

# Upotreba blockchain tehnologije u mjernim sustavima

---

**Maurer, Fran**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:415644>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-22**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

**Sveučilišni studij**

**Upotreba blockchain tehnologije u mjernim sustavima**

**Završni rad**

**Fran Maurer**

**Osijek, godina. 2024.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac Z1P: Obrazac za ocjenu završnog rada na sveučilišnom prijediplomskom studiju****Ocjena završnog rada na sveučilišnom prijediplomskom studiju**

<b>Ime i prezime pristupnika:</b>	Fran Maurer
<b>Studij, smjer:</b>	Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
<b>Mat. br. pristupnika, god.</b>	4554, 24.07.2018.
<b>JMBAG:</b>	0165077818
<b>Mentor:</b>	prof. dr. sc. Kruno Miličević
<b>Sumentor:</b>	izv. prof. dr. sc. Mirko Köhler
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Naslov završnog rada:</b>	Upotreba blockchain tehnologije u mjernim sustavima
<b>Znanstvena grana završnog rada:</b>	Elektrostrojarstvo (zn. polje elektrotehnika)
<b>Zadatak završnog rada:</b>	Analizirati mogućnost primjene blockchain tehnologije u mjernim sustavima. Napraviti pregled trenutnih rješenja te identificirati moguće probleme za realizaciju u budućnosti.
<b>Datum prijedloga ocjene završnog rada od strane mentora:</b>	30.09.2024.
<b>Prijedlog ocjene završnog rada od strane mentora:</b>	Dovoljan (2)
<b>Datum potvrde ocjene završnog rada od strane Odbora:</b>	03.10.2024.
<b>Ocjena završnog rada nakon obrane:</b>	Dovoljan (2)
<b>Datum potvrde mentora o predaji konačne verzije završnog rada čime je pristupnik završio sveučilišni prijediplomski studij:</b>	04.10.2024.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****IZJAVA O IZVORNOSTI RADA**

Osijek, 04.10.2024.

<b>Ime i prezime Pristupnika:</b>	Fran Maurer
<b>Studij:</b>	Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
<b>Mat. br. Pristupnika, godina upisa:</b>	4554, 24.07.2018.
<b>Turnitin podudaranje [%]:</b>	5

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Upotreba blockchain tehnologije u mjernim sustavima**

izrađen pod vodstvom mentora prof. dr. sc. Kruno Miličević

i sumentora izv. prof. dr. sc. Mirko Köhler

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.

Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis pristupnika:

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
1.1. Zadatak završnog rada .....	1
<b>2. Pregled područja teme .....</b>	<b>1</b>
<b>3. Blockchain tehnologija.....</b>	<b>2</b>
3.1. Bitna svojstva blockchain tehnologije.....	2
3.2. Ključne komponente blockchain tehnologije .....	3
3.3. Vrste blockchain mreža .....	4
3.4. Kako Blockchain tehnologija radi .....	5
<b>4. Blockchain tehnologija u sustavima pametnih mreža za distribuciju.....</b>	<b>6</b>
4.1. Primjena blockchain tehnologije u otkrivanju anomalija u električnom sustavu.....	6
4.2. Analiziranje problema .....	7
<b>5. Wattcoin tehnologija .....</b>	<b>8</b>
5.1. Dinamičko određivanje cijena pri korištenju IoT-a i blockchain tehnologije .....	8
5.2. Naplata energije pomoću P2P Wattcoin tehnologije .....	9
5.3. Više o Wattcoin primjeni.....	10
<b>6. Blockchain rješenje za mjerenje potrošnje struje i vode u Abu Dhabiju .....</b>	<b>11</b>
<b>7. Zaključak .....</b>	<b>13</b>
<b>8. Literatura.....</b>	<b>14</b>
<b>Sažetak.....</b>	<b>15</b>
<b>Ključne riječi .....</b>	<b>15</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>15</b>
<b>Key words.....</b>	<b>15</b>

# 1. UVOD

Blockchain tehnologija predstavlja, najjednostavnije rečeno, distribuiranu bazu podataka odnosno popis, na mreži u kojoj sudionici imaju određena prava. Informacije se spremaju u blokove koji su međusobno povezani. Podatci koji se spremaju na blokove su vrlo sigurni, jer potrebna je autorizacija svih ili većine članova mreže da bi se podatci dodavali. Rezultat te visoke razine sigurnosti jest da je blockchain tehnologija dobar kandidat da se stvori siguran zapis nekog slijeda informacija kojeg mogu pratiti svi članovi određene mreže. Blockchain tehnologija ima već unaprijed ugrađena svojstva koja sprječavaju neautorizirane upise podataka i time daje svojim korisnicima visoku razinu pouzdanosti u njihove komunikacije odnosno transakcije. Blockchain tehnologija sa svojim svojstvima sigurnih informacija i povjerljivosti je privlačna u raznim područjima poput financija.

Decentraliziranost u blockchain tehnologiji znači da ne postoji treće strana koja upravlja zajedničkim popisom već članovi određene mreže pristupaju svojevolarno i sami upravljaju popisom. Prednost je velika u tome da koristeći blockchain tehnologiju, svaki od članova određene mreže ima u interesu da bude pošten, jer su bilo kakve malverzacije nemoguće ili vrlo zahtjevne. Jedno od glavnih svojstava zbog kojeg bi blockchain tehnologija bila zanimljiva u mjeriteljstvu su njegova svojstva jasnosti transakcija (sljedivost), nepromijenjivosti sadržaja zajedničkog popisa [1]. Postoje očiti trendovi u razvoju tehnologije općenito a to jest da se sve manje koristi papir a sve više se digitalizira prikupljanje i analiziranje podataka. Iot (Internet of things) je jedan od najboljih primjera sve veće digitalizacije svijeta [2]. Stav iz rada [1] je očit da će za mjeriteljstvo sve više biti bitnija umjetna inteligencija i da će njezina svojstva biti sve bitnija pri umjeravanju instrumenata.

## 1.1. Zadatak završnog rada

Analizirati mogućnost primjene blockchain tehnologije u mjernim sustavima. Napraviti pregled trenutnih rješenja te identificirati moguće probleme za realizaciju u budućnosti.

## 2. Pregled područja teme

U ovome radu će se analizirati primjena blockchain tehnologije u nekim mjernim sustavima, ponajviše u mjernim sustavima distribucije i naplate energije. U prvom dijelu rada opisat će se ona svojstva koja se smatraju da su najbitnija o blockchain tehnologiji [3]. U drugome dijelu opisat će se neki problemi u pametnim sustavima distribucije električne energije [4]. Pod pametnim

sustavom podrazumijevamo takav sustav distribucije električne energije, da su i opskrbljivači i kupci spojeni na Internet ili spojeni na neki način na koji bi mogli zajednički komunicirati i izmjenjivati podatke. Pojasnit će se nove primjene blockchain tehnologije, poput sustava za otkrivanje anomalija poput zlonamjerne krađe [5]. U trećem dijelu rada opisat će se sustav gdje i kako se plaćanja energije mogu vršiti unaprijed [6]. Opisat će se sustav Wattcoin, koncepti poput dinamičkih cijena te moguće primjene blockchain tehnologije i Industry 4.0 rješenja u pametnim sustavima za naplatu energije [6]. U četvrtome dijelu rada opisat će se pametno i blockchain rješenje za probleme naplate komunalnih usluga u UAE [2]. Bit će istražen sustav u kojem svi članovi mreže komuniciraju pomoću blockchain tehnologije te pokušavaju dobiti maksimalnu korist jedni od drugih [2]. Istražit će se sustav gdje korisnici komunalnih usluga poput struje, imaju prilike kupiti uređaje za smanjenje električne energije te pretplate na sustav pružatelja komunalnih usluga s svrhom smanjenja cijena [2].

### **3. Blockchain tehnologija**

#### **3.1. Bitna svojstva blockchain tehnologije**

Uzet ćemo za početak slijedeća blockchain svojstva; decentralizacija, nepromjenjivost i konsenzus. Decentralizacija označava svojstvo prebacivanja kontrole i donošenja odluka, za upravljanje određenom mrežom, iz ruku neke središnje organizacije, u ruke samih članova mreže, odnosno u distribuiranu mrežu [7]. Decentralizirane mreže koriste transparentnost pri donošenju odluka, sa svrhom smanjenja potrebe za povjerenjem među članovima [3]. Ovo svojstvo uvjerava članove da imaju povjerenja sudjelovati u transakcijama i s drugim nepoznatim članovima [7]. Mreže isto na taj način sprječavaju članove da upravljaju mrežama na načine koji bi poremetili funkcionalnosti same mreže [8]. Nepromjenjivost se odnosi na svojstvo nemogućnosti promijene samih transakcija koje su upisane, nakon što je ona upisana na zajednički popis.

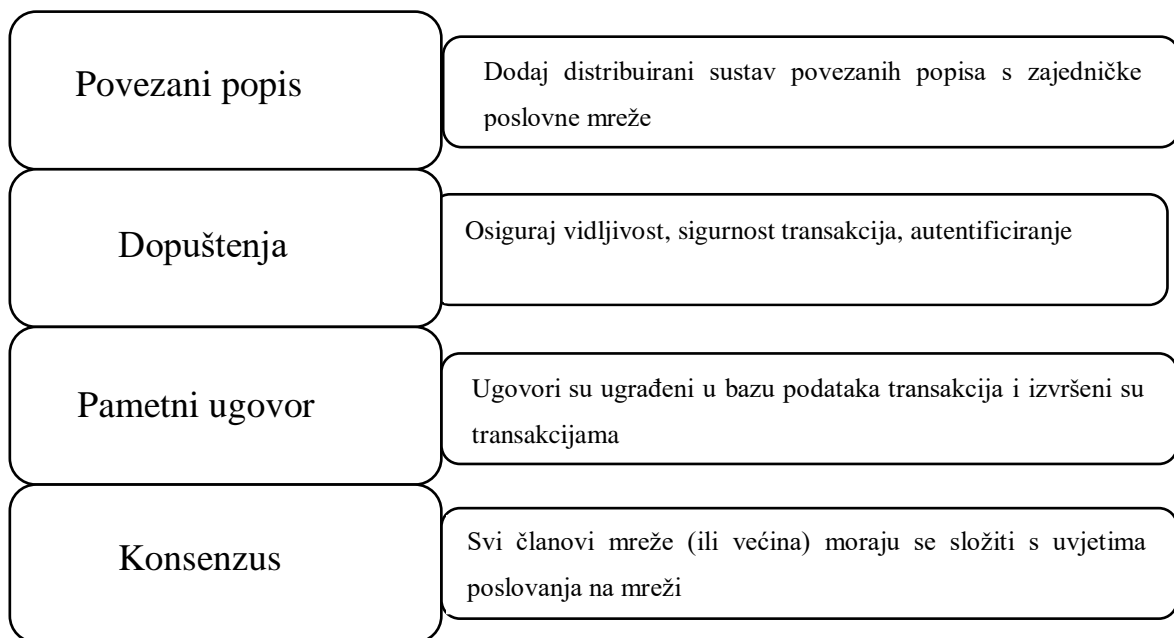
Konsenzus se odnosi na svojstvo postavljanja pravila na koji korisnici mreže zapisuju podatke na zajednički popis [7]. Određeni korisnik može zapisati svoje podatke na zajednički popis, tek nakon što dobije autorizaciju ostalih članova mreže. Mehanizmi konsenzusa su drugačiji od jedne blockchain tehnologije do druge, ali za većinu koriste se slijedeći; „proof of stake“, „proof of work“ i „proof of authority“ [3].

„Proof of stake“ funkcionira na način, da bi transakcija nekog člana bili valjana, on mora posjedovati određeni udio u samoj mreži [9]. Proof of stake mehanizam može dodat povećanu

zaštitu od neželjenih upada smanjivanjem razloga za upad, jer su troškovi za autorizaciju transakcija vrlo često značajni.

Proof of work metoda funkcionira na način da mreža poziva čvorove mreže da riješe složenu zagonetku na temelju svoje verzije popisa. [3] Bitcoin kriptovaluta koristi ovu metodu. Na slici 1. možemo vidjeti prikaz ovih svojstava i njihove zadaće.

U mrežama zasnovanim na Proof of authority metodi, transakcije i blokovi dobivaju autorizaciju od strane odobrenih članova mreže koji su poznati kao validatori. Validatori pokreću softver koji im omogućuje stavljanje transakcija u blokove [10]. Proces je automatiziran i ne zahtijeva da validatori stalno nadgledaju svoje računalo. U proof of authority sustavu, pojedinci zarađuju pravo postati validatori, tako da postoji poticaj da zadrže poziciju koju su stekli. Povezivanjem ugleda s identitetom, provjeravači su poticani da poštuju proces transakcije, jer ne žele da njihovi identiteti budu povezani s negativnom reputacijom [10]. PoA je pogodan za privatne i javne mreže [10].



Slika 1. Ključni koncepti pri radu s blockchain tehnologijom [3]

### 3.2. Ključne komponente blockchain tehnologije

Kao ključne komponente blockchaine izdvojit ćemo sljedeće: distribuirani popis, pametni ugovori i kriptografija javnog ključa [7].

Distribuirani popis je zajednička baza podataka u blockchain mreži koja pohranjuje transakcije, kao što je zajednička datoteka koju svatko u mreži može uređivati. Općenito, distribuirani popis zahtijeva računalnu peer-to-peer mrežu i algoritme konsenzusa kako bi se popis pouzdano replicirao na distribuiranim računalnim čvorovima [8]. Podatci distribuiranog popisa obično su



rasprostranjeni na više čvorova (računalnih uređaja) na P2P mreži, gdje svaki replicira i čuva identičnu kopiju podataka popisa i ažurira se neovisno o drugim čvorovima [9].

Članovi mreže koristit će pametne ugovore, da bi olakšali transakcije između sebe bez potrebe uvođenja treće strane [7]. To su programi pohranjeni na blockchain mreži koji se pokrenu automatski kada su unaprijed određeni uvjeti ispunjeni. Oni provjeravaju, najčešće, if-then uvjete kako bi transakcije mogle biti izvršene pouzdano. Na primjer, logistička tvrtka može imati pametni ugovor koji automatski izvršava plaćanje nakon što roba stigne u luku [3]. Pametni ugovor bi mogao automatski, na primjer u aerodromima, definirati uvjete putnog osiguranja pri slučaju da je let otkazan.

Kriptografija javnog ključa je sigurnosna značajka koja jedinstveno identificira sudionike u mreži blockchaina [9]. Ovaj mehanizam stvara dva para ključeva za članove mreže. Jedan ključ je javni ključ koji je poznat svima u mreži. Drugi je privatni ključ koji treba biti sigurno lokalno pohranjen za svakog člana. Privatni i javni ključevi rade zajedno da otključaju podatke [7]. Na primjer, Alice i Bob su dva člana mreže. Alice bilježi transakciju koja je šifrirana njenim privatnim ključem. Bob je može dešifrirati javnim ključem. Na ovaj način, Bobu je potvrđeno da je Alice napravila transakciju.

### **3.3. Vrste blockchain mreža**

Uzet ćemo za analizu četiri vrste blockchain mreža; javne blockchain mreže, privatne blockchain mreže, hibridne blockchain mreže i konzorcijske blockchain mreže [9].

Javna blockchain mreža je ona u kojoj se svatko može pridružiti i sudjelovati, kao što je Bitcoin. Svi članovi mreže imaju jednaka prava čitanja, uređivanja i potvrđivanja transakcija [7]. Korisnici najčešće koriste javne blockchainove za razmjenu i rudarenje kriptovaluta poput Bitcoina, Etheruma i Litecoina [7]. Nedostatci mogu uključivati značajnu računalnu snagu (koja je potrebna u slučaju proof of work algoritma), malu ili nikakvu privatnost za transakcije i slabu sigurnost.

Privatna blockchain mreža, slična javnoj blockchain mreži, je decentralizirana peer-to-peer mreža. Međutim, jedna organizacija upravlja mrežom, kontrolira tko može sudjelovati, vodi konsenzusni protokol i održava zajednički popis [7]. Ovisno o svrsi, to može značajno povećati povjerenje među sudionicima [9]. Za privatne blockchain mreže kažemo da su samo djelomično decentralizirane jer imaju ograničenja pristupa.

Hibridne blockchain mreže kombiniraju svojstva privatnih i javnih mreža. Tvrtke mogu uspostaviti privatne mreže zasnovane na dozvolama u javnoj mreži. Na taj način, one kontroliraju

pristup određenim podacima pohranjenim u blockchainu, dok ostatak podataka zadržavaju u javnosti [7]. Na primjer, mreža bi bila javna, u smislu da bi pristup mreži svima bio otvoren, ali samo bi određeni korisnici, imali prava poput autorizacije transakcija. Hibridne blockchain mreže koriste pametne ugovore kako bi omogućili javnim članovima da provjere jesu li privatne transakcije završene [3]. Na primjer, hibridne blockchain mreže mogu omogućiti javni pristup digitalnoj valuti, a pritom držati privatnu valutu u vlasništvu banke.

Konzorcijske blockchain mreže mogu dijeliti odgovornost održavanja blockchaina. Unaprijed odabrane organizacije određuju tko podnosi transakcije ili pristupa podacima. Konzorcijski blockchain je primjeren za poslovanje kada svi sudionici moraju biti odobreni i imati zajedničku odgovornost za blockchain [9]. Industrije u kojima mnoge organizacije imaju zajedničke ciljeve i imaju koristi od zajedničke odgovornosti često preferiraju konzorcijske blockchain mreže [7]. Na primjer Global Shipping Business Network Consortium je neprofitni blockchain consortium koji ima za cilj digitalizaciju pomorske industrije i povećanje suradnje između operatora pomorske industrije.

### **3.4. Kako Blockchain tehnologija radi**

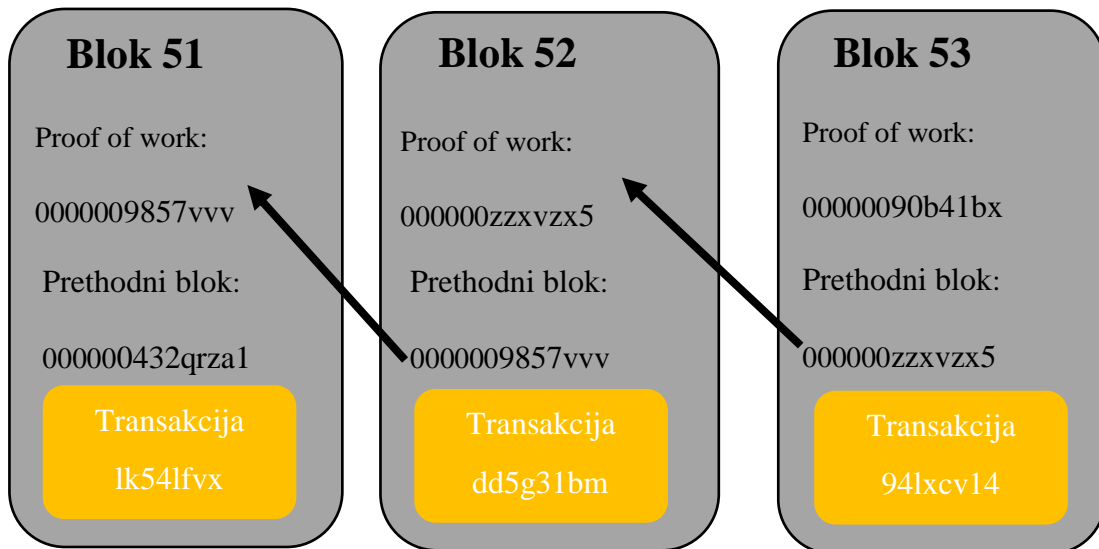
Najosnovnije djelovanje blockchaina možemo objasniti s četiri koraka [7].

U prvome koraku se transakcija zapiše. Blockchain transakcija pokazuje kretanje digitalne imovine od jedog korisnika do drugog u blockchain mreži [3]. To se bilježi kao blok podataka. Zabilježiti će se podatci poput; tko je sudjelovao u transakciji, što se dogodilo tijekom transakcije, kada se dogodila, zašto se dogodila i koja imovina se nalazi u transakciji [9].

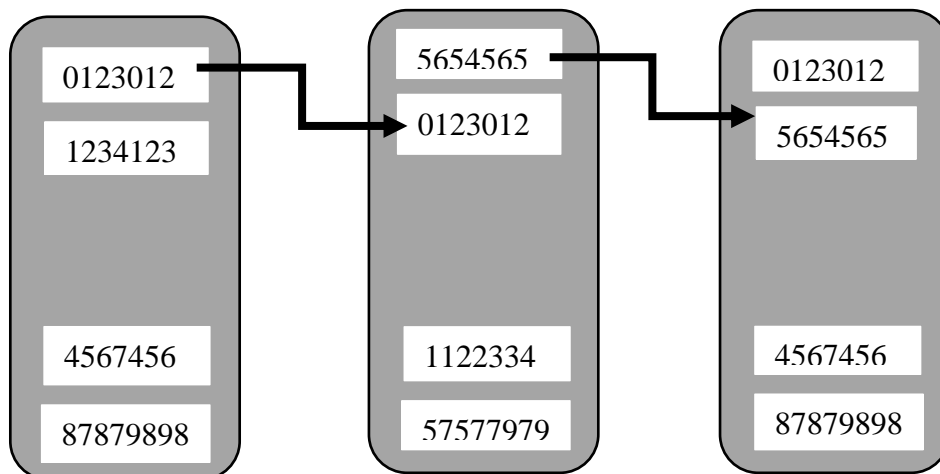
Drugi korak se sastoji od ostvarivanja konsenzusa, odnosno većina sudionika u distribuiranoj mreži blockchaina mora se složiti da je zabilježena transakcija valjana. U zavisnosti od vrste mreže, pravila konsenzusa mogu se razlikovati, ali se obično utvrđuju pri uspostavljanju mreže [7].

Treći korak se odnosi na proces povezivanja blokova. Nakon što su članovi mreže postigli konsenzus, transakcije na blockchainu zapisuju se u blokove [9]. Zajedno s transakcijama, kriptografski hash je također priložen novom bloku. Hash djeluje kao lanac koji povezuje blokove zajedno. Ako se sadržaj bloka namjerno ili nenamjerno mijenja, vrijednost hash-a se mijenja, pružajući način za otkrivanje promjene podataka [3]. Tako su blokovi i lanci sigurno povezani, i ne možete ih mijenjati. Svaki dodatni blok jača provjeru prethodnog bloka i time cijelog lanca bloka. To je kao da se blokovi slažu jedan na drugog kako bi se napravio toranj [7]. Možete samo staviti blokove na vrh, a ako uklonite blok iz sredine tornja, cijeli toranj bi se srušio.

Četvrti korak bi bio dijeljenje popisa [7]. Sustav distribuira najnoviju kopiju središnjeg popisa svim korisnicima. Na slici 2. vidimo prikaz nekih podataka koji bi inače sadržavali. Na slici 3. možemo vidjeti jedan prikaz kako bi blokovi kopirali podatke jedan na drugog.



Slika 2. Prikaz jednog lanca blokova [3]



Slika 3. Prikaz kopiranja bloka [5]

## 4. Blockchain tehnologija u sustavima pametnih mreža za distribuciju

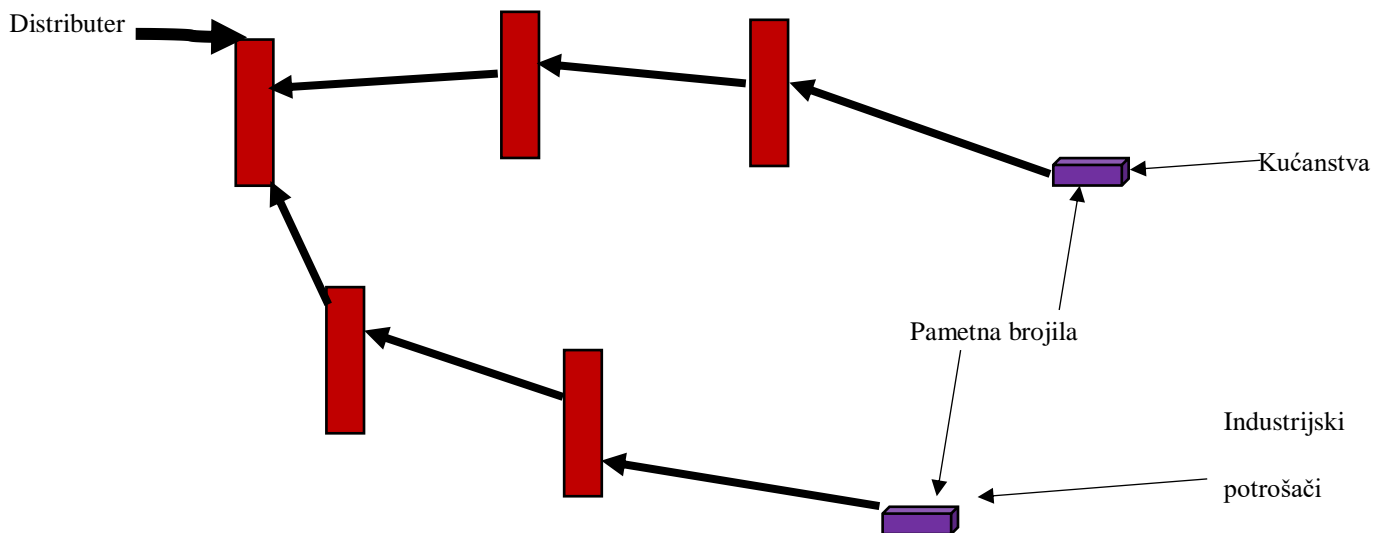
### 4.1. Primjena blockchain tehnologije u otkrivanju anomalija u električnom sustavu

Studija [5] je koristila blockchain tehnologiju pri praćenju, mjerenju električne energije, te otkrivanju abnormalnosti pri korištenju električne energije u industrijskim okruženjima.

Mjerenje i praćenje električne energije podrazumijeva otkrivanje krađe pri potrošnji električne energije. Cilj krađe je smanjiti novčane troškove potrošnje električne energije kroz fizičku manipulaciju u slučaju standardnih brojila. U slučaju pametnih brojila, manipulacija se može obaviti lokalno i daljinski. [6] Takva manipulacija dovodi do toga da brojač pokazuje netočnu vrijednost potrošnje energije. Blockchain je obećavajuća tehnologija koja može riješiti ova pitanja integriteta podataka i povjerljivosti koristeći kriptografske algoritme. [1] U radu [6] razmotrili su nekoliko postojećih modernih sustava za otkrivanje anomalija. Na temelju ograničenja na koje su naišli, predlaže se novi blockchainom inspiriran framework koji ima za cilj otkrivanje anomalija i odstupanja u električnoj energiji. Predlaže se najnovija tehnologija strojnog učenja, blockchaina i senzora. [6]

## **4.2. Analiziranje problema**

Studija [4] je ukazala na poteškoće koje su bile uzrokovane s velikom količinom podataka koju je stvorila primjena „Industry 4.0“ odnosno tehnologija poput Iot i blockchaina. Također je ista studija ukazala na probleme koje bi mogli nastati pri neispravnom djelovanju sustava u otkrivanju anomalija. Ova studija je proučila postojeće tehnike otkrivanja anomalija i predložila mehanizam otkrivanja koji koristi distribuiranu obradu senzorskih podataka, očitavanje s pametnih brojila kako bi se točno i učinkovito analizirale anomalije pri potrošnji energije [4]. Ovaj pristup koristi IoT izgrađen na blockchainu koji podržava distribuirano i kooperativno uklanjanje anomalija [5]. Prikaz ovog pristupa može se vidjeti na slici 4. Jedan od aspekata koji uključuje je prikupljanje podataka kao i otkrivanje anomalija s fazama takozvane predostrožnosti. U skladu s lokacijama senzora za izvještavanje o anomalijama, otkrivaju se same anomalije, te rudare s blockchaina kako bi se spriječili nepoželjni rezultati. Da bi se pronašle anomalije koje bi se mogle činiti normalne, koriste se metode rudarenja poput rudarenja podataka k-tog najbližeg susjeda. Ova tehnika se uspješno koristi da se otkriju anomalije u mrežama [4].



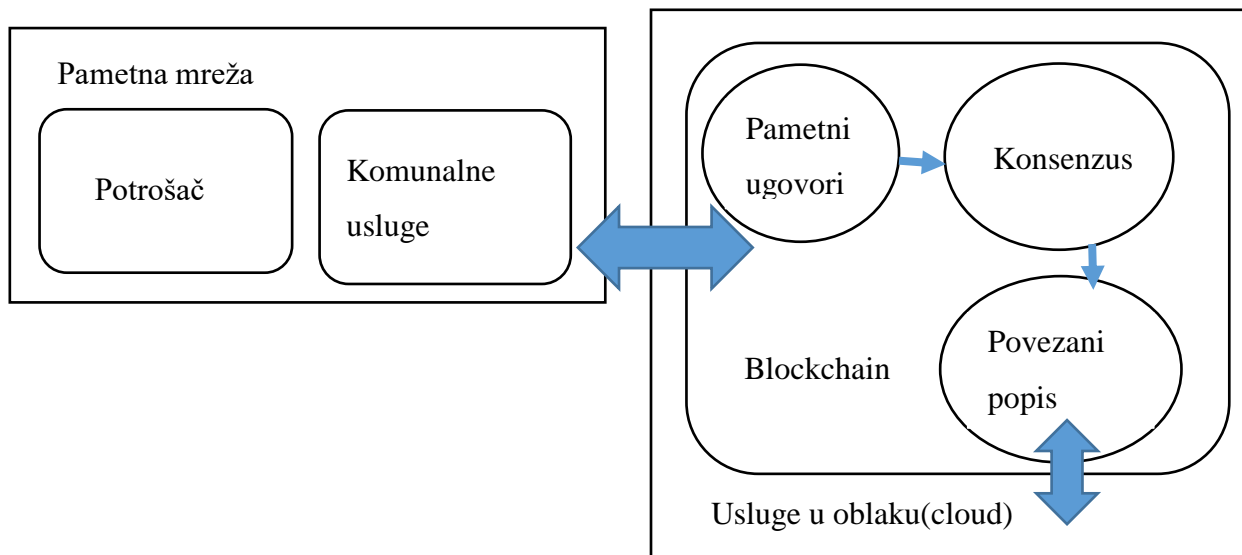
Slika 4. Prikaz arhitekture za otkrivanje anomalija u mreži [4]

Potrebna je bolja raspodjela energije kako bi se zadovoljili trenutni zahtjevi većih grupa elektroničkih uređaja. Službe za distribuciju energije mogu koristit pametne mreže za lakše distribuiranje energije svojim kupcima, u boljem skladu s njihovim potrebama [4]. Blockchain tehnologija je primamljiva jer se također izbjegava korištenje takozvanih posrednika pri provođenju algoritma distribucije [2]. Pametnim ugovorima mogla bi se cijena električne energije još smanjit. Pametni ugovori bi se poboljšali, tako da cijena po jedinici energije, može bit dinamički određena i može ovisit o obnovljivim izvorima energije, potrebi i samoj količini energije u cijelome sustavu [4].

## 5. Wattcoin tehnologija

### 5.1. Dinamičko određivanje cijena pri korištenju IoT-a i blockchain tehnologije

Sustav je automatiziran tako da se energija prenosi iz jednog kućanstava do drugog u skladu s njihovim potrebama [6]. Pametni ugovori se koriste za razmjenu energije nakon utvrđivanja potreba svakog kućanstva [6]. Slika 5.0 prikazuje način na koji bi se to moglo odvijati.



Slika 5. Prikaz modela dinamičkog Wattcoin sustava [6]

Dva glavna zaključka koja možemo donijet su da korištenje pametnih ugovora za automatizaciju postupka licitacije cijene energije je usko povezana s ponudom i potražnjom, i kombiniranje blockchain tehnologije i Hyperledger fabric-a, kupci bi mogli koristiti dinamičku naplatu na temelju ponude uz zadržavanje privatnosti, anonimnosti i tajnosti [4]. Najbolja primjena ovog načina naplate energije bi se mogla naći u zgradama gdje postoje više kućanstava, odnosno u zgradama koje imaju više stanova [6].

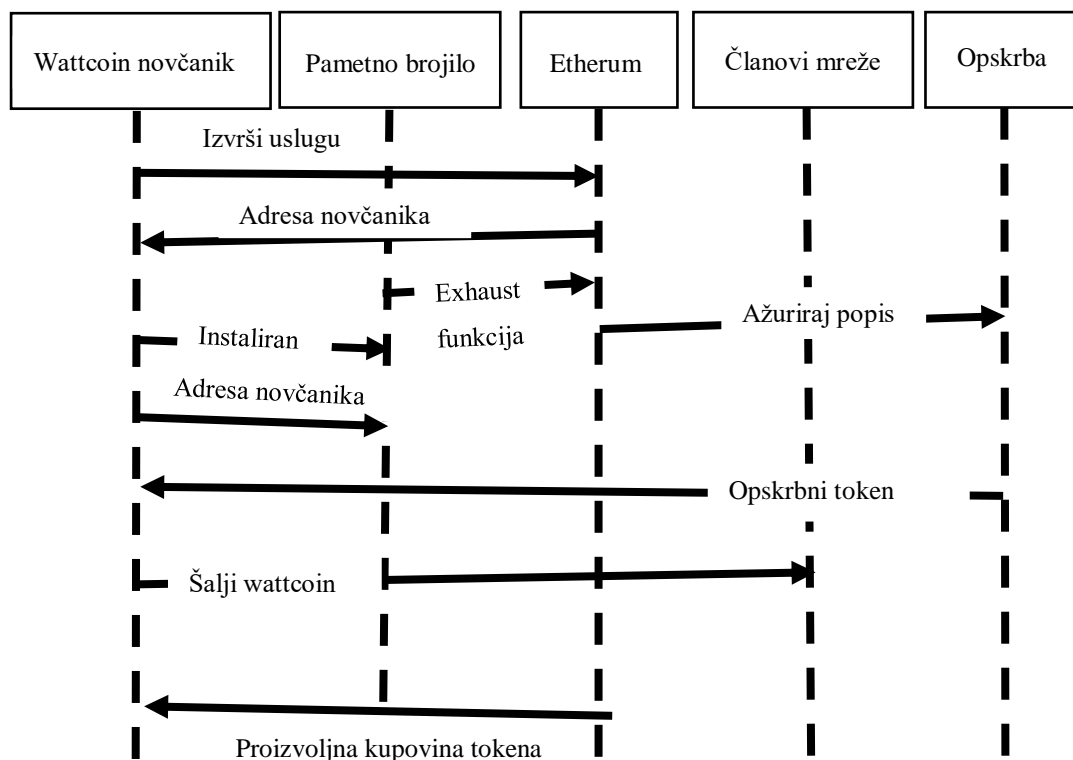
## 5.2. Naplata energije pomoću P2P Wattcoin tehnologije

Predviđanje potrošnje električne energije je zahtjevno i često nije točno [2]. Program plaćanja unaprijed bi mogao pružiti kućanstvima prednosti kod individualne potrošnje energije [11]. Uobičajeno, program plaćanja unaprijed se temelji na centraliziranom poslužitelju koji predviđa potrošnju, odnosno koji određuje koliko bi koje kućanstvo potrošilo energije [11]. Ova usluga je vrlo osjetljiva na sigurnosne prijetnje poput hakerskih napada. Stoga je predložen peer to peer dizajn naplate pomoću tokena, pri distribuciji električne energije [11]. U ovome sustavu, svakome korisniku se stvori novčanik pomoću kriptografskih tehnika, gdje bi svaki imao privatni i javni ključ te svoju adresu. Svaka transakcija se smatra završenom kada digitalni popis se autenticira s popisom u mreži. Postoje prednosti korištenja sustava, gdje se plaća unaprijed, kako za korisnike tako i za tvrtke zadužene za opskrbu [2]. Mjesečni troškovi se mogu predvidjeti za korisnike, a za opskrbljivače se mogu stabilizirati prihodi [6]. Kako bi se spriječile moguće prijetnje i kompromitiranja sustava, moramo biti sigurni da su podaci o transakcijama sigurni i pouzdani. Kako bi se omogućilo dijeljenje energije preko postojećeg sustava, moramo promijeniti sustav mjerenja preko tradicionalnih brojlara u moderniji sustav gdje se sredstva mogu dijeliti među

članovima iste razine i dopuštenja (peer) [11]. Ovaj tip sredstava se odnosi na digitalna sredstva i prelazi s jednog peer-a na drugi. Proces pretvorbe električne energije u digitalno sredstvo ćemo nazvati tokenizacija [11]. Pritom je Wattcoin kontroliran preko Wattcoin novčanika, odnosno preko mobilne aplikacije istog imena.

### 5.3. Više o Wattcoin primjeni

Većina brojila će morati biti spojeno na Internet, s svrhom spajanja i korištenja zajedničkih usluga [11]. Pomoću Wattcoin novčanika aplikacije, korisnik može kontrolirati Wattcoin transakcije. Na primjer korisnik može uključiti sistem očuvanja energije kada potražnja za energiju naraste iznad određenog praga. Kada korisnik postavi novu konfiguraciju preko aplikacije, podatci se mogu slati na mrežu i automatski ažurirati za sustav plaćanja unaprijed. U međuvremenu brojilo koje je zadužno za mjerenje prati potrošnju električne energije te ažurira podatke na mreži [6]. Na slici 6. možemo vidjeti prikaz Wattcoin transakcija.



Slika 6. Wattcoin transakcije [6]

Prije upotrebe, dva ugovora se stvore. Prvi je za praćenje vrijednosti na brojilu [11]. Dok je drugi ugovor za praćenje stanja ugovora kod korisnika. Da bi se transakcija potvrdila, digitalni potpis i javni ključ su dodani na ugovor [11]. To je zbog straha od potencijalnih napada na mrežu. Ugovor brojila je jednostavan za razumijeti. Brojilo za plaćanje unaprijed je implementirano kao Ethereum virtualna mašina, koja potpisuje i šalje transakcije koje sadrže vrijednosti javnog ključa i digitalnog popisa [11]. Nadalje svaki ugovor sadrži svoj adresu. Na taj način se može identificirati odakle se šalje zahtjev za izvršenje ugovora [9]. Exhaust funkcija je jedan od mehanizama kojim brojila automatski smanjuju broj Wattcoina u novčaniku s obzirom na potrošnju energije. S time postoji i exhaust račun, koji se nalazi kod opskrbljivača, tako da brojila automatski smanjuju broj Wattcoina u novčaniku i šalju Wattcoin opskrbljivaču.

## **6. Blockchain rješenje za mjerenje potrošnje struje i vode u Abu Dhabiju**

Ovo blockchain rješenje bi pratilo potrošnju vode i električne energije na razini potrošača, te bi im omogućilo bolji uvid i pregled pri plaćanju računa [2]. Funkcionira kao zajednički popis između „Abu Dabi distiribution company“, (operatera prijenosnog sustava) i komunalnog poduzeća zaduženog za uslugu vodovoda i „Ben Moosa“ trgovine, gdje bi korisnici imali priliku kupnje uređaja za smanjenje potrošnje energije [2]. U spoju s time, rješenje koje se predlaže, bi omogućilo potpunu transparentnost i pouzdanost između različitih članova mreže i kontrolu blockchain mreže. Nadalje predloženo rješenje bi išlo u korak s inicijativom Ujedenjenih Arapskih Emirata o smanjenju potrošnje papira [2]. Svaki sudionik u tradicionalnim informacijskim sustavima ažurira svoje poslovne knjige kako bi pratio poslovne transakcije [8]. Ovaj proces je skup, zbog čestog udvostručavanja napora i zbog povećeg broja posrednika koji povećavaju maržu. Budući da svaka mreža udvostručuje svoje uvjete poslovanja to na kraju ispadne kao vrlo neučinkovito rješenje [12]. Također, jer se oslanja na centralizirani sustav, kao što je banka, on je sklon kibernetičkim prijetnjama [2]. Takvim sustavima često nedostaje sljedivosti i povjerenje svakog sudionika. Poslovna mreža koja je predložena se sastoji od sljedećih sudionika: tvrtke za distribuciju Abu Dhabija(ADDC), tvrtke Ben Moosa koja prodaje uređaje za uštedu energije i kartice za popuste Fazza koja svojim članovima nudi usluge s popustom na temelju mjesečne pretplate, te kupca koji želi kupiti usluge vode i struje ili uređaj za uštedu energije [2]. Korisnik bi prvo trebao naručiti uređaj za uštedu energije, ADDC bi nakon toga trebao potvrditi narudžbu uređaja. Nakon toga Ben Mossa bi trebao ažurirati status narudžbe i procesirati ju [2]. Korisnik bi nakon toga trebao moći



plaćati svoje račune ADDCu. Korisniku bi se također dala mogućnost kupovanja Fazza kartice, odnosno trebao bi imati pristup mogućnosti za jeftinije energente.

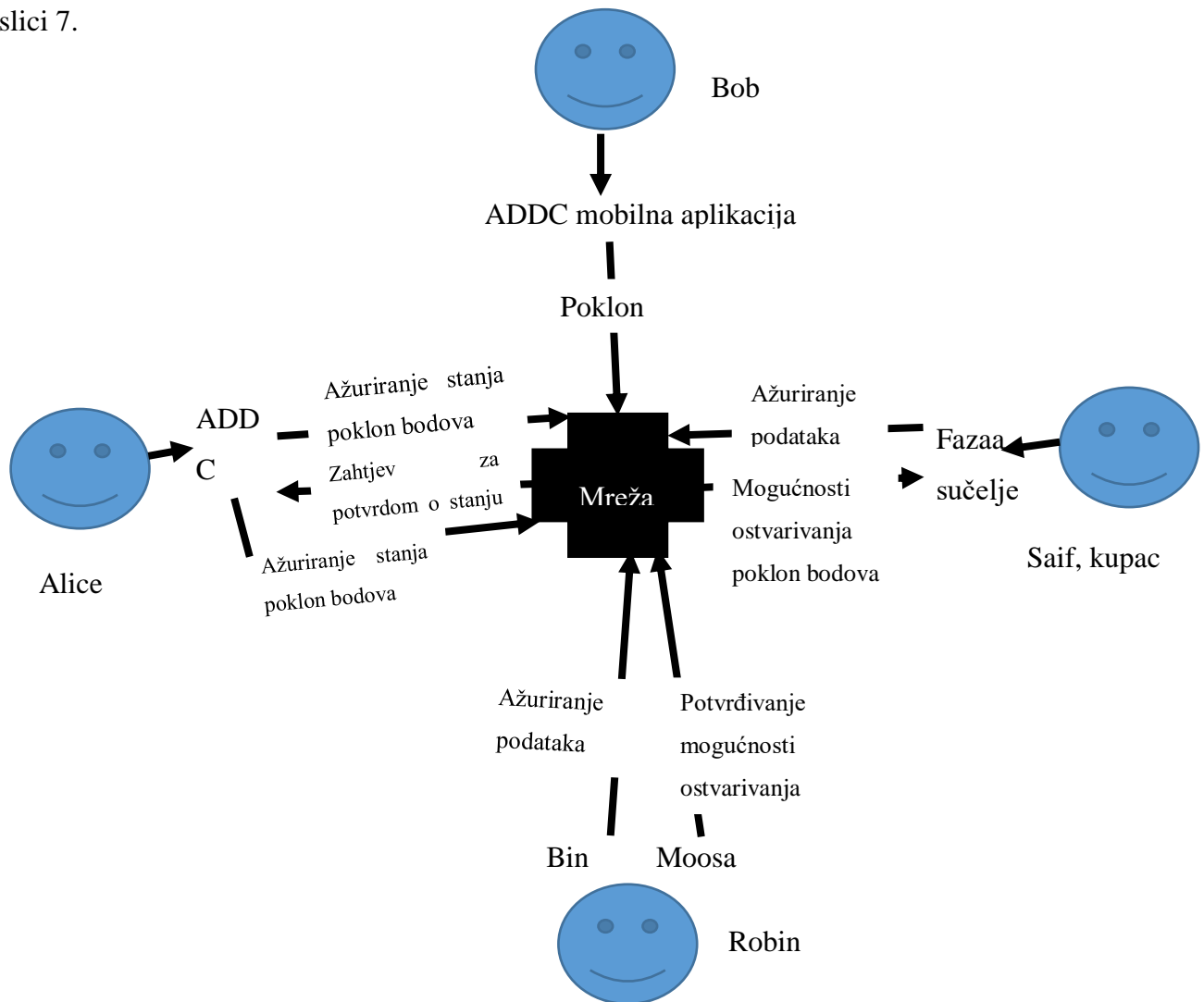
Sudionici u blockchain rješenju bi trebali imati pristup Blockchain WE mobilnoj aplikaciji, odnosno način na koji mogu plaćati račune, poslati narudžbe i provjeriti status istih [2]. Ben Moosa dashboard bi trebao im dati pristup uređajima za uštedu energije dok bi Dashboard za Fazza kartice popustima za iste. ADDC dashboard bi trebao korisnicima dati pristup uslugama koje pružaju tvrtke a Fazza kartica popuste ako su mogući za određenog kupca.

Nakon što se novi kupac prijavi za pretplatu na Fazza karticu i pošalje zahtjev da bude prihvaćen, popisi za Fazzu, Ben Moosa i ADDC bit će u skladu s tim ažurirani [2]. Na temelju toga, pretpostavimo da kupac Bob koristi ADDC mobilnu aplikaciju za plaćanje računa za struju, zaposlenica Alice koristi ADDC kontrolnu ploču za provjeru novih narudžbi. Alice pita svog peera da provjeri ima li Bob Fazza račun. Ako ima, Bob dobiva 10% popusta na račun. Slično tome, nakon što korisnik Bob koristi ADDC mobilnu aplikaciju za kupnju uređaja koji štedi energiju, zaposlenik Robin koristi kontrolnu ploču Ben Moosa da upita svog peera da provjeri ima li Bob Fazza račun. (vidi sliku 10.)

Kao drugi primjer, zaposlenik Robin želi dodati novi uređaj za uštedu energije na popis uređaja za uštedu energije. Zaposlenica Alice prima zahtjev putem ADDC-ove kontrolne ploče. Alice provjerava nove specifikacije uređaja, ako odgovara zahtjevima ADDC-a, odobrava zahtjev koji je poslao Robin, a popisi ADDC-a i Ben Moose su ažurirane u skladu s tim [2].

Blokchain šifrira podatke o prijavi i registraciji koje šalje aplikacija, a zatim ih pohranjuje u blockchainu. Nakon što aplikacija izvrši konverziju podataka, blockchain prima klijentov prijedlog i dostavlja ga peeru [2]. Ako peer odobri prijedlog i zarađene bodove pošalje aplikacija poslužitelju, blockchain generira peer čvor, genesis blok i novi korisnički pametni ugovor, a zatim ih šalje na određeni peer kanal [2]. Nakon što je konsenzus uspješno potvrđen putem određenog peer kanala, blockchain prima odobreni blockchain i pokreće hash funkciju proizvoljnom ključnom vrijednošću i šalje stečene bodove klijentu. Ako se ne odobri, prijedlog se obustavi, zahtjev se obavijesti o nevažećem događaju, a potrošač mora ponovno podnijeti zahtjev. Međutim, aplikacija šalje dobivene bodove poslužitelju ako je prijedlog odobren [2]. Peer prima blokove transakcija iz blockchaina i šalje ih na određeni peer kanal. Čvor može biti pogrešan čvor, dobar čvor ili krivi čvor. Stoga, aplikacija koristi pametne ugovore za potvrdu uvjeta za svaku transakciju. Ako je rezultat validacije prihvaćen, konsenzus se uspješno potvrđuje putem određenog kanala među

peerovima. Ako ne, onda klijent mora ponovno podnijet [2]. Predloženi izgled možemo vidjeti u slici 7.



Slika 7. Izgled transakcija u predloženome sustavu [2]

## 7. Zaključak

U ovom radu je analizirana primjena blockchain tehnologije u mjernim sustavima. Prvi dio rada je uvod u osnovne pojmove koji su bitni za razumijevanje blockchain tehnologije. Prednosti blockchain tehnologije su ti, da sudionici svaki pojedine mreže mogu biti sigurni da su njihovi podatci sigurno spremljeni. Ušteda energije je jedan od ciljeva koja se želi postići primjenom distribuiranih mreža. Istražene su novije primjene blockchain tehnologije u otkrivanju anomalija u pojnom sustavu mreža. Jedan od nedostataka u primjeni Industrije 4.0 je ta da ona ima velike zahtjeve za usladištenje podataka. Daljinsko isključivanje i uključivanje napajanja, nakon što se dosegnu ili postignu referentne razine potrošnje, bi mogle dovesti do značajnih ušteda. Istražene su isto mogućnosti dinamičkog određivanja cijene energije. Najbolji primjer ovog slučaja bi bio u

zgradama s više kućanstava, jedno kućanstvo ne mora nužno koristiti jednake količine energije kao drugo kućanstvo i u identično vrijeme, pa stoga nema smisla naplaćivati im jednaku cijenu za energiju. Jedno od rješenja za kućanstva bi mogao biti sustav plaćanja unaprijed, uz korištenja Wattcoin novčanika. Korisnik bi kupio određen broj Wattcoina koji odgovaraju određenoj potrošnji energije, te bi mu sustav oduzimao Wattcoine kako on troši energiju. Još jedno rješenje koje je istraženo, je ta da se komunalne usluge struje i vode, spoje zajedno u jedno korisničko sučelje. Za primjer iz UAEa postoji također mogućnost pretplate u trgovini, koji omogućava kupovinu uređaja za smanjenje potrošnje energije. Također je korisnicima omogućen pristup smanjenjim mjesečnim računima u slučaju da su pretplaćeni na uslugu.

## 8. Literatura

- [1] K. Miličević, L. Omrčen, M. Kohler, I. Lukić, »Blockchain as RegTech Solution for Metrology – the Bottom-Up Approach,« *Journal of information technology*, 3 8 2020.
- [2] M. A. H. A. H. S. A. I. M. M. A. Z. A. Fadi Abu-Amara, »A Blockchain Solution for Water and Electricity Management,« *Materials today*, 2022.
- [3] M. Gupta, *Blockchain for dummies*, John Wiley & Sons, Incorporated, 2018.
- [4] L. Meng, K. Zhang, J. Liu, Hanxiao. G, Z. Zhang, »Blockchain-based anomaly detection of electricity consumption in smart grids,« *Pattern Recognition Letters*, 9 2020.
- [5] M. Singh, S. Ahmed, S. Sharma, S. Yoon, »Blockchain-Based Smart Electricity Measurement and Monitoring System: A Survey.,« *BSEMS*, 2023.
- [6] H. Khattak, K. Tehreem, A. Almogren, Z. Ameer, I. Din i Adnan, »Dynamic pricing in industrial internet of things: Blockchain application for energy management in smart cities.,« *Journal of Information Security and Applications*, 2020.
- [7] Amazon, »What is Blockchain Technology?,« Amazon, [Mrežno]. Available: <https://aws.amazon.com/what-is/blockchain/?aws-products-all.sort-by=item.additionalFields.productNameLowercase&aws-products-all.sort-order=asc>. [Pokušaj pristupa 30 9 2024].
- [8] Wikipedia, »Distributed ledger,« Wikipedia, [Mrežno]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Distributed\\_ledger](https://en.wikipedia.org/wiki/Distributed_ledger). [Pokušaj pristupa 30 9 2024].
- [9] IBM, »What is Blockchain?,« IBM, [Mrežno]. Available: <https://www.ibm.com/topics/blockchain>. [Pokušaj pristupa 30 9 2024].
- [10] Wikipedia, »Proof of authority,« Wikipedia, [Mrežno]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Proof\\_of\\_authority](https://en.wikipedia.org/wiki/Proof_of_authority). [Pokušaj pristupa 30 9 2024].
- [11] S. H. A. H. A. R. a. A. H. M. S. Shafiq Aiman, »Smart Electricity Billing System Using,« *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering*, 2018.
- [12] Schar, Fabian, »Decentralized Finance: On Blockchain- and Smart Contract-Based Financial Markets,« *Center for Innovative Finance, University of Basel; University of Basel - Economics Department*, p. 2022, 3 8 2021.

## **Sažetak**

U prvome dijelu ovog rada, ukratko su objašnjeni osnovni pojmovi vezani za blockchain tehnologiju. Drugi dio rada opisuje primjene blockchain tehnologije u sustavima za mjerenje, odnosno s primjenom blockchain tehnologije u sustavima prijenosa i naplate električne energije. U trećem dijelu rada istražen je sustav naplate električne energije preko tokena Wattcoin. U četvrtom dijelu rada istražena je upotreba blockchain tehnologije u sustavu naplate komunalnih usluga.

## **Ključne riječi**

Blockchain, , peer to peer, wattcoin, mjerni sustavi

## **Abstract**

In the first part of this paper, basic concepts related to blockchain technology are briefly explained. The second part of the paper deals with the applications of blockchain technology in measurement systems, specifically its application in systems for the transmission and billing of electrical energy. The third part of the paper explores the system for billing electrical energy via Wattcoin tokens. In the fourth part of the paper, the use of blockchain technology in the billing of utility services is investigated.

## **Key words**

Blockchain, peer to peer, wattcoin, measurement systems