

**PRIMENA BLOCKCHAIN TEHNOLOGIJE U FARMACEUTSKIM LANCIMA
SNABDEVANJA****APPLICATION OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY IN PHARMACEUTICAL SUPPLY
CHAINS**Aleksandar Bjelobaba, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratak sadržaj – Rad istražuje primenu blockchain tehnologije u farmaceutskim lancima snabdevanja, analizirajući izazove s kojima se suočavaju i prednosti koje blockchain nudi za njihovo rešavanje. Proučeni su osnovni principi blockchain-a, a takođe je opisana implementacija distribuirane aplikacije za upravljanje farmaceutskim lancem snabdevanja koristeći Vue za klijentski deo, Spring Boot za serverski deo i Hyperledger Fabric za organizaciju mreže.

Ključne reči: Blockchain, Hyperledger Fabric, lanci snabdevanja, farmacija

Abstract – The paper explores the application of blockchain technology in pharmaceutical supply chains, analyzing the challenges they face and the benefits blockchain offers in addressing them. It examines the fundamental principles of blockchain technology and details the implementation of a distributed application for pharmaceutical supply chain management, utilizing Vue for the client side, Spring Boot for the server side, and Hyperledger Fabric for network organization.

Keywords: Blockchain, Hyperledger Fabric, supply chains, pharmacy

1. UVOD

Farmaceutska industrija u velikoj meri zavisi od efikasnog lanca snabdevanja kako bi zadovoljila stalno rastuću potražnju za lekovima. Ne radi se samo o procesu premeštanja proizvoda od tačke A do tačke B, već o složenom sistemu koji se suočava sa značajnim izazovima, među kojima su: ispunjavanje strogih regulatornih zahteva, rizik od falsifikovanih lekova i očuvanje integriteta osetljivih proizvoda kroz čitav lanac [1]. Posledice propusta u ovom procesu mogu biti ozbiljne i, pored finansijskih gubitaka, mogu dovesti do odlaganja terapija, različitih zdravstvenih rizika, a u najgorem slučaju, i gubitka života. U industriji gde propusti mogu ugroziti živote ljudi obezbeđivanje pouzdanosti, transparentnosti i sledljivosti je od ključnog značaja.

Blockchain tehnologija, koju između ostalog, karakterišu: integritet i nepromenljivost sačuvanih podataka, decentralizovanost i transparentnost, predstavlja potencijalno rešenje za smanjenje rizika u farmaceutskim

lancima snabdevanja. Nepromenljivošću sačuvanih podataka i obezbeđenjem potpune sledljivosti, blockchain omogućava verifikaciju autentičnosti lekova u svakoj fazi od proizvodnje do isporuke, tako smanjujući rizik od falsifikovanih proizvoda i olakšavajući reviziju od strane regulatornih organa [2].

U poslednjih nekoliko godina, interesovanje za primenu blockchain tehnologije u farmaceutskom lancu snabdevanja je poraslo. Kompanije poput Pfizer-a i Gilead-a pokrenule su projekte kako bi testirale potencijal pomenute tehnologije za unapređenje transparentnosti i sigurnosti [3].

U ovom radu predstavljen je razvoj distribuirane veb aplikacije za farmaceutski lanac snabdevanja čiji je cilj da demonstrira praktičnu primenu blockchain-a u pomenutoj industriji.

2. TEORIJSKE OSNOVE**2.1. Osnove blockchain tehnologije**

Blockchain predstavlja distribuiranu bazu podataka koja sadrži zapise o transakcijama koje se dele među članovima mreže. Svaka transakcija se verifikuje konsenzusom većine članova, čime se sprečava da neispravne transakcije budu sačuvane. Kada se zapis kreira i prihvati u blockchain, ne može se više izmeniti niti izbrisati.

Transakcije se čuvaju u blokovima koji su vremenski obeleženi i nepromenljivi. Svaki blok je zaštićen i povezan korišćenjem kriptografskih principa. Za razliku od tradicionalnih baza podataka, blockchain funkcioniše na mreži autonomnih i ravnopravnih čvorova (engl. peer-to-peer mreži), koji upravljaju blockchain-om čime se eliminiše potreba za centralnim autoritetom.

2.2. Hyperledger Fabric

Hyperledger je projekat otvorenog izvornog koda osnovan od strane Linux fondacije. Hyperledger Fabric [4], koji je korišćen za implementaciju rešenja opisanog u ovom radu, predstavlja jedan od blockchain projekata koji se nalaze u sklopu Hyperledger-a. Kao i druge blockchain tehnologije, on poseduje glavnu knjigu ili *ledger*, koristi pametne ugovore i predstavlja sistem kojim učesnici upravljaju pomoću transakcija.

Hyperledger Fabric je privatan i *permissioned*. Članovi mreže moraju da se prijave preko pružaoca usluga članstva (engl. Membership Service Providers – MSP), dok nepoznatim entitetima pristup mreži nije omogućen.

NAPOMENA:

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

Modularnost i fleksibilnost su ključne osobine Hyperledger Fabric-a. Podaci čuvani u ledger-u mogu biti skladišteni u više različitih formata, mehanizmi konsenzusa se mogu menjati i podržavaju se različite MSP komponente. Zahvaljujući ovim karakteristikama, ovaj radni okvir je pogodan za rešavanje širokog spektra problema u različitim industrijama, kao što su: bankarstvo, finansije, zdravstvo, lanci snabdevanja, itd.

U Hyperledger Fabric-u, ledger se sastoji od dva dela – stanja sveta i blockchain-a. Stanje sveta predstavlja skladište podataka koje čuva trenutno stanje objekata na ledger-u, dok blockchain sadrži trajni zapis svih transakcija koje su se realizovale u sistemu.

U Hyperledger Fabric-u pametni ugovori se nazivaju chaincode. Chaincode ima pristup ledger-u – i stanju sveta i blockchain-u. U većini slučajeva on modifikuje ili dobavlja podatke iz stanja sveta, ali takođe može da izvršava upite nad nepromenljivim zapisima transakcija koji su dostupni na blockchain-u.

2.3. Upotreba blockchain tehnologije u lancima snabdevanja

Upravljanje lancem snabdevanja (engl. Supply Chain Management - SCM) podrazumeva proces nadgledanja toka robe i usluga od tačke porekla do tačke potrošnje. To uključuje kretanje i skladištenje sirovina, poluproizvoda i gotovih proizvoda. SCM igra ključnu ulogu u globalnoj ekonomiji, utičući na brojne industrije, od maloprodaje do zdravstva. Efikasno upravljanje lancem snabdevanja je od suštinske važnosti za obezbeđivanje isporuke proizvoda na vreme i uz minimalne smetnje. Kako lanci snabdevanja postaju sve složeniji, potreba za poboljšanom transparentnošću, bezbednošću i efikasnošću je sve značajnija.

Lanci snabdevanja se suočavaju sa brojnim izazovima, od kojih mnogi potiču iz nedostatka transparentnosti i neefikasnosti. Informacije u ovim sistemima su često međusobno razdvojene i izolovane, što otežava praćenje kretanja robe i proveru njene autentičnosti. Ovi nedostaci mogu dovesti do kašnjenja isporuka, viška zaliha, kao i povećanih troškova [5].

Blockchain tehnologija je, na osnovu svojih osobina, prepoznata kao potencijalno rešenje za navedene probleme. Korišćenjem blockchain-a, kompanije mogu obezbediti da je svaki korak u lancu snabdevanja zabeležen na način koji je otporan na manipulaciju, a pritom i pruža uvid u kretanje robe u realnom vremenu [6].

Za razliku od tradicionalnijih lanaca snabdevanja, farmaceutski lanci snabdevanja su složeniji i suočavaju se sa dodatnim izazovima zbog rada sa osetljivim proizvodima. Pored logistike i upravljanja troškovima, oni se moraju suočiti sa strogim regulatornim zahtevima i osigurati kvalitet proizvoda sa kojima posluju. Ovi lanci zahtevaju visoke standarde bezbednosti i praćenja kako bi se osiguralo da su proizvodi pravilno skladišteni i distribuirani. Lekovi su često osetljivi na temperaturu i zahtevaju da se sa njima precizno rukuje tokom celokupnog lanca snabdevanja. Značajan rizik takođe predstavljaju falsifikovani lekovi koji mogu imati ozbiljne posledice po zdravlje pacijenata [7, 8].

U 2017. godini, Svetska zdravstvena organizacija procenila je da je 10,5% lekova u svetu substandardno ili falsifikovano. Prema izveštaju, učestalost falsifikovanih lekova je iznosila 13,6% u zemljama sa niskim i srednjim prihodima [9].

Sposobnost blockchain sistema da precizno identifikuju poreklo podataka ih čini posebno pogodnim za primenu u farmaceutskim lancima snabdevanja. Podaci o samim lekovima i njihovom poreklu, kao i zapisi o njihovom kretanju kroz lanac snabdevanja mogu značajno pomoći pri utvrđivanju autentičnosti farmaceutskih proizvoda, kao i olakšati reviziju od strane regulatornih tela. Korišćenjem decentralizovanog, nepromenljivog sistema za praćenje proizvoda, blockchain može pomoći farmaceutskim kompanijama da osiguraju autentičnost lekova, održavaju usklađenost sa propisima i poboljšaju efikasnost celokupnog lanca snabdevanja [2, 10].

Neke kompanije su već počele da koriste blockchain u lancima snabdevanja – jedan od značajnijih primera je projekat MediLedger, koji uključuje velike farmaceutske kompanije poput Pfizer-a i Gilead-a [3].

3. MODEL SISTEMA

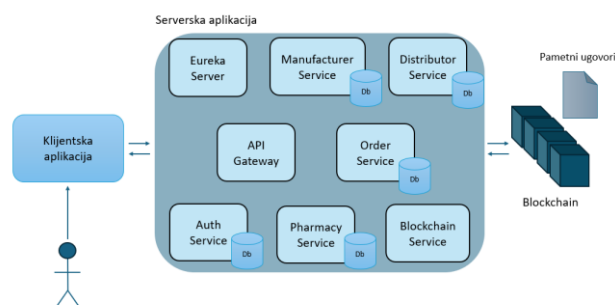
3.1. Arhitektura sistema

Rešenje je realizovano kao distribuirana veb aplikacija sa odvojenim klijentskim i serverskim delom, koji međusobno komuniciraju pomoću HTTPS protokola.

Klijentska aplikacija razvijena je pomoću Vue radnog okvira i ona omogućava korisniku da direktno interaguje sa aplikacijom pomoću korisničkog interfejsa.

Poslovna logika se nalazi u okviru serverskog dela aplikacije koji ima mikroservisnu arhitekturu i koji je implementiran pomoću Spring radnog okvira.

Arhitektura sistema prikazana je na slici 1.



Slika 1. Arhitektura sistema

Klijentska aplikacija komunicira isključivo sa API Gateway-om, koji prihvata zahteve i preusmerava ih ka odgovarajućim servisima. U tom procesu ključnu ulogu igra Eureka Server, na koji se registruje svaki mikroservis. Eureka Server vodi evidenciju o lokacijama svih mikroservisa, omogućavajući im da komuniciraju međusobno bez potrebe za poznavanjem IP adresa ili portova drugih mikroservisa.

Serverski deo aplikacije komunicira sa blockchain mrežom pomoću Blockchain Service-a. Za organizaciju blockchain mreže korišćen je Hyperledger Fabric radni okvir.

Za skladištenje podataka van blockchain mreže koriste se PostgreSQL baze podataka.

3.2. Funkcionalnosti sistema

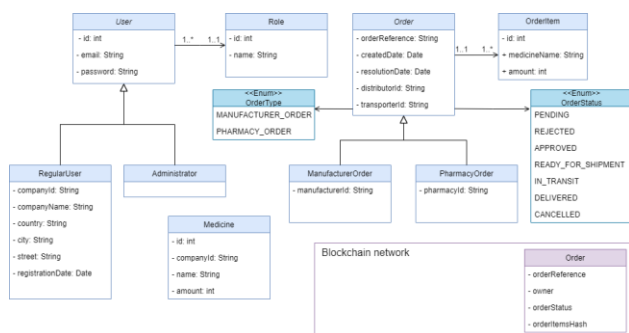
U sklopu sistema možemo razlikovati više tipova korisnika: administratore, proizvođače, distributere, transportere i farmaceute. Kako sistem rukuje sa osetljivim podacima, pristup aplikaciji je omogućen isključivo registrovanim korisnicima. Pravo na registraciju novih korisnika imaju samo administratori.

S obzirom na to da je reč o SCM aplikaciji, glavni deo njenih funkcionalnosti se odnosi na rad sa porudžbinama. Proizvođači mogu da proizvode lekove, dok farmaceuti i distributeri mogu da kreiraju porudžbine, kao i da ih otkazuju. Prilikom kreiranja porudžbine imaju mogućnost da izaberu distributera, odnosno proizvođača, od koga će poručiti farmaceutske proizvode, kao i transportera koji će biti zadužen za preuzimanje i isporuku pošiljke. Distributeri i proizvođači mogu prihvatiti ili odbiti primljene zahteve za porudžbinu. Ukoliko je porudžbina prihvaćena, i tražena količina lekova je dostupna na skladištu, potrebno je pripremiti porudžbinu i rezervisati lekove.

Takođe, svi učesnici lanca snabdevanja mogu da pretražuju svoje porudžbine, pri čemu proizvođači, distributeri i farmaceuti imaju i mogućnost uvida u detalje kretanja porudžbine kroz sam lanac snabdevanja. Osim toga, navedena tri tipa korisnika mogu pretraživati i pratiti stanje svog inventara.

3.3. Model podataka

S obzirom na to da je reč o distribuiranoj aplikaciji koja je napravljena korišćenjem mikroservisne arhitekture, više različitih servisa ima sopstvene baze podataka sa kojima upravljaju. Iako neki entiteti jesu zajednički među servisima, svaka baza podataka čuva različite tipove informacija. Kao rezultat toga, dijagram klasa prikazan na slici 2 predstavlja generalizaciju sistema, a ne njegovu tačnu implementaciju.



Slika 2. Dijagram klasa

Klase *RegularUser* i *Administrator* nasleđuju apstraktnu klasu *User*. U okviru *User* klase nalaze se atributi koji definišu kredencijale korisnika, kao i tip korisnika koji je predstavljen pomoću *Role* klase. Klasa *RegularUser* opisuje proizvođače, distributere, transportere i farmaceute. Svaki od ovih tipova korisnika ima svoj *companyId*, koji se generiše prilikom registracije i predstavlja jedinstveni petocifreni broj. Ovaj atribut je od izuzetne važnosti, jer se njime organizacije povezuju sa svojim porudžbinama i inventarima.

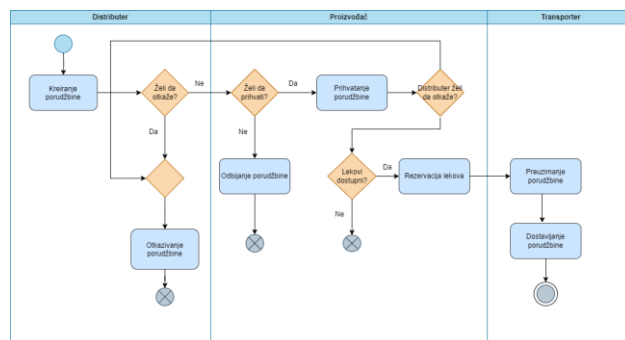
Količina lekova koje neka organizacija trenutno ima u inventaru se modeluje klasom *Medicine*. Ova klasa se koristi u *Manufacturer*, *Distributor* i *Pharmacy* servisima.

Većina mikroservisa radi sa porudžbinama koje su modelovane pomoću *Order* klase. Atribut *orderReference* koristi se za identifikaciju porudžbine i predstavlja jedinstveni string dužine 15 karaktera. U svakoj porudžbini se nalazi lista *OrderItem*-a, koja predstavlja naručene lekove i njihove količine. Tip i status porudžbine modeluju se pomoću klasa za enumeraciju *OrderType* i *OrderStatus*. Tip porudžbine može biti *MANUFACTURER_ORDER* i *PHARMACY_ORDER*, gde prvi tip predstavlja porudžbine između distributera i proizvođača, a drugi između farmacija i distributera. Atributi *manufacturerId*, *distributorId*, *transporterId* i *pharmacyId* sadrže vrednosti polja *companyId* odgovarajućih kompanija uključenih u porudžbinu.

Na blockchain mreži se takođe čuvaju podaci o porudžbinama, što omogućava praćenje njihovog kretanja kroz lanac snabdevanja. Atribut *owner* sadrži *companyId* trenutnog vlasnika porudžbine, dok atribut *orderStatus* ukazuje na njen trenutni status. Dobavljanjem istorije izmena porudžbine na osnovu *orderReference* atributa, dobijamo uvid u njeno kretanje. U polju *orderItemsHash* nalazi se hešovana vrednost porudžbine.

3.4. Upravljanje porudžbinom

U SCM aplikaciji upravljanje porudžbinama predstavlja centralni deo sistema. Kao što je prethodno pomenuto, u aplikaciji postoje dva tipa porudžbina – između proizvođača i distributera, kao i između distributera i farmacije. Iako se učesnici razlikuju, tok porudžbine ostaje isti u oba slučaja. Prikaz aktivnosti kreiranja porudžbine i njenog kretanja kroz lanac snabdevanja, od proizvođača do distributera, prikazan je na slici 3.



Slika 3. Upravljanje porudžbinom

Kao što se na slici može primetiti, distributer inicira kreiranje porudžbine i upućuje zahtev proizvođaču. Proizvođač ima pravo da prihvati ili odbije porudžbinu. Ukoliko je porudžbina prihvaćena, sledeći korak je rezervisanje traženih lekova, pod uslovom da su dostupni u odgovarajućim količinama. Distributer zadržava pravo da otkáže porudžbinu sve dok lekovi nisu rezervisani. Kada se lekovi rezervišu, oni postaju spremni za preuzimanje. Proces preuzimanja i dostave obavlja transporter.

4. IMPLEMENTACIJA

Serverska strana aplikacije implementirana je pomoću Java programskog jezika, verzije 17, i Spring Boot radnog okvira. Za realizaciju klijentskog dela aplikacije korišćen je Vue 3. Za razvijanje blockchain mreže korišćen je Hyperledger Fabric.

4.1. Konfiguracija blockchain mreže

Blockchain mreža je konfigurisana pomoću test-network primera koji je naveden u Hyperledger Fabric dokumentaciji. U test-network primeru, značajan broj konfiguracionih parametara je već podešen, a deo procesa pokretanja mreže je automatizovan pomoću skripti. Mrežu čine dve organizacije i jedan *orderer* čvor. Svaka od organizacija ima po jedan *peer* čvor.

Orderer čvor učestvuje u procesu postizanja konsenzusa i izmene ledger-a, dok peer čvorovi održavaju stanje i knjigu transakcija.

4.2. Povezivanje sa blockchain mrežom

Serverski deo aplikacije komunicira sa blockchain mrežom pomoću Blockchain Service mikroservisa. Ovo je moguće samo ukoliko se prvo uspostavi konekcija. Da bi se to postiglo, neophodno je registrovati administratora, čiji kredencijali su generisani od strane Fabric Certificate Authority (CA) klijenta.

Kako bi se aplikacija uspešno povezala sa CA klijentom potrebno je postaviti putanju do sertifikata od organizacije koja predstavlja aplikaciju. Zahtev za registraciju administratora šalje se CA-u koji verifikuje kredencijale i izdaje sertifikat. Ostali korisnici sistema se mogu registrovati samo ukoliko je administrator prethodno registrovan.

Kako bi se uspostavila konekcija sa blockchain mrežom koristi se Fabric Gateway, koji zahteva kredencijale prethodno registrovanih korisnika. Ako je konekcija uspešno ostvarena, moguće je pristupiti kanalu pomoću gateway-a, što dalje omogućava pristup instanci pametnog ugovora. Nakon dobijanja instance pametnog ugovora, nad njim je moguće pozvati bilo koju definisanu transakcionu metodu.

U ovom sistemu, blockchain mreža se koristi za praćenje kretanja porudžbina kroz lanac snabdevanja.

5. ZAKLJUČAK

U ovoj studiji istraživana je primena blockchain tehnologije u farmaceutskim lancima snabdevanja, sa posebnim osvrtom na njenu primenu u rešavanju ključnih izazova u industriji. Karakteristike blockchain-a, kao što su transparentnost i nepromenljivost, čine ga pogodnim rešenjem za unapređenje sledljivosti i sigurnosti ovih sistema.

Obezbeđivanjem nepromenljive evidencije transakcija, blockchain može doprineti očuvanju integriteta lanca snabdevanja, pomažući u sprečavanju prevara, falsifikovanih proizvoda i neefikasnosti. Ovo odgovara zahtevima za visok nivo pouzdanosti i tačnosti u farmaceutskoj industriji, što rezultuje povećanom bezbednosti pacijenata i boljom usklađenošću sa regulatornim standardima.

Primena blockchain tehnologije u ovoj industriji još je u ranoj fazi, međutim, pojedine kompanije su već počele da je koriste kako bi unapredile praćenje farmaceutskih proizvoda i suzbile problem falsifikovanih lekova. Najpoznatiji primer je projekat MediLedger, koji koriste poznate farmaceutske kompanije poput Pfizer-a.

Iako izazovi poput visokih troškova i potrebe za industrijskom standardizacijom i dalje postoje, blockchain tehnologija pokazuje ogroman potencijal za transformaciju

farmaceutskih lanaca snabdevanja. Obezbeđivanjem većeg nivoa sigurnosti, transparentnosti i efikasnosti, ona pruža čvrst okvir koji može značajno unaprediti ključne segmente procesa isporuke i distribucije lekova.

6. LITERATURA

- [1] P. Natalie, D. Gonsalvez, „The Top Ten Global Health Supply Chain Issues: Perspectives from the Field“, Operations Research for Health Care, Volume 3, Issue 4, pp. 226–230, 2014.
- [2] T. Bocek, B. B. Rodrigues, T. Strasser, B. Stiller, „Blockchains Everywhere - a Use-Case of Blockchains in the Pharma Supply-Chain“, 2017.
- [3] M. Gaynor, K. Gillespie, A. Roe, E. Crannage, J.E. Tuttle-Newhall, „Blockchain Applications in the Pharmaceutical Industry“, 2024.
- [4] Hyperledger Fabric Docs, <https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/latest/index.html> [Последњи приступ септембар 2024].
- [5] S. E. Fawcett, G. M. Magnan, M. W. McCarter, „Benefits, Barriers, and Bridges to Effective Supply Chain Management“, 2008.
- [6] P. Dutta, T. Choi, S. Somani, R. Butala, „Blockchain Technology in Supply Chain Operations: Applications, Challenges and Research Opportunities“, 2020.
- [7] S. A. Narayana, R. K. Pati, P. Vrat, „Managerial Research on the Pharmaceutical Supply Chain – A Critical Review and Some Insights for Future Directions“, 2014.
- [8] M. Wang, F. Jie, „Managing Supply Chain Uncertainty and Risk in the Pharmaceutical Industry“, 2019.
- [9] R. Pathak, V. Gaur, H. Sankrityayan, J. Gogtay, „Tackling Counterfeit Drugs: The Challenges and Possibilities“, 2023.
- [10] S. R. Bryatov, A. A. Borodinov, „Blockchain Technology in the Pharmaceutical Supply Chain: Researching a Business Model Based on Hyperledger Fabric“, 2019.

Kratka biografija:



Aleksandar Bjelobaba rođen je u Somboru 1999. godine. Osnovne akademske studije završio je 2022. godine na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Elektronsko poslovanje odbranio je 2024. god. kontakt: aleksandar.apt@gmail.com