

# Gubici na EE mreži usled korišćenja opreme za rudarenje kriptovaluta

Dejan Stevanović<sup>1</sup>, Miona Andrejević Stošović<sup>2</sup>, Marko Dimitrijević<sup>2</sup>, Predrag Petković<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Inovacioni centar naprednih tehnologija (ICNT), Niš, Srbija

<sup>2</sup>Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet u Nišu, Niš, Srbija

dejan.stevanovic@icnt.rs, {miona.andrejevic, marko.dimitrijevic, predrag.petkovic}@elfak.ni.ac.rs

**Sažetak**— U ovom radu biće predstavljen jedan od novijih vidova potrošnje električne energije. Naime, kao potrošač biće razmotrena oprema za rudarenje kriptovaluta. Sve veći broj potrošača ovog tipa dovodi do povećanja ukupnog broja nelinearnih potrošača u elektroenergetskoj mreži, tako da aktivna snaga/energija više ne predstavlja dominantan deo ukupno isporučene snage/energije. Usled činjenice da distributeri električne energije ne mere ostale komponente snage, oni beleže značajni nivo gubitaka. U ovom radu akcenat će biti na gubicima koji se javljaju u elektroenergetskom sistemu usled korišćenja opreme za rudarenje.

**Ključne reči**—harmonici; elektronsko brojilo; gubici elektroenergetskog sistema; kriptovaluta.

## I. UVOD

Razvoj elektronike omogućio je proizvodnju pametnih, energetski efikasnih uređaja i opreme. Njihova primena kako u industriji, tako i u domaćinstvima doprinela je značajnoj uštedi u potrošnji električne energije, a samim tim i smanjenju emisije CO<sub>2</sub>. Na prvi pogled, napravljen je značajan napredak bez negativnih posledica. Nažalost, to nije potpuno tačno. Naime, savremeni električni uređaji uglavnom koriste jednosmerni (DC) napon za napajanje. Proces konverzije naizmeničnog u jednosmerni napon obavlja se pomoću AC/DC pretvarača. Samim tim, AC/DC pretvarači su postali najbrojnija opterećenja na mreži. Nažalost, njihova nelinearna priroda utiče na pojavu viših harmonika u elektroenergetskoj mreži. Viši harmonici u elektroenergetskoj mreži izazivaju brojna neželjena dejstva, [1]-[3]. Najznačajnija posledica harmonika su gubici koji se javljaju u samom elektroenergetskom sistemu [4], [5].

Konstantan rast broja priključenih nelinearnih potrošača na mreži doveo je do toga da referentne međunarodne organizacije propišu standarde kojima se ograničava maksimalna dozvoljena vrednost harmonika. Najpoznatiji standardi iz ove oblasti su: IEEE 519-1992, standardi IEC serije 61000 i EN 50160. Ovim standardima propisane su samo maksimalne dozvoljene vrednosti harmonika, ali nije definisano šta se dešava u slučaju da ih potrošač premaši. U tom slučaju bila bi moguća dva pristupa: isključenje takvog potrošača sa mreže, ili uvođenje dodatnih penala. Autori ovog teksta smatraju da je drugi pristup prikladniji. Implementacija ovog rešenja je moguća samo u slučaju da postoji sistem za

detekciju nelinearnih potrošača na mreži. Jedan takav sistem je opisan u [6].

Poslednjih nekoliko godina jedan od najvećih nelinearnih potrošača predstavlja oprema za rudarenje kriptovaluta. Oprema koja se koristi za rudarenje digitalne valute već sada čini 0,15% svetske potrošnje energije, što uveliko prevazilazi godišnju potrošnju Irske ili većine afričkih zemalja [7]. Da bi se bolje stekao uvid u potrošnju ove opreme, aktuelan je podatak da ona potroši 29 puta više energije od svih Tesla automobila koji se trenutno koriste [8].

U ovom radu pokušaćemo da predstavimo nivo gubitaka koji se javljaju u elektroenergetskom sistemu usled rudarenja kriptovaluta i neodgovarajuće politike naplate. Rad se sastoji od četiri poglavlja. U narednom poglavlju daćemo pregled osnovnih veličina koje se koriste pri merenju parametara elektroenergetskog sistema, a zatim će biti predstavljen metod za eliminaciju gubitaka u elektroenergetskom sistemu, dok su rezultati merenja prikazani u poglavlju 3. Zaključak je dat u poglavlju 4.

## II. MERENJE PARAMETARA ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA

Usled postojanja harmonika u elektroenergetskom sistemu prilikom računanja veličina kao što su: efektivna vrednost napona/struje, aktivna, reaktivna i prividna snaga, mora se uzeti u obzir i efekat harmonika. Trenutna vrednost signala koji sadrži harmonike može se predstaviti sledećom jednačinom:

$$x(t) = \sum_{h=1}^M X_h \sin(\omega_h t + \alpha_h), \quad (1)$$

gde je  $h$  red harmonika,  $M$  harmonik najvišeg reda, dok  $X_h$ ,  $\omega_h$  i  $\alpha_h$ , predstavljaju amplitudu, frekvenciju i fazu  $h$ -tog harmonika. Efektivna vrednost signala iskazana izrazom (1), računa se kao:

$$X_{\text{RMS}} = \sqrt{\sum_{h=1}^M X_h^2} \quad (2)$$

Proizvod efektivne vrednosti napona i struje istog harmonika predstavlja prividnu snagu tog harmonika. Ukupna aktivna snaga se definiše kao:

$$P = \sum_{h=1}^M V_{\text{RMS}_h} I_{\text{RMS}_h} \cos(\theta_h) = P_1 + P_H, \quad (3)$$

gde  $\theta_h$  predstavlja fazni ugao između napona i struje. Ukupna aktivna snaga može se predstaviti kao suma snaga osnovnog harmonika  $P_1$  i snaga svih viših harmonika  $P_H$  ( $h=2, \dots, M$ ).

Prema Budeanu [3], [9], [10], reaktivna snaga se računa kao:

$$Q = \sum_{h=1}^M V_{RMS_h} I_{RMS_h} \sin(\theta_h) = Q_1 + Q_H. \quad (4)$$

Slično kao i u (3),  $Q_1$  i  $Q_H$  označavaju reaktivnu snagu osnovne komponente i reaktivnu snagu svih viših harmonika, respektivno. Uprkos osporavanju pojedinih naučnika, ova definicija je široko prihvaćena u naučnoj javnosti [11], [12]. Više informacija o različitim načinima računanja reaktivne snage može se naći u [13].

Proizvod efektivne vrednosti napona i struje predstavlja prividnu snagu:

$$S = I_{RMS} \cdot V_{RMS} = \sqrt{\sum_{h=1}^M V_{RMS_h}^2} \cdot \sqrt{\sum_{h=1}^M I_{RMS_h}^2}. \quad (5)$$

Usled primene sve većeg broja nelinearnih potrošača aktivna snaga/energija ne predstavlja dominantnu komponentu isporučene snage. Deo snage koja se javlja usled prisustva viših harmonika praktično je isporučena potrošaču, ali je nevidljiva sa stanovišta distributera. Među prvima koji su uočili problem i koji su krenuli sa konkretnim rešavanjem bili su stručnjaci Enel S.p.A. (Ente Nazionale per l'Energia elettrica) grupacije (www.enel.com) koja predstavlja najznačajnijeg distributera u Italiji, i drugog prema instaliranoj snazi u Evropi. Oni su došli do zaključka da usled promene karaktera potrošača dolazi do pojave gubitaka u elektroenergetskom sistemu. Zato su odlučili da zamene stara elektro-mehanička brojila novim elektronskim koja imaju mogućnost da, osim aktivne, mere i reaktivnu snagu. Instalacija ovih brojila krenula je 2001. godine i do sada je 99% brojila na teritoriji Italije zamenjeno. Na ovaj način gubici su delimično smanjeni, ali nisu eliminisani. U prethodno objavljenim radovima smo dokazali da je osim merenja aktivne i reaktivne snage potrebno meriti i snagu izobličenja [4], [5].

Naime, kada se primene jednačine za izračunavanje aktivne i reaktivne snage (3), (4), a prividna snaga se izračuna na osnovu (5), dobija se, da je u prisustvu harmonika:

$$S^2 > P^2 + Q^2. \quad (6)$$

S obzirom da za prostoperiodične sisteme važi da je  $S^2 = P^2 + Q^2$ , jasno je da razlika potiče od prisustva viših harmonika, odnosno da je ona posledica izobličenja napona i struje u sistemu. Prateći ukupnu logiku u definisanju aktivne i reaktivne snage, Budeanu je još 1927. godine uveo pojam *snage izobličenja*, koji je posledica prisustva harmonika u mreži. Korigovao je izraz za prividnu snagu:

$$S^2 = P^2 + Q^2 + D^2, \quad (7)$$

gde je sa  $D$  označio *snagu izobličenja*. Suština ove korekcije sadržana je kroz činjenicu da je u odsustvu harmonika  $D=0$ , tako da važi  $S^2 = P^2 + Q^2$ . Očigledno da ova poznata definicija postaje specijalni slučaj primene (7). Odavde sledi da je snagu izobličenja moguće izračunati kao:

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2}. \quad (8)$$

Računanjem snage izobličenja na osnovu (8), i uzimanjem u obzir te veličine prilikom kreiranja računa o utrošenoj

električnoj energiji, distributeri bi znatno smanjili nivo gubitaka koji postoje u samom sistemu. Prilikom tarifiranja neophodno je voditi računa o dozvoljenom pragu snage izobličenja kod uređaja koji ispunjavaju standard IEEE 519-1995 I IEC/EN61000-3-2. Međutim, treba poštediti korisnike plaćanja snage izobličenja koja se javlja na linearnim potrošačima pobuđenim nelinearnim naponom. Naime, aktuelni standard obavezuje distributere da obezbede napon sa ukupnim izobličenjem manjim od 5%. Takođe, treba imati u vidu da izračunavanje  $D$  primenom (8) zavisi od tačnosti merenja  $Q$ . Različiti izrazi za definiciju reaktivne snage  $Q$  i manja zahtevana klasa tačnosti ne bi smeli značajno da ugroze ni jednu stranu u tarifnom sistemu.

Sve ovo ukazuje na potrebu da se uvede neka dozvoljena granična vrednost snage izobličenja koja se ne bi obračunavala prilikom kreiranja konačnog računa o utrošenoj električnoj energiji. Istovremeno, to znači da bi za taj iznos trebalo umanjiti izmerenu vrednost snage izobličenja. Predlažemo korekciju koja se može iskazati uz pomoć obrasca:

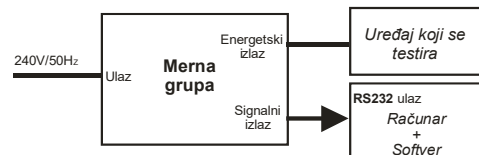
$$D_p = D - \gamma \cdot S \quad (9)$$

gde  $D$  i  $S$  predstavljaju vrednost izmerene snage izobličenja i prividne snage respektivno, a  $\gamma$  označava konstantu koju treba definisati. Odluku o veličini konstante  $\gamma$  kojom će se korigovati izmerene vrednosti doneli bi eksperti u dogovoru sa distributerima električne energije. Predloženo je u [5], [13] da vrednost ovog koeficijenta bude 0,1. Do pomenute vrednosti došlo se nakon razmatranja dozvoljene vrednosti harmonika napona/struje na mestu priključka koju propisuje standard IEEE 519-1995. Ovaj standard je posmatran kao referentni, umesto IEC61000-3-2 koji se pretežno primenjuje na teritoriji Evrope, iz veoma pragmatičnog razloga. Naime, standard IEC61000-3-2 reguliše karakteristike elektronskih uređaja, dok standard IEEE 519-1995 definiše dozvoljene vrednosti harmonika napona/struje na mestu gde se potrošač priključuje na EE mrežu, odnosno na mestu priključenja elektronskog brojila. Važno je napomenuti da su ovi standardi kompatibilni, tako da ispunjenje standarda IEC61000-3-2 garantuje i ispunjenje uslova propisanih standardom IEEE 519-1995.

U sledećem poglavlju biće prikazani rezultati merenja koji su obavljeni uz pomoć standardnog elektronskog brojila koje je proizvela firma EWG iz Niša [14], gde je kao potrošač korišćena oprema za rudarenje kriptovaluta.

### III. REZULTATI MERENJA

Glavna prednost predloženog metoda je njegova jednostavna implementacija. Uglavnom sva savremena elektronska brojila mere aktivnu, reaktivnu i prividnu snagu, tako da se mogu veoma lako nadograditi da mere i snagu izobličenja. Na Sl. 1 je prikazano realizovano testno okruženje.



Sl. 1. Blok shema testnog okruženja

Kao merni instrument korišćena je komercijalna merna grupa koja ispunjava standarde IEC 62053-22 [15]. Brojilo meri osnovne parametre električne energije u skladu sa njihovim definicijama koje su date jednačinama (3), (4) i (5). U trenutno raspoloživoj varijanti merna grupa nema mogućnost računanja snage izobličenja, ali registruje  $S$ ,  $P$  i  $Q$ . Ove veličine očitavaju se tokom svake sekunde i šalju u računar preko optičkog i RS232 porta. Direktnom primenom izraza (8) u računaru se izračunava vrednost snage izobličenja.

Glavne komponente opreme za rudarenje su izvor napajanja i grafičke kartice. Na tržištu postoji veliki broj proizvođača grafičkih procesora (GPU), ali najpoznatiji su AMD i NVIDIA, pa se ovi procesori i najviše koriste kod grafičkih kartica. Iako različiti proizvođači grafičkih kartica koriste iste GPU, grafičke kartice se ne ponašaju isto sa stanovišta potrošnje električne energije i brzine rudarenja (hash rate). Najkorišćenije grafičke kartice u 2019. godini su AMD RX580 i NVIDIA GTX1070 [16]. Druga najvažnija komponenta opreme za rudarenje je izvor napajanja (power supply unit – PSU). Ove jedinice moraju da imaju visok stepen efikasnosti (u ovom kontekstu, odnos korisne i ukupne snage/energije) kako bi nivo potrošnje električne energije bio minimalan. Zbog toga se kod opreme za rudarenje uglavnom koriste PSU čiji je stepen efikasnosti veći od 80%. PSU su svrstani u kategorije nazvane bronzani, srebrni, zlatni, platinasti i titanijumski. Kao što se vidi iz Tabele I, PSU iste kategorije ima drugačiju efikasnost pri različitim uslovima opterećenja. Naime, za 80 PLUS Gold PSU kategoriju, pri napajanju od 230V i opterećenju od 20%, efikasnost je 80%, dok pri opterećenju od 50% dostiže efikasnost 92% [17].

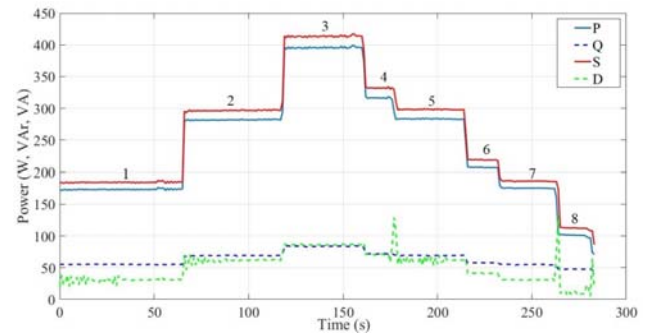
**TABELA I. ZAHTEVANA EFIKASNOST U ZAVISNOSTI OD OPTEREĆENJA**

|                  | 115V Internal Non-Redundant |     |      | 230V Internal Redundant |     |     |      |
|------------------|-----------------------------|-----|------|-------------------------|-----|-----|------|
|                  | 20%                         | 50% | 100% | 10%                     | 20% | 50% | 100% |
| 80 PLUS          | 80%                         | 80% | 80%  | N/A                     |     |     |      |
| 80 PLUS Bronze   | 82%                         | 85% | 82%  | -                       | 81% | 85% | 81%  |
| 80 PLUS Silver   | 58%                         | 88% | 85%  | -                       | 85% | 89% | 85%  |
| 80 PLUS Gold     | 57%                         | 90% | 87%  | -                       | 88% | 92% | 88%  |
| 80 PLUS Platinum | 90%                         | 92% | 89%  | -                       | 90% | 94% | 91%  |
| 80 PLUS Titanium | 92%                         | 94% | 91%  | 90%                     | 94% | 96% | 91%  |

U ovom radu predstavljeni su rezultati merenja snaga (aktivne, reaktivne, prividne snage i snage izobličenja) za dve vrste izvora napajanja i njihov uticaj na nivo gubitaka u samom elektroenergetskom sistemu. Kao uređaj za testiranje korišćena je oprema za rudarenje (*minig rig*) koja se sastoji od PSU Cooler Master 750W bronzne design, Sesonnic Focus PSU 850W gold design, 6 Gigabyte GTX1070 grafičkih kartica (3 kartice su sa jednim ventilatorom, 3 kartice su sa 3 ventilatora). Sesonnic Focus PSU se koristi za napajanje grafičkih kartica sa 3 ventilatora, dok se pomoću Cooler Master PSU napajaju preostale 3 kartice, matična ploča i SSD hard disk.

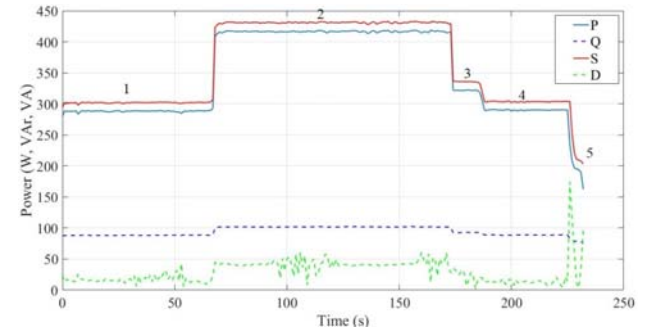
Na Sl. 2 prikazana je potrošnja Cooler Master PSU pri različitom opterećenju. Naime, merenje počinje u trenutku kada je samo jedna grafička kartica uključena (faza 1), a zatim se uključuje druga, pa treća kartica (faza 2 i 3). Kao što se može videti sa Sl. 2., kada su sve tri kartice uključene vrednost

aktivne snage je 400W, dok je vrednost reaktivne snage i snage izobličenja 75VAR. Zaključujemo da distributer električne energije beleži nivo gubitaka od 18% usled neuzimanja u obzir snage izobličenja prilikom konačnog obračuna utrošene električne energije. Odnosno, gubitak bi bio oko 45% ukoliko se u obračun uzme u razmatranje i utrošena reaktivna snaga/energija. Tokom narednih nekoliko faza isključujemo karticu po karticu tako da su u trenutku 8 aktivni samo PSU, matična ploča, procesor i SSD hard disk. U ovom trenutku aktivna snaga dostiže vrednost od 100W, dok je reaktivna snaga 50VAR. Vrednost snage izobličenja u ovom trenutku je zanemarljiva.



Sl. 2. Rezultati merenja potrošnje za Cooler Master PSU

Na Sl. 3 prikazana je potrošnja za Sesonnic Focus PSU i sledeće tri grafičke kartice. Dobijeni rezultati pokazuju da je korišćeni izvor napajanja efikasniji u pogledu snage izobličenja i da će distributeru električne energije prouzrokovati niži nivo gubitaka. Naime, u sve tri faze vrednost snage izobličenja je veoma niska i dostiže 50 VAR samo u slučaju kada su sve 3 kartice uključene.

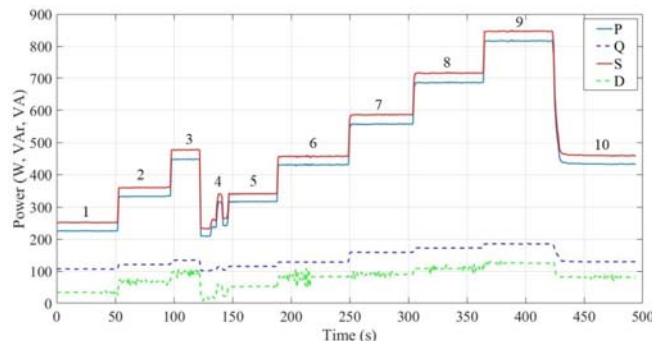


Sl. 3. Rezultati merenja potrošnje za Sesonnic Focus PSU

Potrošnja celokupnog *minig rig*-a prikazana je na Sl. 4. Na samom početku uključuju se 3 grafičke kartice jedna po jedna. Nakon toga isključimo dve grafičke kartice (trenutak 4), i ponovo startujemo karticu po karticu. U trenutku 9 kada je aktivno svih 6 grafičkih kartica, vrednost aktivne snage je 820W, reaktivne snage 180VAR, dok je vrednost snage izobličenja 150VAR što predstavlja 18% aktivne snage koja nije registrovana, a samim tim ni naplaćena.

Dobijeni rezultati merenja pokazuju da su korišćeni PSU veoma efikasni, kao što je i prikazano u Tabeli I. Poredeći ove rezultate sa rezultatima objavljenim u [5], možemo zaključiti da PSU generišu značajno manje harmonika, ali njihova vrednost nije zanemarljiva. Naime, vrednost harmonika se

direktno odražava na povećanje snage izobličenja. Ova snaga se isporučuje potrošaču, ali usled neadekvatne politike naplate distributeri električne energije je registruju kao gubitak. Na osnovu prikazanih rezultata vidimo da distributeri u konkretnom slučaju beleže gubitke od 10-18% isporučene aktivne snage u zavisnosti od opterećenja i korišćene opreme.



Sl. 4. Rezultati merenja potrošnje za celi mining rig

#### IV. ZAKLJUČAK

Dobijeni mereni rezultati pokazuju da su korišćeni PSU veoma efikasni u pogledu snage izobličenja i da generišu mali broj harmonika. Međutim, distributeri električne energije beleže značajan nivo gubitaka usled neadekvatne politike naplate. Na osnovu rezultata dobijenih u ovom radu, gubici se kreću do 18% aktivne snage. Ukoliko se uzme u obzir i reaktivna snaga koja se takođe ne obračunava korisniku, nivo gubitaka dostiže neverovatnih 45%. Treba napomenuti da su prilikom merenja korišćeni brendirani (kvalitetni) PSU, pa se pretpostavlja da je kod ostalih PSU nivo gubitaka znatno veći. Autori će se u daljem radu fokusirati na identifikaciju dominantnih harmonika generisanih od strane PSU. Na osnovu ovih podataka, distributeri električne energije bi mogli da planiraju neki od načina smanjenja prostiranja harmonika kroz mrežu primenom metoda za kompenzaciju harmonika.

#### ZAHVALNICA

Rezultati prikazani u ovom radu ostvareni su u okviru projekta TR32004 čiju realizaciju finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

#### LITERATURA

- [1] G. K. Singh, "Power system harmonics research: a survey," *European Tran. on Electrical Power*, 19, 151–172, (2007).
- [2] Y. Alhazmi, "Allocating power quality monitors in electrical distribution systems to measure and detect harmonics pollution," PhD dissertations, University of Waterloo, Ontario, Canada, (2010).

- [3] J. G. Wakileh, "Power Systems Harmonics", Springer (2001).
- [4] D. Stevanović, P. Petković, "The Losses at Power Grid Caused by Small Nonlinear Loads," *Serbian Journal of Electrical Engineering*, Vol 10, No. 1, 209-217, (2013)
- [5] D. Stevanović, P. Petković, "Utility needs smarter power meters in order to reduce economic losses," *Facta Universitatis Series: Electronics and Energetics* Vol. 28, No 3, pp. 407-421, doi:10.2298/FUEE1503407S, (2015).
- [6] D. Stevanović, P. Petković, "A Single-Point Method for Identification Sources of Harmonic Pollution Applicable to Standard Power Meters," *Electrical Engineering*, Volume 97, Issue 2, June 2015, 2015, pp 165-174, ISSN 0948-7921(prn), doi:10.1007/s00202-014-0324-z.
- [7] <https://qz.com/1204842/bitcoin-mining-should-use-renewable-energy-if-we-want-cryptocurrencies-to-be-ethical/>
- [8] <http://fortune.com/2018/01/11/bitcoin-mining-tesla-electricity/>
- [9] A. E. Emanuel, "Summary of IEEE standard 1459: definitions for the measurement of electric power quantities under sinusoidal, nonsinusoidal, balanced, or unbalanced conditions," *IEEE Tran. on Industrial Applications*, Vol. 40, No. 3, May 2004 pp. 869–876.
- [10] J. G. Webster, "The measurement, instrumentation, and sensors handbook," *IEEE Press*, 1999
- [11] A. E. Emanuel, "Power Definitions and the physical mechanism of power," *Wiley and IEEE Press*, 2010.
- [12] IEEE Std 1459-2010, IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, Or Unbalanced Conditions.
- [13] D. Stevanović, "Metod za efikasnu identifikaciju harmonijskih izobličenja u elektroenergetskoj mreži primenom modifikovanih elektronskih brojlara," Doktorska disertacija, Univerzitet u Nišu, Srbija, (2015).
- [14] EWG - multi metering solutions, [www.ewg.rs](http://www.ewg.rs).
- [15] IEC 62053-22 Electricity metering equipment (AC) - Particular requirements - Static meters for active energy (classes 0.2S and 0.5S).
- [16] <https://www.techradar.com/news/best-mining-gpu>
- [17] <https://alldaymining.com/best-psu-mining>.

#### ABSTRACT

In this paper we will try to present one aspect of energy consumption caused by equipment for cryptocurrency mining. We will first address problems concerning increscent number of nonlinear loads leading to the fact that the active power no longer represents the main part of total power delivered to customer. Since the distributors do not measure the other components of power, they tend to have high level of losses. We will stress in this paper losses produced by power supply unit in the mining rig, since nowadays one of the greatest nonlinear consumers is equipment for cryptocurrency mining. Special attention will be paid to quantities of active, reactive and distortion power.

#### UTILITY LOSSES DUE TO CRYPTOCURRENCY MINING

Dejan Stevanović, Miona Andrejević Stošović, Marko Dimitrijević, Predrag Petković