

КВАЛИТЕТ ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ У ПОСЛОВНИМ ЗГРАДАМА**ELECTRIC POWER QUALITY OF COMMERCIAL BUILDINGS**Стефан Сатарих, Владимир Катић, Золтан Чорба, *Факултет техничких наука, Нови Сад***Област - ЕЛЕКТРОТЕХНИКА И РАЧУНАРСТВО**

Кратак садржај - У овом раду је описано и анализирано мерење квалитета електричне енергије у три типичне пословне зграде у којима доминирају мали нелинеарни потрошачи, претежно кластери персоналних рачунара. Процењене су девијације струја и напона услед виших хармоника и упоређене са важећим стандардима.

Кључне речи: квалитет електричне енергије, виши хармоници, нелинеарни потрошачи, THD (укупно хармонијско изобличење).

Abstract – This paper describes the measurements of electric power quality in three typical commercial building in which small nonlinear devices, primarily PCs dominate. The total harmonic distortions of current and voltage are estimated and compared with pertaining standards.

Keywords: power quality, higher harmonics, nonlinear devices, THD (total harmonic distortion).

1. УВОД

Појам квалитета електричне енергије је врло комплексан, јер поред комерцијалног и еколошког, укључује фундаментално важан технички квалитет енергије. Основна улога ефикасног електро-енергетског система (ЕЕС) је да обезбеди константан, поуздан и економичан пренос и дистрибуцију енергије од извора и квалитетно напајање крајњих корисника. Технички квалитет, који се манифестује кроз одступање параметара квалитета електричне енергије на сабирницама потрошача, првенствено се односи на статус напонских прилика. Од примарног значаја је утицај малих једнофазних потрошача опремљених исправљачима, као што су персонални рачунари, монитори, сервери, штампачи, скенери и друга рачунарска опрема, затим аудио и ТВ апарати, пуњачи за мобилне телефоне и други електронски уређаји, који се огледа у деформацији таласног облика струје. Услед прекидачке природе рада, или нелинеарне струјно-напонске карактеристике, такви уређаји конзумирају несинусоидалну импулсну струју, што доводи до деформације мрежног напона (стварање виших хармоника, фликера, уреза у напону, као и напонског шума). Поред тога, појаве у дистрибутивној мрежи, као што су пропади или поскоци напона, пренапони или поднапони, краткотрајне осцилације и

импулсне сметње деформишу напон напајања на сабирници. Они могу да изазову погрешан рад, ресетовање или престанак рада разних потрошача, па и оних поменутих [1]. Свеукупни утицај ових појава деградира квалитет електричне енергије.

У пословним објектима налази се велики број помених, нелинеарних потрошача, па је потребно утврдити колики је њихов утицај на квалитет електричне енергије. У литератури су приказани неки резултати оваквих анализа, углавном утицај рачунарских центара [2,3], али кумулативни ефекат више оваквих потрошача веома ретко.

У раду су приказани резултати мерења у три пословна објекта у којима су доминантни нелинеарни једнофазни потрошачи. Праћење су струјно-напонске прилике, а потом анализирани спектри виших хармоника поређењем са одговарајућим стандардима.

2. СПЕЦИФИКАЦИЈА ТИПИЧНИХ ПОРОШАЧА У ПОСЛОВНИМ ЗГРАДАМА

У Табели 1 је представљен скуп типичних једнофазних нелинеарних малих потрошача за једну канцеларију у пословним зградама [4]. Дати су износи одговарајућих номиналних струја и снага, као и укупно хармонијско изобличење струје (THDI).

Упадљива је велика дисторзија струје код већине уређаја, посебно код монитора и брзих пуњача за мобилне телефоне (чак до 207%). Међутим, када се сви они истовремено прикључе, долази до смањења THDI, односно сада је $THDI=74.7\%$ [4]. Тај ефекат примећен је и у [2] при раду великих група персоналних рачунара, а последица је делимичног поништавања хармоника (*harmonic cancellation*) и њиховог слабљења (*attenuation*). Први ефекат је резултат различитих фазних углова хармоника истог реда, који потичу од разних потрошача, па долази до њиховог међусобног поништавања. Ефекат слабљења је последица импедансе система, која за хармонике вишег реда даје већи индуктивни пад напона ($X_n=2\pi f_n L$). На слици 1 приказан је таласни облик струје и спектар струјних хармоника за монитор из Табеле 1 [4].

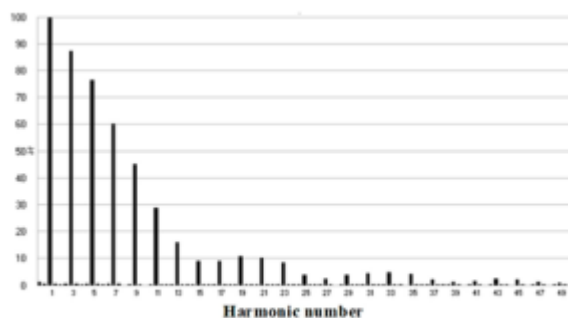
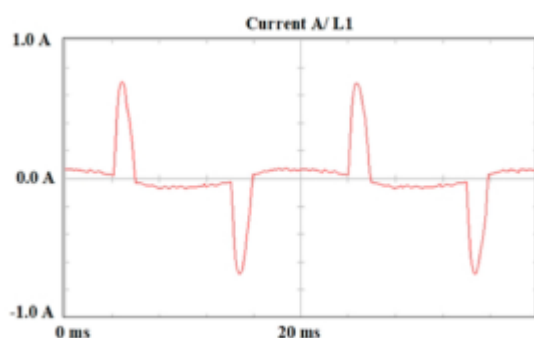
С друге стране, мала снага ових уређаја, као и помени ефекти имају за последицу да је њихов утицај на таласни облик напона у мрежи, односно на износе укупног хармонијског изобличења напона (THDU) мали. Ипак, они могу да поремете таласни облик, нарочито при врху синусоиде напона (заравњена синусоида).

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Владимир Катић, ред. проф.

Табела 1. Потрошачи у пословним зградама и њихови основни параметри [4]

Потрошач	Струја (А)	Снага (W)	THDI (%)
Пуњач за лаптоп (Laptop charger /AC power adapter, Samsung Model A10-090P1A)	1.5	90	35.3
Копир апарат (Desktop Copier Canon IR 2016)	2.5	3.6	81.3
Монитор (LCD Monitor 20 inch, LG L204WT)	1.0	45	145.3
Пуњач за мобилни (Smartphone Charger Samsung EP-TA20EWE)	0.5	0.1	207.3
Сијалица (Compact fluorescent lamp Osram 20W/865)	0.2	20	73.5
Сијалица (Fluorescent lamp type 8 Philips TLD18W830)	0.36	18	97.6
Клима уређај (Air conditioner)	4.5	1030	23.96



Сл. 1. Таласни облик струје и виши хармоници за LCD-monitor из Табеле 1 [4]

3. СТАНДАРД КВАЛИТЕТА SRPS EN 50160

Српски стандард SRPS EN 50160:2008 идентичан је са европским стандардом EN 50160:1999 [5]. Он даје главне карактеристике напона на прикључцима за напајање потрошача у нисконапонским (НН) и средњенапонским (СН) дистрибутивним системима у условима номиналног рада. Од интереса за овај рад су дозвољени нивои напонских виших хармоника за НН представљени у Табели 2.

Табела 2. SRPS EN 50160 Дозвољени нивои виших хармоника напона за НН [5].

Ред хармоника h	Хармон. изобл. U_h/U_1 (%)
3	5
5	6
7	5
9	1.5
11	3.5
13	3
15	0.5
17	2
19	1.5
21	0.5
23	1.5

4. МЕРЕЊЕ КВАЛИТЕТА ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ

Да би се анализирао утицај потрошача у пословној згради упоређени су резултати мерења параметара квалитета електричне енергије у две факултетске зграде (Нови Сад и Зрењанин) и у пословној згради „Пупинова палата“ у Новом Саду. Због ограниченог простора, овде ће бити приказани и анализирани само измерени резултати за више хармонике напона.

Сва мерења параметара квалитета електричне енергије спроведена су складу са одредбама стандарда SRPS EN 50-160:2008 [5]. Мерења су извршена у периоду од седам дана са десетоминутним усредњавањем мерених вредности, користећи мерни уређај типа С.А. 8332 В [6]. Уређај је прикључиван трофазно, са четири жице на одговарајуће разводне ормане (мерења на факултетима) или на сабирнице у трафо станици (мерење у „Пупиновој палати“). Изглед мерног инструмента са опремом приказан је на слици 2. Мерени су следећи параметри: напон и струја за све три фазе, струја нултог проводника, фреквенција, укупно и појединачно хармонијско изобличење напона и струје (THDU, HDU_n, THDI, HDI_n), снага (P, Q, S) и фактор снаге (PF, DPF).

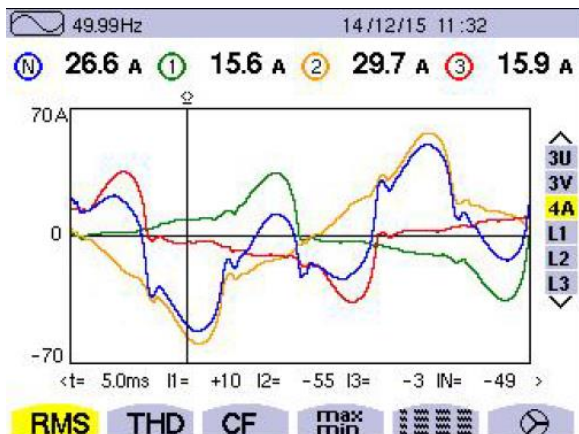


Сл. 2. Мерни инструмент С.А. 8335 Chauvin Arnoux са припадном опремом за прикључење [6]

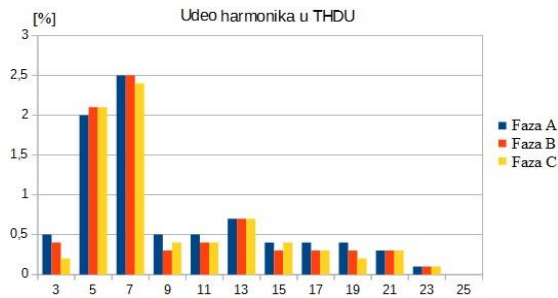
4.1. Рачунарски центар ФТН

У рачунарском центру Факултета техничких наука (ФТН) у Новом Саду распоређено је укупно 126 рачунара и 136 флуоресцентних светиљки у 6 лабораторија, ходнику и канцеларији. Мерења се константно спроводе (од 2009. год., сваке године) у склопу предмета Квалитет електричне енергије, који на ФТН предаје проф. др Владимир Катић. Досадашњи резултати, од

којих су неки публиковани, показали су значајна изобличења струја, као и појаву струје кроз неутрални проводник [2,7]. На слици 3, која представља резултате мерења из 2015. год. могу се уочити ове појаве [7]. Забележене вредности THDI износе од 46% до 88%, што је изнад вредности дозвољених по IEC 61000-3-4 стандарду [2,7]. Са друге стране, измерене вредности THDU су од 1,6% до 3,3%, односно испод лимита датих у SRPS EN 50160, па је закључак да су напонске прилике очуване у довољној мери. Слика 4 приказује нивое виших хармоника све три фазе напона забележене при мерењу 2018. год.



Сл. 3. Таласни облик струја све три фазе у рачунарском центру ФТН (мерење 2015. год.) [7]

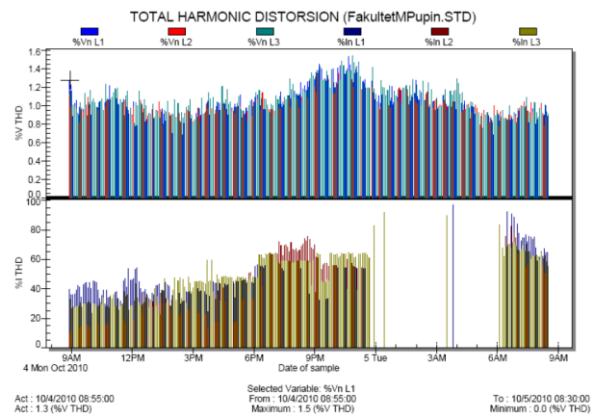


Сл. 4. Хармонијско изобличење напона рачунарског центра ФТН (мерење 2018. год.)

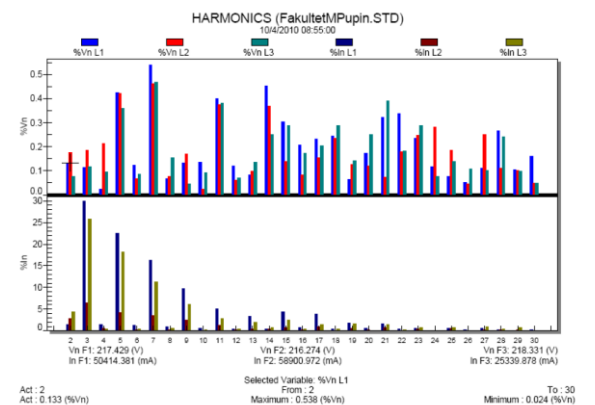
4.2. Технички факултет „Михајло Пупин“ у Зрењанину

Овде је мерење квалитета обављено у току 24 сата на сабирници прикључења свих рачунара, сервера и расвете на факултету [8]. Резултати дати на слици 5 показују да је THDU по фазама у дозвољеним границама (између 0,8% и 1,5%), док је THDI у две фазе изузетно велика и у неким тренуцима досеже чак до 80%. На слици 6 приказан је спектар напона и струје у јутарњим часовима (8:55 сати). Види се да су хармоници напона у дозвољеним границама, док су хармоници струје (3., 5., 7. и 9.) у две фазе веома велики.

Међутим, оно што је необично је да су у овим мерењима детектовани парни хармоници напона. Шта више, 14. и 18. хармоник су нивоа, који је упоредив са главним непарним хармоницима, што се види на слици 6. Ова појава је неуобичајена и не би се смела догађати, тако да су потребна додатна истраживања (или је дошло до неке грешке у публикованим резултатима мерења [8]).



Сл. 5. THDU и THDI све три фазе снимљени на Техничком факултету „Михајло Пупин“ [8]



Сл. 6. Виших хармоници напона и струје све три фазе на Техничком факултету „Михајло Пупин“ [8]

4.3. „Пупинова ралата“

У „Пупиновој палати“, у центру Новог Сада мерења су обављена на ниско-напонском изводу дистрибутивног трансформатора TS 10/0,4 kV са ког се напајају простори фирме „Континентал“ у периоду 12.-19. 01. 2021. год. Општи закључак јесте да су напонске прилике у погледу фреквенције и девијација фазних напона врло квалитетне.

Са друге стране, и овде фазне струје имају знатна хармонијска изобличења. На слици 7а) може се визуелно уочити ово изобличење, као и вредности THDI (58,6%; 33,8%; 34,9%). Ове вредности су практично у дозвољеним границама стандарда IEC 61000-3-4, који лимитира THDI на 58%. Те вредности су доста повољније у односу на два претходна случаја, што би могло да значи да је у „Пупиновој палати“ дошло до јачег испољавања ефеката поништавања и слабљења, као и утицаја веће „крутости“ мреже у очувању повољних напонских прилика. То се уочава и у веома ниском хармонијском изобличењу напона (од 1,6% до 1,9%), што је приказано на слици 7б).

Ипак, неравномерно оптерећење фаза и присуство изражених триплена, условљавају значајну струју нултог вода, што може представљати проблем у контексту квалитета електричне енергије.

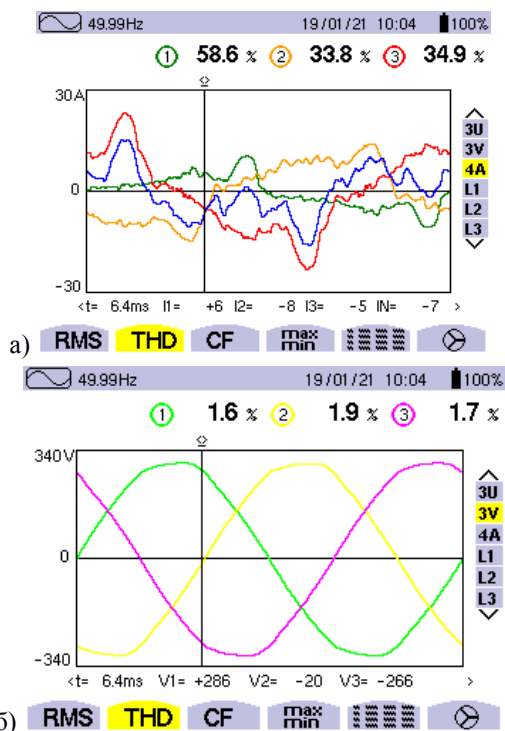
5. ПОРЕЂЕЊЕ РЕЗУЛТАТА СА СТАНДАРДОМ И ДИСКУСИЈА

Резултати показују да у сва три разматрана пословна објекта (са кластерима рачунара, осветљењем, клима уређајима, пратећом рачунарском опремом и другим електронским потрошачима) постоји изражена појава виших хармоника улазних струја, док је изобличење мрежног напона веома мало. Поређење битних хармонијских параметара у три објекта представљено је у Табели 3.

Табела 3. *Поређење резултата мерења квалитета електричне енергије у три разматрана објекта*

Објекат	THDU (%)			THDI (%)		
	A	B	C	A	B	C
Рачунарски центар ФТН	3,3	3,2	3,2	52	75	73
Технички факултет „Михајло Пупин“	4,3	2,1	3,7	85	29	72
„Пупинова палата“	1,6	1,9	1,7	58,6	38,8	34,9

Најбољи резултати су добијени у „Пупиновој палати“. Ту је присутна потрошачка опрема новије генерације, велики број рачунара, укључивши и бољу расвету просторија, што је условило мања хармонијска изобличења. Могуће је да повећање укупног броја нелинеарних потрошача доводи до већег поништавања вектора виших хармоника услед њихових фазних разлика. Према литератури [2], следи да при порасту броја ПЦ рачунара у истовременом раду долази до смањења THDI фактора, али не испод вредности, која износи око 30%. То је овде и потврђено, јер су у неким фазама добијене вредности нешто изнад 30%. Најзад, показано је да THDU фактор за исти ПЦ-кластер опада са порастом „крутости“ мреже, што одговара и закључцима из [2].



Сл. 7. а) Струје три фазе и нултог вода на дан 19.01.2021. Назначене су хармонијске дисторзије (у %); б) фазни напони и одговарајуће дисторзије

6. ЗАКЉУЧАК

Резултати мерења показују да су напонске прилике у све три посматране пословне зграде у складу са важећим стандардима, док је код струја изражено изобличење. Најнеповољнија последица је појава јаке струје нултог проводника, која је у неким случајевима упоредива са фазним струјама.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] V.A. Katić, “Kvalitet električne energije – viši harmonici”, Edicija Tehničke nauke - Monografije, Br. 6, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2002.
- [2] S. Mujović, V.A. Katić, Z. Čorba, J. Radović, “Uticaj rada računarskog centra Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu na nivo viših harmonika u mreži”, Elektroprivreda, br. 4, 2009, pp.67-82.
- [3] M.-Y. Chan, K. KF Lee and M. WK Fung, “A Case Study Survey of Harmonic Currents Generated from a Computer Centre in an Office Building”, Architectural Science Review, Vol.50, No.3, 2007, pp 274-280
- [4] L. Michalec et al, “Impact of harmonic currents of nonlinear loads on power quality of a low-voltage network: Review and case study”, Energies, 14, 3665, 2021
- [5] ***, Standard SRPS EN 50160-2008, „Karakteristike napona isporučene električne energije iz javnih distributivnih mreža”, Institut za standardizaciju Srbije, Beograd 2008.
- [6] Chauvin Arnoux CA 8335 Power Quality Analyser, Datasheet, <https://uk.rs-online.com/web/p/power-quality-analysers/0549722>
- [7] V.A. Katić i dr., „Merenje viših harmonika na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu“, Tehnika-Elektrotehnika, God. LXX, Broj 4, 2015, pp.655-662
- [8] V. Šinik, Ž. Despotović, “Uticaj nelinearnih potrošača male snage na kvalitet električne energije“, XXXIII simpozijum Energetika, Zlatibor, mart 2017.

Кратка биографија:



Стефан Сатарих рођен је у Новом Саду 1992. год. Дипломирао је на Факултету техничких наука из области електротехнике и рачунарства - Енергетска електроника и електричне машине 2018. год., а одбранио мастер рад у децембру 2021. год.



Владимир А. Катић, ред. проф. рођен је 1954. год. у Новом Саду. Дипломирао је на Факултету техничких наука у Новом Саду 1978. год., а магистрирао и докторирао на Електротехничком факултету Универзитета у Београду 1981. и 1991. године, респективно. Од 2002. године је редовни професор Универзитета у Новом Саду. Области интересовања су енергетска електроника, обновљиви извори електричне енергије, квалитет електричне енергије и електрична возила.



Золтан Чорба рођен је у Новом Саду 1962. године. Од 1992. године је запослен на Факултету техничких наука, где је докторирао 2016. год.. Тренутно је руководилац лабораторије за обновљиве и дистрибуиране изворе електричне енергије. Области интересовања су обновљиви извори електричне енергије, енергетска ефикасност и квалитет електричне енергије.