

Alen Hrga  
Fakultet elektrotehnike i računarstva  
[Alen.Hrga@fer.hr](mailto:Alen.Hrga@fer.hr)

Mirna Gržanić  
Fakultet elektrotehnike i računarstva  
[Mirna.Grzanic@fer.hr](mailto:Mirna.Grzanic@fer.hr)

Tomislav Capuder  
Fakultet elektrotehnike i računarstva  
[Tomislav.Capuder@fer.hr](mailto:Tomislav.Capuder@fer.hr)

## KONCEPTUALNO RJEŠENJE INVESTICIJSKO-OPERATIVNE PLATFORME ZA ENERGETSKE ZAJEDNICE TEMELJENO NA DISTRIBUIRANIM KNJIGAMA

### SAŽETAK

Tehnologije distribuiranih knjiga stekle su popularnost zbog mogućnosti definiranja novih vrsta digitalne imovine kojom se može upravljati na decentraliziran i siguran način.

Ovaj rad predstavlja koncept platforme temeljene na distribuiranim knjigama koja omogućuje investiranje u resurse energetske zajednice te upravljanje uložnim sredstvima pomoću mehanizama definiranih na temelju pametnih ugovora. Platforma je nadopunjena sustavom upravljanja izvorima fleksibilnosti energetske zajednice s ciljem smanjenja perioda povrata investicije. Koncept je demonstriran za energetske zajednice s različitim izvorima fleksibilnosti i distribuiranim izvorima energije.

**Ključne riječi:** distribuirane knjige, blok-lanci, pametni ugovori, energetske zajednice

## CONCEPTUAL SOLUTION OF INVESTMENT AND OPERATION PLATFORM FOR ENERGY COMMUNITIES BASED ON DISTRIBUTED LEDGERS

### SUMMARY

Distributed ledger technologies have gained popularity because of the ability to create new types of digital assets that can be managed in decentralized and secure way.

This paper presents the concept of a platform based on distributed ledgers that enables investment in energy communities resources and the management of invested funds through mechanisms based on smart contracts. The platform is complemented with an energy community flexible resource management system designed to reduce the return-of-investment period. The concept has been demonstrated for energy communities with a variety of flexible units and distributed energy sources.

**Key words:** Distributed ledgers, blockchains, smart contracts, energy communities

## 1. UVOD

Kako bi se liberaliziralo tržište od strane trgovaca, potrošače se potiče na formiranje energetske zajednice i samoopskrbu. Formiranjem energetske zajednice i razmjenom energije na lokalnoj razini može se osigurati niža cijena energije od one koju pružaju opskrbljivači ili viša cijena za prodaju viška električne energije. Jedan od načina povećanja broja energetske zajednice je investicijska platforma koja bi omogućila mikro-investicije i transparentno praćenje trošenja sredstava s mogućnošću upravljanja uložnim sredstvima kako bi se lakše osigurao povrat investicije. Distribuirane knjige (eng. *DLT – distributed ledger technology*) smatraju se kao jedna od tehnologija koja može omogućiti ovakav model. DLT je nova tehnologija koja ima potencijal primjene u energetskom sektoru i pružanja dodatne vrijednosti u područjima investicija i trgovanja.

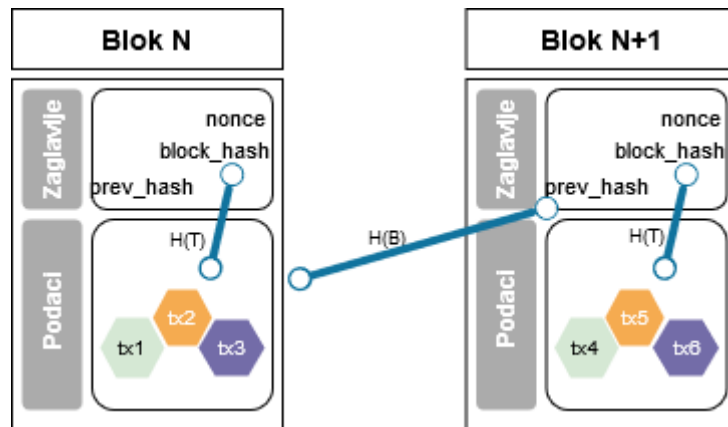
Brojni radovi bave se ovom tematikom, uključujući pregledne radove [1], tržišta energije [2], naplatu punjenja električnih vozila [3], itd. Udruga SolarPlaza objavila je katalog od preko 140 projekata i tvrtki u domeni energetike koje uključuju DL tehnologije u svojim rješenjima [4], uključujući rješenja poput PowerLedger [5] i Pylon Network [6] platformi. Preko trećine rješenja iz kataloga koristi DL tehnologiju blok-lanac (eng. *blockchain*) te svojstvo nepromjenjivosti blok-lanca za pohranu podataka o investicijama u obliku tokena koji se onda koristi na razvijenim platformama u nekom obliku. U kontekstu energetske zajednice, u [7] autori predlažu korištenje blok-lanca za dijeljenje mjerenja energije radi podmirjenja potreba za energijom među sobom, dok drugi istražuju mehanizme trgovanja u takvim uvjetima lokalne zajednice [8] ili se fokusiraju na strategije i modele licitiranja [9]. U [10] autori evaluiraju projekt *Brooklyn Microgrid* kao studiju slučaja lokalnog energetskog tržišta s ciljem potpune samoodrživosti.

Spomenuti radovi pokazali su postojanje interesa za ulaganja u energetske zajednice te u distribuirane izvore energije u vlasništvu zajednice, i za lokalno uravnoteženje ponude i potražnje. U ovom radu stvara se dodatni poticaj za ulaganje u energetske zajednice pružanjem platforme koja omogućava mikro-investicije i minimizirano razdoblje povrata investicije, uz transparentno i sigurno upravljanje investicijama temeljeno na DLT-u. Predlaže se platforma za investiranje u energetske zajednice upotpunjena modulom pametnog upravljanja izvorima fleksibilnosti i distribuiranim izvorima energije u vlasništvu energetske zajednice s ciljem lokalnog uravnoteženja i minimiziranja povrata investicije. Platforma omogućuje decentraliziran i transparentan model za dobivanje financijskih resursa za osnivanje energetske zajednice temeljen na DLT-u. Ovim modelom, inicijalni troškovi energetske zajednice dijele se u mikro-zajmove i modeliraju kao tokeni u blok-lancu. Tokeni se koriste kao dokaz investicije i pravo za uvid, te glasovanje o konzumaciji financijskih sredstava uloženi u energetsku zajednicu. Upravitelj zajednice kroz sustav pametnog upravljanja izvorima fleksibilnosti i distribuiranim izvorima energije uravnotežuje zajednicu na lokalnoj razini i minimizira kupnju energije od opskrbljivača, čime minimizira i povrat investicije.

## 2. TEHNOLOGIJE DISTRIBUIRANIH KNJIGA (DLT)

DL tehnologije konceptualno su nastale 2008. godine kao dio *Bitcoin* mreže [11] koja je objavljena 2009. godine. Bitcoin je dizajniran kao anonimni elektronički sustav za plaćanje gdje distribuirana knjiga sadrži podatke o transakcijama između anonimiziranih korisnika koji su predstavljeni sintetičkim identifikatorom. U novijim verzijama DLT-a, distribuirana knjiga može sadržavati proizvoljne podatke i programski kod koji se izvršava paralelno na tisućama čvorova koji su dio DL mreže. Prva platforma s takvim aplikativnim mogućnostima je *Ethereum* [12] koji je nastao 2014. godine.

DLT je sustav s ravnopravnim sudionicima (eng. *P2P – peer-to-peer*) s nekoliko značajki koje su različite u odnosu na tradicionalne P2P sustave. Glavna razlika je u tome što se obrada transakcija u DLT-u radi na svim čvorovima u mreži bez potrebe za posrednikom ili povjerenjem u čvorove koji izvršavaju transakcije, za razliku od tradicionalnih P2P sustava gdje se procesi i obrada podataka delegira jednom ili dijelu čvorova u mreži. Ostale značajke uključuju sigurnost, transparentnost i nepromjenjivost transakcija zapisanih u distribuiranoj knjizi. Najpoznatije implementacije DLT-a su blok-lanci, poput Bitcoin, Ethereum ili EOS [13] mreže, i usmjereni aciklični grafovi (eng. *DAG – directed acyclic graph*), poput IOTA [14], Nano [15] ili Byteball [16] mreže. DAG mreže ne podržavaju pametne ugovore i stoga nisu bile razmatrane u radu. Blok-lanci se mogu promatrati kao strukture podataka koje su kriptografski povezane, ili kao mrežna arhitektura koja implementira mehanizme konsenzusa koji omogućuju komunikaciju bez posrednika. Sa stajališta strukture podataka, blok-lanci su strukture koje sadrže podatke o transakcijama i kriptografskim metapodacima koji služe za osiguravanje integriteta i nepromjenjivosti podataka, kao što je prikazano na slici 1.

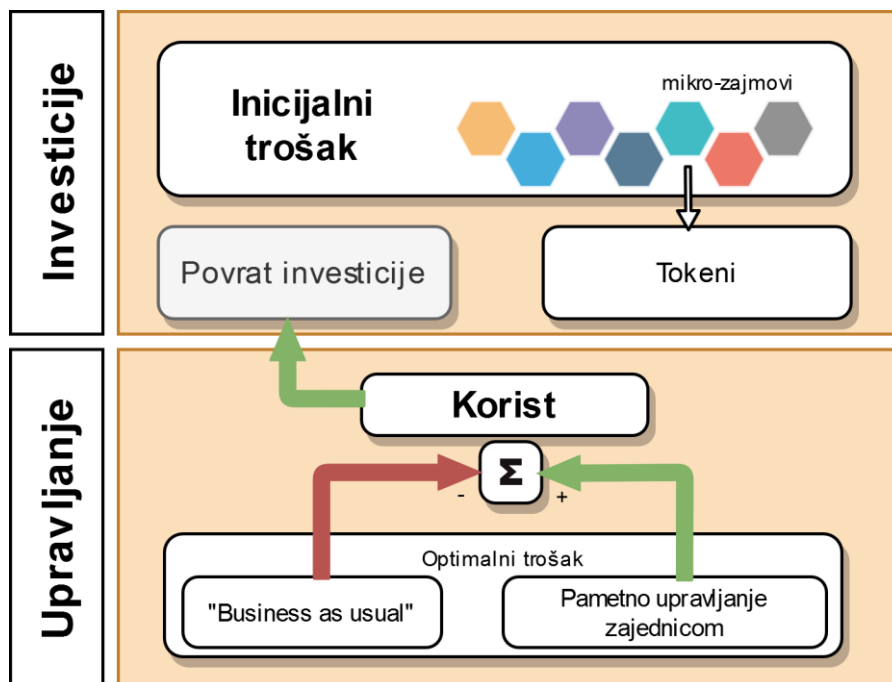


Slika 1. Podatkovna struktura blok-lanca. Zaglavlje sadži kriptografske metapodatke, a podatkovni dio sadži transakcije te podatke o globalnom stanju mreže

Sa stajališta mrežne arhitekture, blok-lanci implementiraju mehanizam distribuiranog konsenzusa kako bi se osigurala nepromjenjivost podataka i valjanost transakcija, a najistaknutiji korišteni mehanizmi konsenzusa su „dokaz rada“ (eng. *Proof-of-Work*) i „dokaz uloga“ (eng. *Proof-of-Stake*).

### 3. MODEL PLATFORME

Arhitektura predloženog modela nalazi se na slici 2. Cijeli sustav sastoji se od dva modula: investicijskog modula i modula za upravljanje zajednicom.



Slika 2. Arhitektura modela predložene platforme

Inicijalni trošak uspostave energetske zajednice dijeli se na mikro-zajmове predefiniiranog iznosa koji je predstavljen tokenom, ali broj tokena koji se može kupiti je ograničen (postoji donja i gornja granica). Time se onemogućuje opcija posjedovanja većinskog dijela tokena od strane jednog investitora i veću težinu glasa u fazi upravljanja uložnim sredstvima. Svaki investitor treba proći proceduru identifikacije u svrhu povezivanja s elektroničkim novčaniciima i osiguravanja da isti investitori ne koriste više elektroničkih novčanika. Sva uložena financijska sredstva zaključana su u pametnom ugovoru. Financijska sredstva mogu se otključati tek kada je postignut minimalni financijski cilj koji je postavljen pri objavljivanju pametnog ugovora. Ako cilj nije postignut, pametni ugovor osigurava povrat uložnih sredstava.

Faza konzumacije i upravljanja uložnim sredstvima automatski počinje kada prođe datum završetka prikupljanja sredstava i isključivo ako je postignut minimalni financijski cilj. Upravitelj zajednice može napraviti zahtjev za konzumaciju dijela prikupljenih sredstava, nakon čega investitori mogu sudjelovati u odlučivanju o opravdanosti troškova. Težina glasa investitora predstavljena je brojem tokena koje posjeduje. U ovom decentraliziranom modelu, ulagači koji žele aktivno sudjelovati u kampanji i utjecati na pozitivan ishod kampanje imaju različite mehanizme utjecaja na projekt: mogu glasovati u prijedlozima potrošnje te predlagati zaustavljanje i evaluaciju projekta. Nakon što prođe period povrata investicije, tokeni se koriste kao dokaz o ulaganju i mogu se zamijeniti za financijski profit u skladu s brojem tokena koje investitor posjeduje. Ako investitor ne želi čekati period povrata investicije, može prodati sve ili dio tokena na tržišnom modulu koji će biti modeliran kao pametni ugovor i dio investicijskog modula.

Kad su članovi energetske zajednice opremljeni solarnim panelima (eng. *PV – photo voltaic*), vjetroagregatima (eng. *WPP – wind power plant*) i raznim vrstama drugih fleksibilnih resursa, mogu započeti trgovati i dijeliti energiju među sobom i prodavati višak energije upravitelju zajednice. Upravitelj zajednice je odgovoran za pametno upravljanje proizvedenom energijom i komunikaciju s tržištem kada je to potrebno. Kao što se može vidjeti na slici 2, *korist* se definira kao zbroj dobiti ostvarene pametnim upravljanjem energetsom zajednicom (eng. *SECM – smart energy community management*) i troškova vođenja zajednice na „*business-as-usual*“ način poslovanja (BAU) s energijom kupljenom od opskrbljivača po *day-ahead* cijenama. Cilj članova energetske zajednice je smanjiti troškove opskrbe energije dijeljenjem viška energije unutar zajednice i prodajom upravitelju zajednice. Kao voditelj bilančne grupe, upravitelj zajednice ugovara prodaju / kupnju energije na tržištu dan-unaprijed za čitavu zajednicu i optimiziranjem fleksibilne imovine minimizira trošak uravnoteženja povećan zbog stohastičkog ponašanja obnovljivih izvora energije.

### 3.1. Investicijski modul

DL mreže mogu biti dizajnirane za korištenje u javnom ili privatnom okruženju. Javne mreže su obično spore i robusne (prikladno za slučajeve kada se DLT koristi kao registar vlasništva nad digitalnom imovinom) i imaju kriptovalutu ugrađenu u mrežu. S druge strane, privatne mreže su brže, ali uvode određeni stupanj centralizacije u sustav [17], [18]. Budući da je fokus investicijskog modula platforme transparentnost transakcija i podataka, te sigurnost zapisa o investiranju, javna platforma je pogodnija za predloženi model, a Ethereum, EOS i *Aeternity* [19] bit će razmatrane za implementaciju. Pametni ugovori koji će se implementirati modelirat će digitalni token, prodaju tokena, zaključavanje sredstava, upravljanje i glasovanje, tržište tokenima i mehanizme za povrat investicije. Token će biti definiran po uzoru na ERC20 standard [20], a broj tokena će biti unaprijed određen ovisno o financijskom cilju koji se želi postići. Pametni ugovor će biti definiran po uzoru na sigurnosne značajke koje su analizirane u [21], a predstavljaju najbolje sigurnosne prakse za upravljanje tokenima. Nakon što je financijski cilj ostvaren, uložena financijska sredstva se stavljaju u sef definiran pametnim ugovorom, a za vlasnika sefa se postavi pametni ugovor za upravljanje i glasovanje. Upravljanje financijskim sredstvima je dostupno upravitelju zajednice i svim investitorima dok se sva sredstva ne potroše ili ne prođe period povrata investicije. Investitori mogu dobiti udio u profitu tek nakon što prođe period povrata investicije, ili mogu prodati tokene na tržištu definiranom pametnim ugovorom.

### 3.2. Modul za pametno upravljanje

Mogućnost razmjene električne energije na razini energetske zajednice postaje sve popularnija. Članovi energetske zajednice najprije dijele višak proizvodnje međusobno, a zatim trguju s upraviteljem zajednice koji je odgovoran za opskrbu energije cijele zajednice. Članove zajednice se potiče na ulaganje u nove fleksibilne ili proizvodne jedinice koje ostvaruju profit nakon završetka razdoblja povrata ulaganja.

#### 3.2.1. Investicija u energetske zajednici

U ovom radu promatra se energetska zajednica s 25 domaćinstava. Ukupna veličina instaliranih PV-a na krovu je 135 kW, WPP 130 kW, a baterijskih spremnika (eng. *BS – battery storage*) 100 kWh. Troškovi ulaganja u PV i WPP su 1160 € / kW i 1300 € / kW [22], dok su u BS 155 € / kW [23]. Profil potrošnje članova zajednice i proizvodnja OIE kroz godine modelirani su s tri reprezentativna dana (ljetno, zima i prijelazno razdoblje) i 5 scenarija profila potražnje, proizvodnje PV i WPP za svaki reprezentativni dan. Različiti scenariji proizvodnje OIE predstavljeni su stvarnim podacima za pet uzastopnih dana proizvodnje WPP i PV preuzetih od belgijskog operatora elektroenergetskog sustava ELIA [24] i skalirani tako da odgovaraju veličini investicije, dok se profil potražnje potrošača generira internetskim alatom *Load*

*Profile Generator* [25]. Postotak profita za investitore je 5%, a upravitelj zajednice zadržava 3%, iako su moguće različite stope ovisno o financijskim ugovorima s upraviteljem zajednice.

### 3.2.2. Financijski operativni nivo platforme

Uspoređuje se nekoliko studija slučaja kako bi se optimiziralo razdoblje povrata investicije. U tradicionalnom „business as usual“ (BAU) pristupu potrošači nisu opremljeni nikakvim fleksibilnim jedinicama ili obnovljivim izvorima energije te kupuju energiju od opskrbljivača po dan-unaprijed određenim cijenama. S druge strane, u SECM scenarijima potrošači se potiče na neovisnost i stvaranje profita od dijeljenja energije s članovima zajednice i prodaje energije upravitelju zajednice. Upravitelj zajednice je odgovoran za ugovaranje energije na tržištu dan-unaprijed, kao i za kupnju ili prodaju viška energije.

Razmatraju se četiri scenarija SECM pristupa: u SECM1 energetska zajednica opremljena je PV, WPP i BS-om, u SECM2 članovi zajednice imaju samo obnovljive izvore, a u SECM3 WPP i BS. U SECM4 scenariju članove zajednice se potiče na investiranje u PV i BS. Funkcija cilja (1) minimizira troškove kupnje električne energije na tržištu dan unaprijed (1. član), maksimizira profit od prodaje (2. član) te minimizira troškove uravnoteženja (3. i 4. član):

$$\min \sum_{t \in T} \left[ p_t^{DAb} * E_t^{DAb} - p_t^{DAs} * E_t^{DAs} + \sum_{s \in S} \pi_s (p_t^{UP} * E_{s,t}^{UP} - p_t^{DOWN} * E_{s,t}^{DOWN}) \right] \quad (1)$$

$t \in T$  predstavlja sate u jednom danu,  $s \in S$  gore navedene scenarije.  $p_t^{DAb}$  i  $p_t^{DAs}$  su kupovne i prodajne cijene za dan-unaprijed, a  $E_t^{DAb}$  i  $E_t^{DAs}$  je zakupljena energija u dan-unaprijed fazi.  $\pi_s$  je vjerojatnost scenarija  $s$  i postavljen je na 0.2, odnosno svi scenariji imaju jednaku vjerojatnost ostvarenja.  $p_t^{UP}$  i  $p_t^{DOWN}$  su cijene uravnoteženja za regulaciju prema gore, odnosno dolje, a  $E_{s,t}^{UP}$  i  $E_{s,t}^{DOWN}$  su količine energije kupljene ili prodane na tržištu uravnoteženja.

## 4. REZULTATI

Rezultati troška/profita u tri reprezentativna dana prikazani su u tablici 1 za BAU i sva 4 SECM scenarija (negativni troškovi predstavljaju dobit):

Tablica 1. Trošak za reprezentativne dane za BAU i SECM scenarije

Trošak u EUR (€)	BAU	SECM1	SECM2	SECM3	SECM4
<b>Ljeto</b>	33.07	-48.20	-25.40	-1.47	3.50
<b>Zima</b>	49.50	-42.73	-22.06	-21.49	40.90
<b>Prijelazno razdoblje</b>	35.14	-47.51	-14.75	5.78	7.38

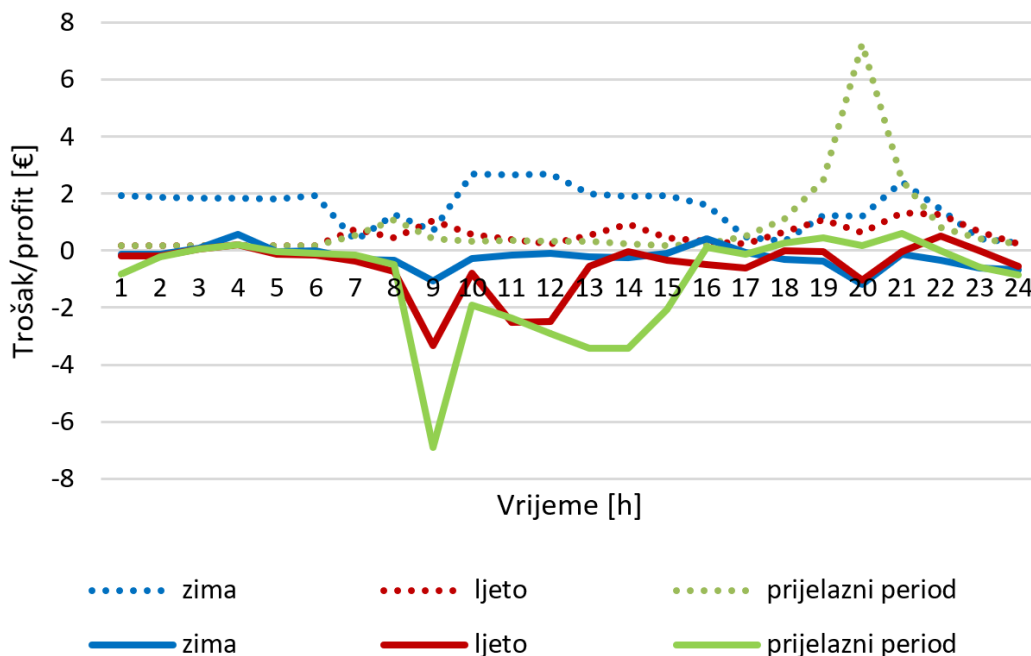
Tablica 2. Period povrata investicije i period profita od 8%

Period (u godinama)	SECM1	SECM2	SECM3	SECM4
<b>Povrat investicije</b>	11.03	15.47	12.28	20.16
<b>Profit 8%</b>	11.91	16.71	13.26	21.77

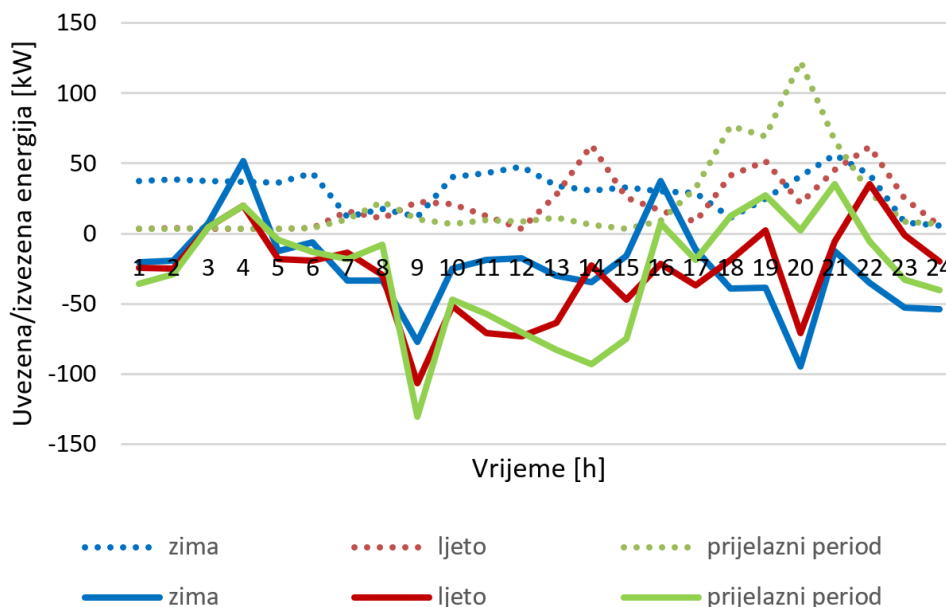
Kao što je vidljivo iz tablice 1, najveći profit ostvaren je u scenariju SECM1. Iz tablice 2 vidljiv je period od 11 godina za povrat investicije (SECM1), odnosno investitori moraju čekati dodatno manje od godinu dana za ostvarenje profita od 5%. Iako je profit u SECM2 veći nego u SECM3, druga najprofitabilnija

investicija je u scenariju SECM3 (BS i WPP) s periodom povrata investicija od 12 godina i 4 mjeseca, zbog toga što je iznos investicije za SECM2 325.600,00 €, a za SECM3 3.184.500,00 €. Najmanje profitabilna investicija je u scenariju SECM4 s periodom povrata investicije od 20 godina.

Slika 3 predstavlja prosječan dnevni trošak u eurima (profit u slučaju negativnog iznosa) za potrošače u energetske zajednici za 3 reprezentativna dana u BAU (iscrtkane linije) i SECM1 (podebljane linije) scenarijima, a slika 4 predstavlja uvezenu energiju u zajednicu (izvezenu u slučaju negativnog iznosa).



Slika 3. Usporedba troška i profita u BAU i SECM1 scenarijima. Iscrtkane linije predstavljaju BAU, a podebljane linije SECM scenarij.



Slika 4. Razmjena energije s opskrbljivačem i upraviteljem zajednice za BAU i SECM1 scenarij. Iscrtkane linije predstavljaju BAU, a podebljane linije SECM scenarij.

Iznosi na slikama odnose se na prosječne vrijednosti po promatranim scenarijima za trošak i energiju. Kao što se može primijetiti, zajednica ostvaruje najveći profit tijekom ljeta i prijelaznog razdoblja

kada je PV proizvodnja veća u usporedbi sa zimskim periodom. Iako je proizvodnja WPP-a zimi velika, isprekidana je u usporedbi s PV proizvodnjom i pojavljuju se veći troškovi uravnoteženja.

## 5. ZAKLJUČAK

Ovaj rad predstavlja modularnu investicijsku platformu na DLT platformi dopunjenoj pametnim sustavom upravljanja fleksibilnim resursima u zajednici. Platforma je modelirana pametnim ugovorima koji jamče transparentnost ulaganja i potrošnje, kao i mehanizmima za utjecaj na rezultat uspješnosti formiranja zajednice.

Upravitelj zajednice osigurava korist za investitore definirajući postotak od inicijalne investicije koji će se isplatiti od prihoda dobivenih pametnim upravljanjem fleksibilnim resursima. Kako bi se minimizirao period povrata investicije, model definiran u ovom radu optimizira raspored punjenja i pražnjenja baterija uzimajući u obzir stohastičku prirodu instaliranih OIE u energetske zajednici, kao i potrošnju potrošača. Upravitelj zajednice je zadužen za kupnju i prodaju energije za cijelu zajednicu kroz trgovanje na tržištu dan-unaprijed. Kako bi se osigurala bolja pozicija u fazi trgovanja na tržištu dan-unaprijed i smanjili troškovi uravnoteženja, upravitelj zajednice optimalno raspoređuje baterijske spremnike u zajednici.

## ZAHVALE

Istraživanje je provedeno u sklopu projekta IT rješenje analitike velikih skupova podataka emobilnosti (bigEVdata) koji je sufinancirala Europska unija iz europskih strukturnih i investicijskih fondova.



Sadržaj publikacije isključiva je odgovornost autora.

## 5. LITERATURA

- [1] M. Andoni, V. Robu, D. Flynn, S. Abram, D. Geach, D. Jenkins, P. McCallum, and A. Peacock, "Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 100, no. October 2018, pp. 143–174, 2019.
- [2] I. Kounelis, G. Steri, R. Giuliani, D. Geneiatakis, R. Neisse, and I. Nai-Fovino, "Fostering consumers' energy market through smart contracts," in *2017 International Conference in Energy and Sustainability in Small Developing Economies (ES2DE)*, July 2017, pp. 1–6.
- [3] S. Jeong, N. Dao, Y. Lee, C. Lee, and S. Cho, "Blockchain based billing system for electric vehicle and charging station," in *2018 Tenth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN)*, July 2018, pp. 308–310.
- [4] "Blockchain & Energy in Europe", dostupno na poveznici: <https://www.solarplaza.com/channels/future-grid/11969/blockchain-energy-europe/>
- [5] "PowerLedger - Energy, reimagined," <https://www.powerledger.io/>
- [6] "Pylon Network - The Green Energy Economy is Here," <https://pylon-network.org/>
- [7] C. Plaza, J. Gil, F. De Chezelles, and K. A. Strang, "Distributed Solar Self-Consumption and Blockchain Solar Energy Exchanges on the Public Grid Within an Energy Community," *Proceedings - 2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe, IEEEIC/I and CPS Europe 2018*, 2018.
- [8] B. Cornélusse, D. Ernst, and S. Lachi, "Optimal operation and fair profit allocation in community microgrids," in *Proceedings of CIRED Workshop 2018*, 2018.
- [9] C. Zhang, J. Wu, M. Cheng, Y. Zhou, and C. Long, "A Bidding System for Peer-to-Peer Energy Trading in a Grid-connected Microgrid," *Energy Procedia*, vol. 103, no. April, pp. 147–152, 2016.
- [10] E. Mengelkamp, J. G"arttner, K. Rock, S. Kessler, L. Orsini, and C. Weinhardt, "Designing microgrid energy markets: A case study: The Brooklyn Microgrid," *Applied Energy*, vol. 210, pp. 870–880, 2018.
- [11] S. Nakamoto, "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System," dostupno na poveznici: <https://www.bitcoin.org>
- [12] V. Buterin, "A next-generation smart contract and decentralized application platform," <https://github.com/ethereum/wiki/wiki/White-Paper>
- [13] EOSIO, "EOS.IO Technical White Paper," dostupno na poveznici: <https://github.com/EOSIO/Documentation/blob/master/TechnicalWhitePaper.md>
- [14] S. Popov, "The Tangle," 2018. dostupno na poveznici: <https://iota.org/IOTA/Whitepaper.pdf>
- [15] C. Lemahieu, "Nano : A Feeless Distributed Cryptocurrency Network," 2014.
- [16] A. Churyumov, "Byteball: A Decentralized System for Storage and Transfer of Value," 2016, dostupno na poveznici: <https://obyte.org/Byteball.pdf>
- [17] S. Rouhani and R. Deters, "Performance analysis of ethereum transactions in private blockchain," in *2017 8th IEEE International Conference on Software Engineering and Service Science (ICSESS)*, Nov 2017, pp. 70–74.
- [18] Simon Albrecht et al., "Dynamics of blockchain implementation a case study from the energy sector," in *Proceedings of the 51st Hawaii International Conference of System Sciences*, 2018, pp. 3527–3536.
- [19] Aeternity, "Aeternity blockchain: Scalable smart contracts interfacing with real-world data," 2018. Dostupno na poveznici: <https://aeternity.com/>
- [20] F. Vogelsteller and V. Buterin, "ERC-20 Token Standard," dostupno na poveznici: <https://github.com/ethereum/EIPs/blob/master/EIPS/eip-20.md>
- [21] A. Hrga, F. M. Benčić, and I. Podnar Žarko, "Technical analysis of an initial coin offering," in *Proceedings of the 15th International Conference on Telecommunications*, July 2019, pp. 1–8.
- [22] T. I. R. E. Agency, "A behind the scenes take on lithium-ion battery prices," 2018. Dostupno na poveznici: <https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices>



- [23] L. Goldie-Scot, “ Renewable power generation costs in 2017”, Dostupno na poveznici: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Jan/IRENA\\_2017\\_Power\\_Costs\\_2018.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Jan/IRENA_2017_Power_Costs_2018.pdf)
- [24] “Belgium’s electricity transmission system operator,” 2019. Dostupno na poveznici: <http://www.elia.be/>
- [25] “Load profile generator,” 2019. Dostupno na poveznici: <https://www.loadprofilegenerator.de/>