,0	Test passed	100,0
Pf	L1					1	2 h	95,0	Test failed	0,0
Pf	L2					1	2 h	95,0	Test failed	2,4
Pf	L3					1	2 h	95,0	Test failed	20,7
U THCF	L1		8%	10 min	95,0			95,0	Test passed	100,0
U THCF	L2		8%	10 min	95,0			95,0	Test passed	100,0
U THCF	L3		8%	10 min	95,0			95,0	Test passed	100,0
U un(b)			2%	10 min	95,0			95,0	Test failed	71,3
V THCF	L1		8%	10 min	95,0			95,0	Test passed	100,0
V THCF	L2		8%	10 min	95,0			95,0	Test passed	100,0
V THCF	L3		8%	10 min	95,0			95,0	Test passed	100,0

9. ZAKLJUČAK

Rezultati provere stanja kvaliteta električne energije po žalbi potrošača pokazali su da su primedbe bile opravdane. Uočeno je niz vremenskih perioda sa efektivnim vrednostima napona nižim od propisane, pojave propada napona i nedozvoljenog flikera. Uzrok tim pojavama je nađen u brzom širenju elektrodistributivne mreže, koja je izgrađena u prošlom veku, odnosno veliki

broj potrošača na TS, koja nije bila predviđena za napajanje tolikog broja. Kao mere za otklanjanje ovog problema predviđena je izgradnja nove TS 20/0,4 kV/kV sa minimalno 3 NN izvoda, čime bi se, prema analizi stručnog tima inženjera ED Subotica značajno poboljšale naponske prilike u domaćinstvima u tom području.

Tabela 2: Izveštaj o izmerenim propadima napona

Date Started	Time Started	Duration	MAX ΔV % of nominaΔV/s
9.7.2021	11:30:00	12 h 50 min 1 s	+34,2%
10.7.2021	00:40:00	2 h 20 min 1 s	+19,3%
10.7.2021	03:20:00	20 h 10 min 1 s	+61,0%
11.7.2021	01:40:00	50 min 1 s	+18,1%
11.7.2021	03:10:00	45 h 30 min 1 s	+46,5%
13.7.2021	01:00:00	2 h 10 min 1 s	+18,3%
13.7.2021	03:40:00	25 h 40 min 1 s	+40,0%
14.7.2021	05:40:00	20 h 1 s	+65,7%
15.7.2021	02:10:00	20 min 1 s	+17,1%
15.7.2021	03:20:00	21 h 40 min 1 s	+32,7%
16.7.2021	01:20:00	1 h 20 min 1 s	+19,1%
16.7.2021	03:10:00	40 min 1 s	+14,7%
16.7.2021	04:10:00	5 h 10 min 1 s	+27,1%
11.7.2021	01:10:00	10 min 1 s	+13,8%
15.7.2021	02:50:00	10 min 1 s	+20,4%
11.7.2021	00:40:00	1 s	+18,3%
			+42,0

10. LITERATURA

- [1] V. Katić, A. Tokić, T. Konjić, „Kvalitet električne energije“, TEMPUS-CEFES, FTN, Novi Sad, 2007.
- [2] SRPS EN 50160:2012, „Karakteristike napona isporučene električne energije iz javnih električnih mreža“, Institut za standardaciju Srbije, Beograd, 2012.
- [3] V. Katic: "Energetski elektronski pretvarači kao izvori viših harmonika u distributivnoj mreži – I deo", Studija za SOUR Elektrovodina, Novi Sad, mart 1990.
- [4] Studija: "Kvalitet električne energije u elektro-distributivnim mrežama", (Nosilac: V. Katić), Studija za JP Elektroprivreda Srbije, Beograd, 1997-2000.
- [5] V. Katić, B. Dumnić, S. Mujović, J. Radović: "Effects of Low Power Electronics & Computer Equipment on Power Quality at Distribution Grid – Measurements and Forecast", IEEE – Int. Conf. on Industrial Technology – ICIT'04, Hammamet (Tunis), Dec. 8-10, 2004, Vol. 2, pp. 585-589.
- [6] Chauvin Arnoux CA 8345 Original User Manual.

Kratka biografija:



Željka Zolotić rođena je u Subotici 1992. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Distribuirani elektroenergetski resursi odbranila je 2021.god.
kontakt: zeljka.zolotic92@gmail.com



Vladimir Katić rođen je u Novom Sadu 1954. Doktorirao je na Univerzitetu u Beogradu 1991. god., a od 2002 je u zvanju redovnog profesora Univerziteta u Novom Sadu. Oblasni interesovanja su energetska elektronika, obnovljivi izvori električne energije, kvalitet električne energije i električna vozila.