

Zagađenje životne sredine kao posledica rudarenja krypto valuta

Environmental Pollution as a Consequence of Cryptocurrency Mining

Jelena Bačević¹

Visoka škola za poslovnu ekonomiju i preduzetništvo, Mitropolita Petra 8, 11000 Beograd, Srbija /
Faculty of Business Economy and Entrepreneurship, Mitropolita Petra 8, 11000 Belgrade, Serbia

Rad primljen / Received: 11.09.2022, Rad prihvaćen / Accepted: 17.11.2023.

Sažetak: Tehnologija lanca blokova i krypto valute su se pojavili pre petnaest godina i ubrzo su postale fenomen koji velikom brzinom osvaja prostor u finansijskom sektoru ali i u drugim oblastima poslovanja. Softversko rešenje na bazi lanca blokova prvo je primenjeno za potrebe krypto valute pod nazivom Bitcoin a zatim je započelo masovno kreiranje sličnih sistema transferisanja novca, tako da je do sada implementirano preko deset hiljada ovakvih sistema. U početku niko nije analizirao količinu električne energije koja se troši za ove namene ali je ubrzo sa razvojem ovog poslovanja uočen problem. Masovna primena ASIC uređaja za rudarenje krypto valuta, zahteva veliku količinu električne energije koja se troši u procesima izračunavanja kriptografskih algoritama a s obzirom na to da ih je u svetu instalirano više miliona samo za potrebe Bitcoin rudarenja, jasno je da ovolika potrošnja izaziva zabrinutost u vezi sa uticajem ove energetski zahtevne vrste valuta na životnu sredinu. U radu se analiziraju problemi koji nastaju usled prekomerne potrošnje električne energije za potrebe rudarenja krypto valuta, upoređuju modeli rada lanca blokova koji bi mogli da smanje potrošnju i koji bi bili energetski efikasniji u svom radu.

Ključne reči: Tehnologija lanca blokova, krypto valute, ušteda električne energije, zagađenje životne sredine.

Abstract: Blockchain technology and cryptocurrencies emerged fifteen years ago and quickly became a phenomenon that rapidly gained ground in the financial sector and various other business domains. The software solution based on blockchain technology was initially applied for the cryptocurrency known as Bitcoin, and soon after, the mass creation of similar money transfer systems began. To date, over ten thousand such systems have been implemented. Initially, nobody analyzed the amount of electrical energy consumed for these purposes, but a problem was soon identified. The widespread use of ASIC devices for cryptocurrency mining requires a significant amount of electrical energy in the process of cryptographic algorithm calculations. Given that there are millions of such devices installed worldwide for Bitcoin mining alone, it is clear that this level of consumption raises concerns regarding the environmental impact of this energy-intensive type of currency. This paper analyzes the problems arising from excessive electrical energy consumption for cryptocurrency mining, compares blockchain operation models that could reduce consumption and be more energy-efficient in their operation.

Keywords: Blockchain technology, cryptocurrencies, energy savings, environmental pollution.

¹orcid.org/0009-0007-3671-6376, e-mail: jelena.bacevic@vspep.edu.rs

UVOD / INTRODUCTION

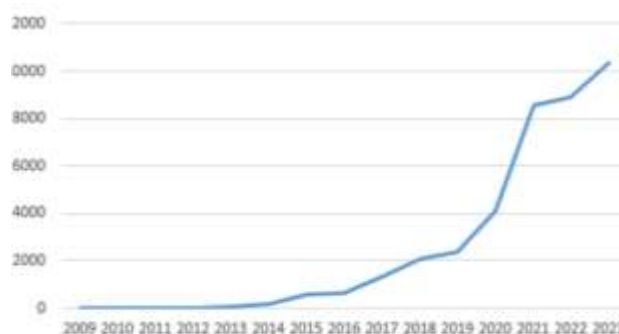
Prvi rad na temu lanca blokova objavljen je 2008 godine pod naslovom *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System* (Nakamoto, 2008) u kome je izneta ideja za inovativno rešenje krypto valute, preko koje se direktno bez posrednika može obavljati

prenos novca sa jednog korisnika na drugog. Ovakvih pokušaja da se ovaj problem reši, bilo je i u ranijim radovima ali je ovo prvi put da je realizovana i dizajnirana platforma koja je uspela da reši problem "dvostruke potrošnje" uvodeći zapise sa kriptografskom zaštitom koji su uskladišteni u digitalnoj knjizi u blokovima podataka koji su predstavljeni

jedinstvenim kriptografskim identifikatorom (hesh). Osnovna karakteristika ove tehnologije je da svaki sledeći blok uključuje i jedinstveni identifikator prethodnog bloka, stvarajući na taj način lanac blokova. Rad koji je objavio Nakamoto odmah je izazvao veliko interesovanje Internet zajednice, jer je u njemu predloženo rešenje za sistem plaćanja koji je nezavisan od bilo kojih državnih institucija ili posrednika i gde se vrednost valute formira na osnovu ponude i tražnje. Ono što je interesantno, da je autor ovog rada potpuno nepoznata osoba i niko nije saznao za njegov identitet ali su krenule špekulacije da iza ovog rada stoje kompanije SAmSung, TOSHlba, NAKAmichi i MOTOrola. Na Bitcoin IRC (Internet Relay Chat) je konstatovano da "Satoshi" na Japanskom jeziku znači "mudar" tako da je misterija, ko stoji iza ovog projekta ostala do danas nerazjašnjena. Ubrzo, već 2009 godine Bitcoin se pojavio kao zaokruženo rešenje a realizacija projekta i prve transakcije su registrovane 2010. godine. Interesantno je primetiti da su mediji intenzivno pratili razvoj ovog sistema i odlučujuće su doprineli da se berzanska vrednost Bitcoin-a ubrzano uvećava. Drugi sistem koji se pojavljuje već 2011. godine je Litecoin a zatim započinje intenzivan razvoj novih sistema plaćanja zasnovanih na ovoj tehnologiji. U početku za rudarenje Bitcoina bilo je dovoljno da se koristi običan računar, da se instalira softver i započne rudarenje. S obzirom na to da je u pitanju softver koji može da se preuzme sa Interneta, svi koji su bili zainteresovani mogli su da se priključe mreži i da započnu sa rudarenjem. Veliko interesovanje za rudarenje Bitcoina ubrzo dovodi do potrebe da se oprema ubrzano razvija i da bi se ostvario profit počinju da se za rudarenje koriste specijalizovane kartice. Za kratko vreme industrija računara započela je da proizvodi specijalizovane uređaje - ASIC (Application-Specific Integrated Circuit) koji su omogućili da se posao znatno ubrza (Bariviera, 2017). Potražnja za opremom za rudarenje dovela je do primene najnovijih tehnologija a njihova snaga kreće se od 2000-7000 W (f2pool, 2023). Ako se uzme u obzir da pojedine rudarske farme (postrojenja sa instaliranim velikim brojem ASIC uređaja) imaju po više hiljada instaliranih uređaja za rudarenje onda je jasno da kada se pomnoži broj ASIC uređaja sa njihovom snagom i vremenom korišćenja to predstavlja veliko opterećenje za elektro-energetski sistem države gde se rudarenje kripto valuta obavlja.

Mogućnost da se lako i jednostavno instalira oprema za rudarenje izazvala je pravu lavinu novih sistema plaćanja, tako da se njihov broj svake godine udvostručavao da bi ih u avgustu 2023. godine bilo 10300 (CoinMarketCap.com). Broj postojećih

kripto valuta nije moguće tačno odrediti jer se svakog dana pojavljuju nove dok druge u međuvremenu nestaju.



Slika 1. Rast broja kripto valuta
Figure 1. Growth of the number of cryptocurrencies
Izvor / Source: CoinMarketCap.com

Po podacima koji su objavljeni na zvaničnom sajtu Bitcoin-a, on zauzima 42% ukupnog tržišta kripto valuta.

1. PREGLED LITERATURE / LITERATURE REVIEW

U početnim godinama rudarenja (2009-2013) kripto valuta pa sve do 2014. godine niko se nije bavio problemima potrošnje električne energije jer je u tom periodu bilo relativno malo opreme koja je bila instalirana za ove potrebe. Praćenje potrošnje električne energije započeto je u martu 2014. godine kada se na sajtu "digikonomet.net" pojavljuju prve analize i tekstovi koje se bave ovim problemima. Ubrzo započinje sa radom Cambridge Electricity Consumption Index, tako da ova oblast poslovanja biva sve više praćena. Globalni problemi sa zagrevanjem planete Zemlje, doveli su do toga da sve veći broj autora počinju da analiziraju probleme potrošnje električne energije koja je potrebna za rad mreže kripto valuta pa se 2017 godine pojavljuje više radova na ovu temu (Bariviera, 2017; Vranken, 2017). U ovim radovima autori analiziraju održivost ovakvih sistema u odnosu na njihovu potrošnju energije. Temom potrošnje energije prilikom rudarenja kripto valuta bave se mnogi autori (De Vries, 2020, 2023; De Vries, Stoll, 2021; 2023; Küfeoğlu, Özkuran, 2019; Pavićević, 2023).

Analizom literature koja je dostupna, može se konstatovati da se malo pažnje posvećuje problemu kako da se smanji potrošnja električne energije promenom modela formiranja lanca blokova. Ova tehnologija je postala sastavni deo budućeg razvoja informacionih tehnologija sa perspektivom povezivanja sa veštačkom inteligencijom, tako da će u buduću sve više biti nezaobilazna u primeni. Treba

naglasiti da je do sada razvijeno više modela kreiranja lanca blokova i da oni imaju različite mehanizme, tako da je potrošnja električne energije u zavisnosti od modela različita. Do sada su razvijeni sledeći modeli za formiranje lanca blokova:

- Dokaz o radu (Proof of Work - PoW),
- Dokaz o ulogu (Proof of Stake - PoS),
- Dokaz o spaljivanju (Proof of Burn - PoB),
- Dokaz autoriteta (Proof of Authority - PoA),
- Pojednostavljena vizantijska tolerancija na greške (Practical Byzantine Fault Tolerance - PBFT),
- Dokaz o prostoru (Proof of Capacity - PoC).

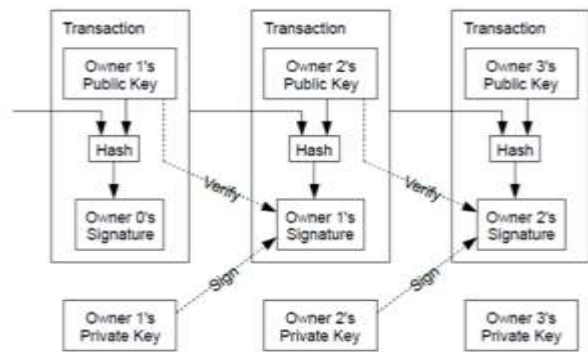
U dosadašnjem radu sistema za rudarenje kripto valuta najčešće je korišćen metod PoW jer je na njemu Bitcoin koji zauzima značajan deo ukupnog tržišta ovih valuta. Pošto je softver mogao da se preuzme sa Interneta besplatno, većina novih sistema ma plaćanja počela da koristi ovaj model formiranja lanca blokova. Sa stanovišta rudarenja kripto valuta samo su PoW i PoS značajni i u masovnoj upotrebi i dalje će se samo oni uzimati u razmatranje.

Veliki napredak u oblasti modela formiranja lanca blokova načinio je V. Buterin 2014. godine kada je objavio rad pod naslovom "A Next Generation Smart Contract & Decentralized Application Platform" gde je analizirao formiranje lanca blokova po modelu PoS. Razvoj ovog modela lanca blokova omogućio je primenu ove tehnologije u različitim oblastima poslovanja. Ovaj model omogućio formiranje pametnih ugovora. Posebno je interesantno što ovaj model znatno smanjuje potrebe za električnom energijom što će u daljem radu biti objašnjeno.

2. KAKO SE FORMIRA BITCOIN (POW) / HOW BITCOIN IS FORMED (POW)

Da bi se analizirala potrošnja električne energije koja je potrebna za rudarenje Bitcoina mora se početi od toga kako se formira lanac blokova u ovom sistemu kripto valuta. Tehničko rešenje Bitcoina zasniva se na kriptografskim metodama javnog i tajnog ključa.

Prvi blok u lancu blokova kreirao je Nakamoto a svi ostali su registrovani jedan za drugim koristeći jedinstveni kriptografski identifikator (hash) prethodnog bloka. U kreiranju novog bloka učestvuju svi rudari koji se nalaze na mreži i međusobno se konkurentno nadmeću da generišu novi blok.



Slika 2. Formiranje lanca blokova
Figure 2. Block chain formation
Izvor / Source: (Nakamoto, 2008)

To nadalje znači da sve mašine koje su na mreži rade isti posao, (preračunavaju hash) trošeći električnu energiju kroz proces PoW (Proof of Work). Prvi rudar koji pronade PoW koji zadovoljava unapred definisane uslove prosleđuje ga svim ostalim rudarima koji ga prihvataju i nastavljaju da sa njim rade. To znači da se čitava knjiga svih transakcija nalazi na svim čvorovima u mreži. Ovaj proces se ponavlja sa svakim narednim blokom. Rudar koji je uspeo da kompletira lanac bloka kao nagradu dobija Bitcoin koji dalje može prodati na berzi kripto valuta i pretvoriti ga u realni novac. Pored fiksne nadoknade od rudarenja postoji i promenljivi deo transakcije nagrade i to predstavlja podsticaj za učestvovanje u radu u ovoj mreži. Mreža sama bira težinu "heš" algoritma i prilagođava tako da se u određenom vremenskom intervalu može kreirati samo jedan Bitcoin. Iz prethodne analize proizilazi da onaj rudar koji raspolaže najvećim računarskim kapacitetom, ostvaruje najveću zaradu.

Ovako koncipiran sistem je potpuno decentralizovan i funkcioniše na distribuiranoj mreži. Pošto u ovoj mreži postoji veliki broj računara, svi moraju da se usaglase putem algoritma i da na svim računarima u distribuiranoj mreži bude upisan isti blok. To dalje znači da se jedna transakcija izvršava na svim računarima trošeći električnu energiju. U konkurenciji svi rudari maksimalno angažuju snagu procesora i troše maksimalnu količinu električne energije kako bi prvi formirali blok lanca jer samo onaj koji pobedi u brzini dobija Bitcoin. Sa druge strane to što svi moraju da računaju i da se usaglase, znatno usporava ukupan rad i transakcije se odvijaju brzinom 3-5 u sekundi. To dalje znači da proces plaćanja u mreži po jednoj transakciji može trajati realno i više od 10 minuta u zavisnosti od broja transakcija koje se trenutno obrađuju. Iz prethodne analize možemo zaključiti da je PoW skupa transakcija jer troši veliku količinu električne energije.

Osnovna prednost ove tehnologije je postojanost zapisa ili nemogućnost da se zapis kasnije promeni. Da bi se zapis promenio morali bi da se izmene svi zapisi od prvog do poslednjeg i to na svim računarima koji su u mreži. To dalje znači da podatak koji je jednom zapisan trajno ostaje u jedin-stvenoj knjizi bez mogućnosti da bude promenjen.

3. KAKO SE FORMIRA ETHEREUM (POS) / HOW ETHEREUM IS FORMED (POS)

Ethereum je sistem kreiranja lanca blokova koji je osmislio V. Buterin i koji predstavlja drugi najveći sistem kripto valute. Do septembra 2022. godine i ovaj sistem je radio po modelu PoW ali je tada došlo do promene i prešli su na PoS model. U ovom sistemu koji se zasniva na "Proof of Stake - PoS" formiranju lanca blokova, učesnici nisu podsticani da konkurišu jedan drugome. Sistem sam bira koji računari mogu da formiraju blok na osnovu toga koliko imaju uloženo valute koja služi kao kolateral. Drugim rečima onaj koji ima više uložene valute ima više šansi da dobije od sistema mogućnost da formira blok. I u ovom slučaju računarska snaga potrebna za formiranje lanca blokova je važna ali nije odlučujuća. Za dalju analizu ovaj podatak je od velikog značaja.

4. PROBLEMI POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE / PROBLEMS OF ELECTRICITY CONSUMPTION

Da bi se mogla izvršiti analiza potrebne energije potrebne za rad distribuirane računarske mreže koja je u funkciji rudarenja kripto valuta, prethodno je potrebno pronaći koliko je računara (ASIC uređaja) priključeno na ovu mrežu. Treba znati da bi samostalnom ASIC uređaju koji bi bio priključen na mrežu Bitcoin bile potrebne godine rada kako bi kreirao jedan blok u lancu i ostvario prihod od svog rada. Pošto je potrebna velika računarska snaga i brzina ASIC uređaji se povezuju u "pool-ove" koji predstavljaju grupe rudara koji su objedinili svoje računarske kapacitete kako bi uspešnije rešavali algoritme i koji na kraju dele zaradu od rudarenja kripto valute. Ovakvih "pool-ova" ima desetak i oni drže veći deo proizvodnje Bitcoin-a (na dan 07.08.2023. godine 96,6%). Direktno podatak koliko svaki od njih ima instalirane opreme (ASIC) nije dostupan, već se to može jedino posredno utvrditi. Treba naglasiti da se broj instaliranih uređaja neprestano menja, jer se jedan deo opreme kvari i mora biti zamenjen, drugi prestaje sa radom usled pregrevanja ili prekida u radu Interneta dok se treći zamenjuje jer mu je zbog zastarelosti resurs rada potrošen (Li, et all 2019).

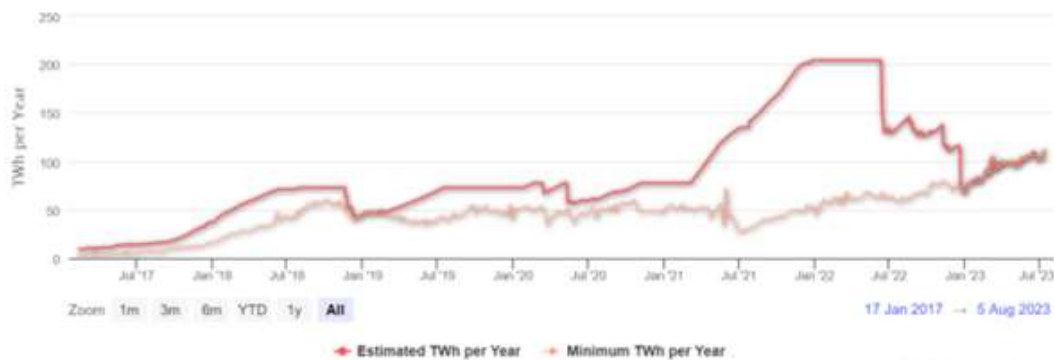
Na rad "pool-ova" utiče i zakonska regulativa pojedinih zemalja. Kada je Republika Kina zabranila rudarenje kripto valuta uočeno je da su oni koji nisu

potpali pod taj zakon povećali svoje učešće u zaradi. Jedini podatak o broju rudara (workers) na svom sajtu daje interaktivno "Braiins pool" i njihov broj se kreće između 72000-74000 aktivnih radnika (workers). Na sajtu blockchains.com može se interaktivno pronaći podatak o broju završenih blokova pojedinih "pool-ova" i njihovom procentualnom učešću u ukupnom generisanju blokova. "Braiins pool" ima u zavisnosti od perioda koji se meri između 0,6% i 1,7 % učešća u ukupnom broju kreiranih blokova. Ovo je dovoljno za procenu ukupnog broja ASIC uređaja na mreži koji je okvirno procenjen na oko 7 miliona (računato prema proseku). Ako se ovaj podatak o broju instaliranih uređaja pomnoži sa prosečnom potrošnjom svakog pojedinačnog (3,2 kWh) dobija se rezultat koji predstavlja impresivnu potrošnju električne energije.

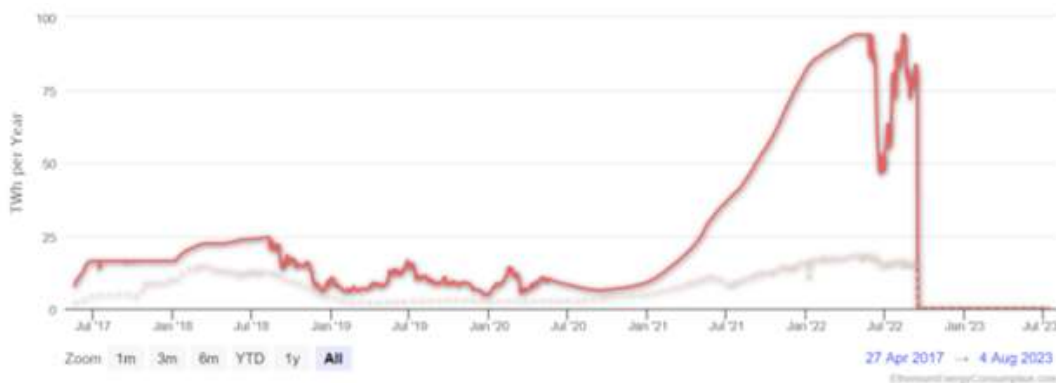
Osim utroška električne energije za potrebe rudarenja postoji i dodatna potrošnja za odvođenje toplote i klimatizaciju prostora gde se rudarenje odvija. Naime sva električna energija koja se troši u procesu rudarenja pretvara se u toplotnu koja mora da se intenzivno odvodi kako bi se oprema održavala u granicama dozvoljenog zagrevanja (Vranken, 2017). Zbog ove potrebe hlađenja farme rudarske opreme se najčešće nalaze u krajevima gde je klima hladnija (na primer: Noriljsk-Rusija, Island, Kazahstan, sever SAD) kako bi se smanjili troškovi hlađenja.

Merenjem potrošnje električne energije i generisanja CO₂ intenzivno se bave University of Cambridge preko svog "Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index" i Digiconomist preko svog "Bitcoin Energy Consumption Index". Procene koje su date na ovim sajtovima ukazuju na zabrinjavajuće trendove potrošnje električne energije kada je u pitanju Bitcoin. Iz podataka koji su objavljeni proizilazi da Bitcoin na godišnjem nivou potroši 107,6 TWh i emituje 60,01 Mt CO₂ (Sl. 3). Sa druge strane u septembru mesecu 2022. godine, Ethereum je promenio model kreiranja lanca blokova i sa PoW sa kojim je do tada radio prešao je na PoS model. Rezultati koji su postignuti ovom promenom su izvrsni. Ethereum je smanjio potrošnju električne energije za 99% što predstavlja veliki napredak u smanjenju zagađenja životne sredine.

Na slikama 3 i 4 prikazana je potrošnja električne energije Bitcoin-a i Ethereum-a u istom vremenskom periodu. S obzirom da je Bitcoin masovnije zastupljen, njegova potrošnja je znatno veća. Sa dijagrama se jasno vidi da je prilikom promene modela kod Ethereuma, naglo došlo do smanjenja potrošnje električne energije. Ethereum trenutno troši 0,01 TWh električne enerije i emituje 0,01 Mt, CO₂ u svom poslovanju. Manja potrošnja energije povlači i smanjenje potrebe za hlađenjem opreme pa je to dvostruka ušteda.



Slika 3. Bitcoin potrošnja energije 2017-2023
 Figure 3. Bitcoin Energy Consumption 2017-2023
 Izvor / Source: (Digiconomist)



Slika 4. Ethereum potrošnja energije 2017-2023
 Figure 4. Ethereum Energy Consumption 2017-2023
 Izvor / Source: (Digiconomist)

Ovo je pokazatelj da se izmenom modela kretanja lanca blokova mogu ostaviti znatna poboljšanja i značajne uštede električne energije. Ako se zna da većina centralnih banaka u svetu analizira mogućnosti primene ove tehnologije i izdavanje svojih valuta za potrebe plaćanja u lokalnu kao i prekograničnih, prilikom projektovanja ovih sistema mora se uzeti u obzir ovaj podatak o uštedi energije. Osim za potrebe plaćanja tehnologija lanca blokova se sve više upotrebljava u različitim oblastima delatnosti.

Problem potrošnje energije postaje sve značajniji i "pool-ovi" sve češće u svojim aktivnostima insistiraju na ekološkom aspektu svog poslovanja. Kao primer može se uzeti "PEGA pool" koji svojim saradnicima-rudarima nudi različite provizije ukoliko koriste električnu energiju iz obnovljivih izvora (1%) ili ako rudare sa energijom koja je iz neobnovljivih izvora (2%) a ujedno sponzorise sadnju drveća. Ovo može biti samo marketinški potez jer nikako nije moguće dokazati odakle potiče energija koja se koristi za rudarenje osim ako "pool" ne raspolaže svojim zasebnim izvorom električne energije.

ZAKLJUČAK / CONCLUSION

Kada se analizira dosadašnji razvoj kripto valuta jasno se vidi da je sve imalo oblik stihije a nivo kontrole je u dosadašnjem periodu bio ekstremno mali. Problemi sa kripto valutama koje su potpuno nezavisne od državnih institucija, javili su se od njihovog nastanka. Sve dok su ove valute imale marginalni uticaj, države se nisu posebno bavile njim, već su analizirale njihovu primenu u drugim oblastima i to više kao eksperiment, da se vidi kako bi to moglo da se ozbiljno iskoristi. Međutim masovno širenje ovih valuta neočekivano je stvorilo problem državama, jer je ovaj novac počeo da se koristi u nelegalnim finansijskim transakcijama a sve više je opterećivao elektro-energetski sistem zemalja. S obzirom na to da je teško, gotovo nemoguće, da se prati trag novca koji je ovako kreiran i transferisan, znatan broj zemalja je zabranio njihov rad. Do 2021 godine najveći broj rudara kripto valuta se nalazio u Republici Kini, ali je tada doneta odluka, da se njihov rad u ovoj zemlji zabrani. Oficijelni razlog za zabranu je da bi se sprečilo ilegalno prosleđivanje novca (FORTUNE, 2022) ali je verovatno da je i problem

nestašice električne energije imao određeni uticaj. Osim Republike Kine još osam zemalja je potpuno zabranilo rad rudarenja kripto valuta, dok je još 42 države zabranilo rad, tako što su izdale ograničenje ili zabranu bankama da rade sa ovim sistemima.

Na ovu odluku o zabrani rudarenja kripto valuta ima uticaja i potreba da se električna energija racionalnije koristi u drugim oblastima privrede. Osim toga, velika potrošnja električne energije za održavanje ovih sistema sve više postaje problem, jer sa povećanom potražnjom za električnom energijom, raste i njena cena na tržištu.

Trenutno je pored Bitcoina, veliki broj sistema kripto valute instaliran i radi po modelu PoW što znači da troše velike količine električne energije. Veliki broj instaliranih uređaja za rudarenje i lanac blokova koji je formiran u dosadašnjem periodu nije lako zameniti i na taj način smanjiti potrošnju električne energije kao što je to uradio Ethereum, koji je uspeo da zameni PoW sa PoS i drastično smanji potrošnju električne energije. Ovde je potrebno imati na umu da Bitcoin zauzima 42% ukupnog tržišta kripto valuta, dok Ethereum uzima samo 18% (Forbes advisor, 2022). Takođe Bitcoin radi na oko sedam miliona uređaja u mreži pa bi promena modela po kome funkcioniše predstavljala veliki problem.

Međutim mnoge centralne banke sveta danas analiziraju mogućnosti da samostalno kreiraju kripto valutu ali vezanu za realni novaj (fiat) koji funkcioniše u datoj zemlji (kripto juan u Republici Kini, rublja u Rusiji, itd). Osim toga ova tehnologija se sve više primenjuje u poslovanju, administraciji, zdravstvu, školstvu i mnogim drugim oblastima. Svakim danom se pojavljuju ideje za primenu tehnologija lanca blokova pa je zabrinutost zbog energetskih potreba za rad ovih sistema sve češće tema u svetu. Oprema za rudarenje koja se svakodnevno instalira za ove vrhe zahteva ogromne količine električne energije koja je u većini zemalja u deficitu.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Bariviera, A, F. (2017). The inefficiency of Bitcoin revisited: A dynamic approach, *Economics Letters*, 161, 1-4. doi:10.1016/j.econlet.2017.09.013.
- [2] Blockchains.com. (2023). Blockchain.com | Charts - Hashrate Distribution
- [3] Buterin, V. (2014). A Next Generation Smart Contract & Decentralized Application Platform (White Paper). Available at: [http://www.theblockchain.com/docs/Ethereum_white_paper_a_next_generation_smart_contract_and_decentralized_application_platform vitalik-buterin.pdf](http://www.theblockchain.com/docs/Ethereum_white_paper_a_next_generation_smart_contract_and_decentralized_application_platform_vitalik-buterin.pdf).
- [4] Cambridge Electricity Consumption Index. (2023). Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index, University of Cambridge. [Online]. Available at: <https://ccaf.io/cbnsi/cbeci>. [Accessed 8.8.2023]
- [5] CoinMarketCap. (2023). Cryptocurrency Prices, Charts And Market Capitalizations | CoinMarketCap Available at: <https://coinmarketcap.com>,
- [6] De Vries, A. (2020). Bitcoin's Energy Consumption is Underestimated: A Market Dynamics Approach. *Energy Research & Social Science*, 70, 101721. doi:10.1016/j.erss.2020.101721
- [7] De Vries, A. (2023) Cryptocurrencies on the road to sustainability: Ethereum paving the way for Bitcoin, *Patterns*. 4(1), 100633. doi:10.1016/j.patter.2022.100633
- [8] De Vries, A., Stoll, C. (2021). Bitcoin's growing e-waste problem, *Resources, Conservation and Recycling*, 175, 105901. doi:10.1016/j.resconrec.2021.105901.
- [9] Digikonomist. Bitcoin Energy Consumption Index. Available at: <https://digikonomist.net/bitcoin-energy-consumption>
- [10] f2pool.(2023). Popular Miners - Mining Revenue Comparison - F2Pool
- [11] Forbes advisor. (2022). How Bitcoin and Ethereum Compare. Bitcoin vs. Ethereum: Similarities and Differences – Forbes Advisor
- [12] FORTUNE 4 januar 2022. Crypto is fully banned in China and 8 other countries | Fortune
- [13] Küfeoğlu, S. Özkuran, M. (2019), Bitcoin mining: A global review of energy and power demand, *Energy Research & Social Science*, 58, 101273, doi:10.1016/j.erss.2019.101273.
- [14] Li, J., Li, N., Peng, J., Cui, H. & Wu, Z. (2019). Energy Consumption of Cryptocurrency Mining: A Study of Electricity Consumption in Mining Cryptocurrencies. *Energy*, 168, 160-168.
- [15] Market cap. (2023). Bitcoin statistics 2023. Available at: [Bitcoin statistics 2023 - finder.com](https://www.bitcoin-statistics.com/)
- [16] Nakamoto, S. (2008). *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*, www.Bitcoin.Org, p. 9.
- [17] Pavićević, V. (2023). Povećanje emisije CO₂ kao posledica korišćenja blokčejn tehnologije. *Ecologica*, 30(110), 261-268. doi:10.18485/ecologica.2023.30.110.13
- [18] PEGA Pool - Eco Friendly Bitcoin Mining Pool. Available: pega-pool.com
- [19] Vranken H.,(2017). Sustainability of bitcoin and blockchains, *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 28, 1-9. doi:10.1016/j.cosust.2017.04.011.