

**RAZMENA ZDRAVSTVENIH KARTONA PACIJENTA PRIMENOM BLOCKCHAIN  
TEHNOLOGIJE****EXCHANGE OF PATIENT HEALTH RECORDS USING BLOCKCHAIN TECHNOLOGY**Luka Jovanović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

**Kratak sadržaj** – U ovom radu predstavljeni su potencijali primene blockchain tehnologija u razmeni zdravstvenih kartona pacijenta. Objasnjenje su teorijske osnove i navedeni izazovi koji se susreću u ovom domenu. Opisana je terminologija univerzalna za sve grane primene kao što su blockchain tehnologije, Hyperledger Fabric projekat i koncept pametnih ugovora. Pokazane su najznačajnije arhitekture iz discipline razmene zdravstvenih kartona pacijenata. Na kraju je prikazan opis implementacije sistema i završna razmatranja.

**Ključne reči:** blockchain, pametni ugovori, Hyperledger Fabric, medicina, lični zdravstveni zapis (PHR), zdravstveni karton, razmena zdravstvenih podataka

**Abstract** – This paper presents potentials of blockchain technology adoption in patient's health record exchange. Theoretical explanations are given and challenges that are met in this domain are listed. Terminology universal for all application areas such as blockchain, Hyperledger Fabric and smart contract are described. The most significant proposed solutions in the field of patient health records exchange are shown. In the end, the paper represents newly invented software and provides final considerations.

**Keywords:** blockchain, smart contracts, Hyperledger Fabric, medicine, personal health record (PHR), electronic health record (EHR), health data exchange

**1. UVOD**

U svetu zdravstvene nege postoje dva ključna zahteva koja moraju biti prepoznata: sigurnost podataka i vlasništvo nad podacima [1]. Pitanje vlasništva ogleda se u tome da li nalazi pregleda pacijenta pripadaju njemu ili su vlasništvo ustanove gde su ona urađena. Sve što predstavlja zdravstveno stanje pacijenta čini lične i osetljive informacije čija zloupotreba i neovlašćeno korišćenje mogu narušiti privatnost i dostojanstvo pojedinca. U članku objavljenom 2019. god. u stručnom časopisu, izneto je da je tokom 2018. u SAD prijavljeno dosta nedozvoljenih upada u medicinske informacione sisteme što je za posledicu imalo zlonamerni pristup u oko 13 miliona zdravstvenih zapisa [2]. Zadatak ovog rada jeste nastajanje pouzdane platforme za razmenjivanje zdravstvenih kartona pacijenta korišćenjem blockchain

tehnologija. Glavna motivacija za istraživanje sprovedeno u ovom radu jeste utvrđivanje potencijala primene u ovom domenu, kao i identifikovanje ograničenja i rizika.

**2. BLOCKCHAIN**

Blockchain je struktura podataka koja stvara pouzdane, distribuirane digitalne glavne knjige za asete i druge podatke. To je nepromenljivi zapis digitalnih događaja koji se međusobno dele između različitih strana. Može se ažurirati samo konsenzusom većine učesnika u sistemu i kada se unesu, informacije je vrlo teško izbrisati [4]. Blockchain je predstavnik distribuiranih tehnologija čija odlika je da su svi podaci koji se skladište replicirani u cilju čuvanja istovetnih podataka na više mesta u mreži. Blockchain čini uređena lista blokova gde je svaki jedinstveno predstavljen svojim kriptovanim hešom. Svaki blok pokazuje na blok koji je nastao pre njega formirajući na taj način lanac blokova [5]. Blok se sastoji od više transakcija grupisanih po vremenu nastanka. Jednom kada je blok formiran i dodat na kraj lanca, nije moguće menjati ili poništavati transakcije unutar bloka. Vrsta blockchaina koja je zbog svojih osobina pogodna za korišćenje u zdravstvu i koja će biti opisana je Hyperledger Fabric.

**2.1. Hyperledger Fabric**

Hyperledger Fabric [7] predstavlja distribuiranu platformu koja je sposobna da izvršava pametne ugovore. Hyperledger Fabric koristi privatnu blockchain. Fabric arhitektura organizovana je na modularnom proširivom principu što omogućava proizvoljnu implementaciju komponenti sistema. Radna grupa Hyperledger fondacije je u svom radu [8] komponente arhitekture razvrstala na: konsenzus sloj, sloj pametnih ugovora, komunikacioni sloj, sloj čuvanja podataka, kriptografsku apstrakciju, servis identiteta, servise polisa, API-i i interoperabilnost. Mreže u Hyperledger Fabric-u su sa kontrolisanim učešćem u mreži i iz tog razloga svi učesnici moraju biti u nekoj organizaciji. Da bi se obezbedila poverljivost unutar mreže i razmena podataka samo između određenih organizacija, mreže mogu sadržati više kanala komunikacije koji predstavljaju podmreže. Kanalima pripadaju čvorovi koji su u vlasništvu organizacija, a u zavisnosti da li organizacija formira više kanala mogu biti u sastavu više kanala. Certificate Authority (CA) odnosi se na zasebno telo i njima se opisuju organizacije i rukuje identitetima njihovih pripadnika [7]. Izdavanjem sertifikata od strane elemenata akteri su predstavljeni u mreži. Strukture koje sadrže sertifikate i uloge svih aktera zovu se Membership Service Provider (MSP) i deo su arhitekture [7]. Čvor koji učestvuje u sortiranju transakcija na-

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Goran Sladić, vanr. prof.

ziva se *ordering* čvor i sa ostalima gradi *ordering* servis. Fundamentalni elementi svake *Hyperledger* mreže čine čvorovi (*peers*), jer sadrže kopije glavne knjige (*ledger*) i pametne ugovore (*smart contract*). *Ledger* čuva sve vrednosti atributa bitnih informacija i istoriju transakcija. Detaljnije, u *Fabric* radnom okviru *ledger* se sastoji od dva dela: globalno stanje objekata i lanac blokova [7]. Globalno stanje objekata (*world state*) predstavlja skladište podataka koje čuva aktuelno stanje vrednosti objekata. Lanac blokova (*blockchain*) sadrži trajni zapis svih transakcija koje su se realizovale u sistemu. Transakcije pružaju istorijski uvid u sve promene globalnog stanja objekata i definišu njegovo trenutno stanje. *Hyperledger Fabric* koristi Raft [9] mehanizam za postizanje konsenzusa. Raft je predstavnik *vote-based* algoritama. Odluka *vote-based* algoritama jeste da se utvrđivanje konsenzusa zasniva na uzajamnoj komunikaciji između čvorova i da se odluke realizuju glasanjem.

### 3. PAMETNI UGOVORI

Pametni ugovori predstavljaju izvršivi kod koji se pokreće u *blockchainu* kako bi se olakšali, izvršili i primenili uslovi sporazuma. Glavni cilj pametnih ugovora jeste automatsko izvršavanje stavki ugovora kada se određeni uslovi ispune [5]. Strane koje učestvuju u dogovoru mogu definisati svoje odnose na samoizvršivi način, bez dvosmislenosti u ugovorenim obavezama i bez uticaja i posredovanja spoljnih entiteta [10]. Ideja pametnih digitalnih ugovora izložena je prvi put 1994. godine u radu Nika Saba, ali je tek ekspanzijom *Ethereuma* aktualizovana [5]. Pametni ugovori pretvoreni u kod uskladišteni su i replicirani u mreži. Izvršavaju se u *blockchainu* i imaju uticaja na artikle koji su uključeni ugovorom [6]. Pametni ugovori definišu poslovnu logiku koja se izvršava i dodaju nove činjenice u *ledger*. Pozivanjem pametnih ugovora pokreću se transakcije, a *Hyperledger Fabric* razlikuje tri vrste transakcija: *deploy*, *invoke* i *query* [7].

### 4. UPOTREBA BLOCKCHAINA U ZDRAVSTVU

Prva istraživanja na temu primene *blockchaina* u zdravstvu radila su se 2015. godine [4]. Estonska vlada u saradnji sa kompanijom *Guardtime* još je 2016. godine napravila softver za osiguranje medicinskih dokumenata svojih stanovnika [4]. Procenjuje se da se 455 milijardi dolara izgubi u globalnoj zdravstvenoj zaštiti svake godine usled prevara, rasipanja i zloupotreba [4]. Pomoću *blockchaina* zadovoljavaju se potrebe za poverenjem i bezbednošću sistema i omogućeno je praćenje zdravstvenih aktivnosti [4]. Oslanjajući se na osobine *blockchain* platforme možemo čuvati podatke bez bojazni da će se dosijei pacijenata menjati i kontrolisati razmenu bez zloupotreba. Još jedan benefit od upotrebe distribuiranih tehnologija u zdravstvu jeste da uskladišteni pregledi nisu u ekskluzivnom vlasništvu nijednog entiteta u mreži. Pitanja vlasništva dokumenata i način rukovanja medicinskim nalazima i uređivanje odnosa između zainteresovanih strana mogu se urediti u sistemu [3]. Zahvaljujući *blockchain* platformi postoji mogućnost praćenja procesa lečenja pacijenta, čime se smanjuju šanse za neovlašćenim pristupom tim osetljivim informacijama [4]. Rad Frosta i Salivena [4] razvrstao je zainteresovane strane iz sfere zdravlja na 5 grupa: administracija, medicinsko osoblje,

zdravstvene institucije, proizvođači lekova i pacijenti. Za ostvarivanje punog potencijala, članovi zdravstvene i IT industrije udružuju se u radne konzorcijume u cilju promovisanja zajedničkog ekosistema za istraživanje i upravljanje standardima. U sistematskoj studiji [11] tabelarno su sumirani benefiti korišćenja ovih tehnologija, a oni su: decentralizacija, poboljšanje sigurnosti podataka i privatnosti, vlasništvo nad podacima, dostupnost i robusnost, transparentnost i poverenje, proverljivost podataka. U radu autora Yang i Yang [12] nabrojani izazovi koje su oni naveli su: poverljivost, privatnost, kontrola pristupa, integritet, potvrda identiteta i autentifikacija, transparentnost i praćenje, interoperabilnost.

#### 4.1. Pregled postojećih rešenja

Top 5 *use case-ova* po studiji [4] koji imaju potencijal primene u medicini su: *Healthcare payment and Claim adjudication* (izdavanje faktura i kontrolu plaćanja zdravstvenih usluga), *Healthcare professional credentialing* (licenciranje medicinskog radnika), *Drug and medical device supply chain* (lanci snabdevanja preparata), *PHR and Health data exchange* (Pregledi pacijenta i razmena podataka), *Research and Clinical Trials* (Istraživanja i klinička ispitivanja). U ovom poglavlju biće predstavljeni radovi čija su rešenja uticala na formiranje sopstvene arhitekture. Koristeći opisanu terminologiju, slučaj korišćenja koji je u fokusu jeste *PHR and Health data exchange*.

U radu [13] je predložena upotreba *BlochIE-a*, *blockchain* zasnovane platforme za razmenu informacija zdravstvene nege. Izvor informacija predstavljaju pregledi obavljani od strane stručnih lica ili podaci dobijeni od monitoring uređaja. Kako bi se zadovoljili privatnost i autentifikacija pregleda, predloženo je *on-chain* i *off-chain* čuvanje podataka. Kada novi pregled nastane u bolnici, kreiraju se tri kopije. Prva kopija se čuva u bazi podataka bolnice, druga se šalje pacijentu, a treća se ubacuje u *blockchain* mrežu. Prve dve kopije sadrže sve detalje, dok je ona koja se dodaje u lanac blokova specifične strukture. Ona sadrži vreme nastajanja, heširanu vrednost originalnog pregleda, kriptografske potpise bolnice i pacijenta, ključne reči i opis. Ova kopija postoji kao dokaz da pregled postoji u sistemu. Prednosti ovog mehanizma čuvanja pregleda su sledeće. Prvo, kompletan izveštaj lekarskog pregleda nije javno dostupan čime je očuvana privatnost pacijenta. Drugo, veličina kopije koja se pohranjuje u *blockchainu* značajno je manja od originalnog zapisa, što može bitno uticati na poboljšanje performansi. Treće, poređenjem heširane vrednosti i originalnog pregleda moguće je autentifikovati pregled i proveriti da li je došlo do neovlašćenih izmena

Sledeći rad opisuje Medrec [14] radni okvir i detaljnije prikazuje strukturu ugovora. Predviđeni scenario korišćenja jeste da pružalac usluge, tzv. provajder, dodaje novi zapis pacijenta koji se kasnije može odobriti za deljenje. Ugovori kojima se prati promena stanja i podešava prava pristupa su: *Registrar Contract (RC)*, *Summary Contract (SC)* i *Patient-Provider Relationship (PPR)*. RC predstavlja katalog svih učesnika u sistemu gde se za svakog čuva naziv i adresu SC ugovora korisnika. SC pored polja koje određuje čiji je ugovor, čuva listu referenci svih ugovora koji modeluju odnose između vlasnika ugovora i drugih korisnika. Relacije

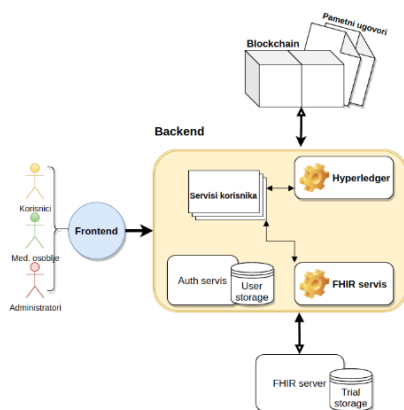
između pacijenata i provajdera opisane su PPR ugovorom. On ima strukturu koja mapira adrese učesnika koji žele pristup na pokazivače pregleda. Svaki pokazivač ima tekst upita i heširanu vrednost podataka pregleda kao dokaz da originalni dokument nije uklonjen ili menjan.

## 5. SPECIFIKACIJA I IMPLEMENTACIJA SISTEMA

Funktionalnosti koje pruža aplikacija su sledeće. Nakon obavljenog pregleda, medicinsko osoblje unosi zapis pacijenta u sistem. Da bi dodavanje pregleda bilo uspešno, neophodno je prethodno uključiti instituciju nege u zajednicu (zadatak administratora sistema) i dodati osoblje (obaveza administratora ustanove). Svi uneti pregledi pacijenta su njegovo vlasništvo, gde on za svaki definiše da li će biti moguće deljenje drugim članovima. Medicinski radnici i drugi registrovani korisnici imaju pravo pretraživanja pregleda. Informacije koje se javno prikazuju zainteresovanim korisnicima sadrže samo osnovne metapodatke pregleda, bez zalaženja u detalje i intimu pacijenta. Ukoliko korisnik želi da pristupi punom profilu pregleda, upućuje zahtev. Pacijent za novopridošle zahteve donosi odluku da li omogućava prikazivanje pregleda drugima. Ukoliko su odobreni, postoji mogućnost definisanja dodatnih uslova uvida u preglede. Statusi svih podnetih zahteva se prikazuju njihovom podnosiocu i za one koji su dobili potvrđan odgovor dozvoljava se dobavljanje sa lokacije gde se pregledi nalaze.

### 5.1. Opis arhitekture sistema

Organizacija arhitekture sistema pokazana je na slici 5.1. Ulaznu tačku sistema predstavlja frontend aplikacija koja koristi *React* biblioteku. *Backend* aplikacija implementirana sa *Spring Boot* radnim okvirom čini centralnu tačku. Ona sadrži dva servisa koji komuniciraju sa eksternim svetom. Softver primenjuje *onchain* i *offchain*

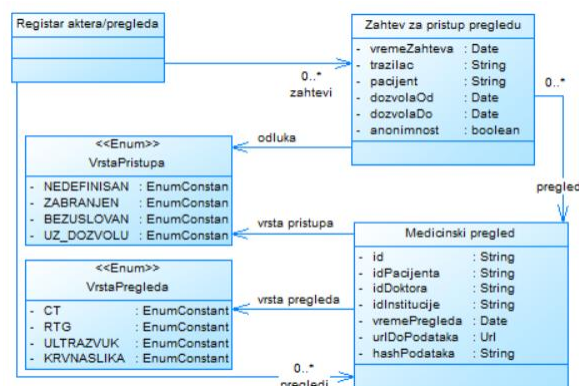


Slika 5.1 Arhitektura sistema

čuvanje pregleda. *Offchain* objekti su kompletni podaci pregleda izvan *blockchaina* (slika 5.1, FHIR server). Izgled *onchain* entiteta u mreži je prikazan na slici 5.2. Uloga Hyperledger servisa je da poziva blockchain mrežu i pametne ugovore koji su u njoj.

Za potrebe ovog rada, *Hyperledger Fabric* razvojni okvir je odabran za organizaciju mreže. Hyperledger Fabric je privatni blockchain što je iz ugla rukovanja osetljivim medicinskim informacijama važno, jer ne dozvoljava nekontrolisani pristup nikome u sistemu. Ova platforma omogućava upravljanje identitetima učesnika mreže.

Podržano je izdavanje sertifikata i dodeljivanje istih korisnicima koji su prethodno prihvaćeni i dodati u sistem. Sledeći bitan razlog odabira ove strukture je bogata podrška razvoju pametnih ugovora.



Slika 5.2 Onchain entiteti

Zadatak FHIR servisa (slika 5.1) je slanje i dobavljanje pregleda sa servera na kome se pohranjuju podaci. FHIR servis koristi API [16] koji zahteva da razmena između klijenta i servera bude u skladu sa FHIR (*Fast Healthcare Interoperability Resources*) standardom koji definiše format podataka za razmene informacija o pregledima pacijenata.

### 5.2. Pisanje pametnih ugovora

Za podešavanje blockchain infrastrukture ispraćeno je uputstvo za pokretanje testne mreže iz dokumentacije [7] i iskorišćeni su fajlovi preuzeti sa zvaničnog reposititorijuma. Zamišljeno je da u zajednici inicijalno učestvuju dve organizacije uz opciono uključivanje treće. Mrežu grade jedan *orderer* čvor koji vodi računa o sortiranju transakcija i po jedan *peer* čvor za svaku organizaciju.

Za izgradnju pametnih ugovora u Hyperledger Fabricu podržano je više programskih jezika (Go, Javascript, Java). U ovom radu korišćena je Java gde se pomoću Gradle plugina generiše sadržaj koji predstavlja izvor za pakovanje ugovora za distribuciju (komanda `peer lifecycle chaincode package`). Da bi klasa bila proglašena pametnim ugovorom mora biti anotirana sa `@Contract` i da implementira `ContractInterface`. Radna jedinica za izvršavanje pametnih ugovora u Fabric-u nazvana *chaincode* može sadržati više ugovora u jednom kontejneru. Ulazne tačke metoda klase ugovora moraju se anotirati sa `@Transaction` da bi se mogle koristiti. Funkcije po tipu mogu biti `submit` ili `evaluate`. `Submit` metode sadrže akcije koje kao ishod imaju promenu globalnog stanja i iz tog razloga se obavezno čuvaju kao transakcije u blokovima. Zadatak `evaluate` anotiranih funkcija je dobavljanje objekata i za posledicu nemaju izmenu stanja. Namena `createContext` metode interfejsa je kreiranje konteksta za ugovore. Uloga `Context` klase je komunikacija sa mrežom, tekućom transakcijom i skladištem podataka. `ClinicalTrialContext` nasleđuje osnovnu `Context` klasu i dodaje dva atributa (listing 5.1).

```
private ClinicalTrialDAO clinicalTrialDAO;
private ClinicalTrialAccessRequestDAO
clinicalTrialAccessRequestDAO;
```

Listing 5.1 Atributi `ClinicalTrialContext` klase

Ova dva polja čine sloj za interakciju sa bazom podataka za dva onchain entiteta (slika 5.2). Metode za operacije koje ažuriraju stanje enkapsulirane su u CRUD, a upiti u Query klasama. Funkcije ClinicalTrialDAO su: dodavanje, izmena, dobavljanje entiteta pregleda, proveravanje da li objekat pod tim ključem postoji i pretraživanje osnovnih podataka pregleda. ClinicalTrialAccessRequestDAO radi: dodavanje, čitanje zahteva pristupa, proveru da li postoji, izmenu entiteta unoseći odluku o zahtevu i slanje upita. Rezultati upita vraćaju poslate zahteve korisnika i one adresirane na njih.

### 5.3. Pozivanje pametnih ugovora

Komponenta u glavnoj backend aplikaciji koja je zadužena za pozivanje pametnog ugovora je HyperledgerService. Da bi se pokretale transakcije mora se prethodno obaviti povezivanje na kanal komunikacije i dobiti odgovarajući pametni ugovor. Listing 5.2 sadrži deo komandi za povezivanje sa mrežom. Gateway.Builder klasa koristeći identitet učesnika iz walleta i konfiguracioni fajl organizacije gradi parametre veze. Svaki učesnik u sistemu mora pripadati nekoj organizaciji mreže. Ukoliko korisnik nema još uvek svoj wallet, potrebno je odraditi registraciju u sistem. NetworkConfigPath promenljiva sadrži putanju do fajla koji sadrži profil organizacije u mreži. Ovaj struktuirani dokument (yaml) se generiše prilikom podizanja blockchain-a. Atributi koji su prisutni sadrže ime klijentske organizacije, identifikator svoga MSP i sve podatke o čvorovima i CA telima koji uključuju imena, url putanje i sertifikate. Posle uspešnog uspostavljanja veze, zahteva se željeni kanal gde se nalazi chaincode instanca, a potom i pametni ugovor pod traženim imenom i pozivaju se odgovarajuće metode.

```
builder
  .identity(wallet, userWalletIdentity)
  .networkConfig(networkConfigPath)
  .discovery(true);
Gateway gateway = builder.connect();
```

Listing 5.2 Komande API-ja za povezivanje na mrežu

## 6. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljeni su potencijali nastanka platforme za razmenjivanje zdravstvenih kartona pacijenta koristeći *blockchain tehnologije*. Iako je predloženo rešenje pružilo odgovore na neke zahteve i izazove, prisutni su preostali problemi na koje bi trebalo obratiti pažnju.

Postojeći sistem ima jedan pametni ugovor (slika 5.2, *Registar aktera/pregleda*) kome su dužni svi da se obraćaju. Ova forma ugovora nije lična i nije lako utvrditi na koga se odnose uređena prava i obaveze. Razlog ovakvog ustrojstva ugovora je da tokom *Fabric* upita ka bazi podataka, svi pregledi budu obuhvaćeni, odnosno da su deo istog prostora imena. Bolje rešenje predstavljala bi organizacija ugovora kao u obrađenim arhitekturama gde bi postojao registar koji bi čuvao adrese ugovora svakog učesnika koji bi dalje regulisali odnose između korisnika i drugih aktera. Najvažniji problem koji se u ovom slučaju pojavljuje je kako napraviti mehanizam pretrage pregleda koji se nalaze na više različitih mesta.

Postoji nekoliko stvari koje bi trebalo unaprediti proširenjem softverskog rešenja. Iskorak u obezbeđivanju

osetljivih informacija pregleda bio bi šifrovanje pojedinačnih objekata posebnim ključevima korisnika ili pregleda umesto trenutnog simetričnog ključa aplikacije. U tom scenariju onaj kome bi bio omogućen pristup pregledu dobijao bi ključ za dešifrovanje. Tako uređen tok razmene značio bi neophodnost čuvanja i kontrole davanja asimetričnih ključeva i njihovog povezivanja sa učesnicima i pregledima. Poželjno bi bilo uvesti model podsticanja dobrovoljnog deljenja informacija pregleda tako da oni koji to učine imaju beneficije u zajednici.

## 7. LITERATURA

- [1] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6764776/> (pristupljeno u martu 2021)
- [2] <https://www.hipaajournal.com/analysis-of-healthcare-data-breaches/> (pristupljeno u martu 2021)
- [3] M. Holbl, M. Kompara, A. Kamisalic, L. Zlatolas, A Systematic Review of the Use of Blockchain in Healthcare, 2018
- [4] Frost & Sullivan, Global Blockchain Technology Market in the Healthcare Industry, 2018–2022, 2019
- [5] M. Alharby, A. Aldweesh, A. van Moorsel, Blockchain-based smart contracts: A systematic study, 2018
- [6] T. Mikula and R. H. Jacobsen, Identity and access management with blockchain in electronic healthcare records, 2018
- [7] <https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/latest/whatis.html> (pristupljeno u martu 2021)
- [8] [https://www.hyperledger.org/wp-content/uploads/2017/08/Hyperledger\\_Arch\\_WG\\_Paper\\_1\\_Consensus.pdf](https://www.hyperledger.org/wp-content/uploads/2017/08/Hyperledger_Arch_WG_Paper_1_Consensus.pdf) (pristupljeno u martu 2021)
- [9] <https://raft.github.io/> (pristupljeno u aprilu 2021)
- [10] L. Zhou, L. Wang, Y. Sun, MISore: a Blockchain-Based Medical Insurance Storage System, 2018
- [11] C. C. Agbo, Q. H. Mahmoud, J. M. Eklund, Blockchain Technology in Healthcare: A Systematic Review, 2019
- [12] H. Yang, B. Yang, A Blockchain-based Approach to the Secure Sharing of Healthcare Data, 2017
- [13] J. Shan, Y. Yanni, M. Mingyu, BlochIE: a BLOckchain-based platform for healthcare information Exchange, 2018
- [14] A. Azaria, A. Ekblaw, T. Veira, A. Lippman, MedRec: using blockchain for medical data access and permission management, 2016
- [15] S. A. Anastasia Theodouli, K. Moschou, K. Votis, D. Tzovaras, On the Design of a Blockchain-Based System to Facilitate Healthcare Data Sharing, 2018
- [16] <https://hapifhir.io/hapi-fhir/docs/> (pristupljeno u martu 2021)

### Kratka biografija:



**Luka Jovanović** rođen je u Novom Sadu 1996. godine. Osnovne akademske studije završio je 2019. god. na Fakultetu tehničkih nauka. Master rad iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Računarstvo i automatika odbranio je 2021. godine.  
kontakt: luka.ra109@uns.ac.rs