

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
MEDICINSKI FAKULTET

Igor Radanović

**Mogućnosti upotrebe blockchain
tehnologije u medicini**

DIPLOMSKI RAD



Zagreb, 2019.

Ovaj ekvivalent diplomskom radu objavljen je na engleskom u časopisu *Applied Health Economics and Health Policy* te je izrađen na Zavodu za kliničku farmakologiju Kliničkog bolničkog centra Zagreb pod vodstvom prof. dr. sc. Roberta Likića i predan na ocjenu u akademskoj godini 2018./2019.

SADRŽAJ

SAŽETAK	1
SUMMARY	2
1. UVOD	1
2. PRIMJENA BLOCKCHAIN TEHNOLOGIJE U ZDRAVSTVU	5
2.1. Elektronički zdravstveni zapisi.....	5
2.2. Javno zdravstvo	5
2.3. Edukacija.....	7
2.4. Zdravstveno osiguranje i javna nabava	7
2.5. Biomedicinska istraživanja	8
2.6. Upravljanje opskrbom lijekovima i kontrola kvalitete	8
3. RASPRAVA	10
4. ZAKLJUČCI	13
ZAHVALE	14
LITERATURA	15
ŽIVOTOPIS	19

SAŽETAK

Mogućnosti upotrebe blockchain tehnologije u medicini

Igor Radanović

Blockchain tehnologija decentralizirana je baza podataka koja pohranjuje registar vlasništva i transakcija preko računalne mreže ravnopravnih računala, koja je osigurana kriptografijom, a tijekom vremena njena se povijest zaključava u blokove podataka koji su kriptografski povezani i osigurani. Do sada se primjeri upotrebe ove tehnologije susreću primarno u transakcijama kriptovalutama, digitalnim ugovorima, financijskim i javnim zapisima te vlasništvu nad nekretninama. Očekuje se da će se u budućnosti upotreba proširiti u medicinu, znanost, obrazovanje, intelektualno vlasništvo i upravljanje lancem opskrbe. Vjerojatna primjena u području medicine mogla bi uključivati elektroničke zdravstvene zapise, zdravstveno osiguranje, biomedicinska istraživanja, opskrbu i nabavu lijekova te medicinsko obrazovanje. Korištenje blockchaine nije bez slabosti i trenutno je ova tehnologija iznimno nezrela te joj nedostaje upoznatost javnosti, ali čak i stručno znanje, što otežava jasnu stratešku viziju pravog budućeg potencijala. Trenutno postoje problemi s količinom podataka u sustavu, sigurnošću pametnih ugovora i usvajanjem tehnologije od strane korisnika. Ipak, s ulaganjima u blockchain tehnologiju koja bi trebala doseći 400 milijuna USD u 2019. godini, zdravstveni stručnjaci i donositelji odluka trebali bi biti svjesni transformirajućeg potencijala koji blockchain tehnologija nudi zdravstvenim organizacijama i medicinskoj praksi.

Ključne riječi: blockchain, zdravstveno osiguranje, decentralizacija, podaci o pacijentima, obrazovanje

SUMMARY

Opportunities for Use of Blockchain Technology in Medicine

Igor Radanović

Blockchain technology is a decentralized database that stores a registry of assets and transactions across a peer-to-peer computer network, which is secured through cryptography, and over time, its history gets locked in blocks of data that are cryptographically linked together and secured. So far, there have been use cases of this technology for cryptocurrencies, digital contracts, financial and public records, and property ownership. It is expected that future uses will expand into medicine, science, education, intellectual property, and supply chain management. Likely applications in the field of medicine could include electronic health records, health insurance, biomedical research, drug supply and procurement processes, and medical education. Utilization of blockchain is not without its weaknesses and currently, this technology is extremely immature and lacks public or even expert knowledge, making it hard to have a clear strategic vision of its true future potential. Presently, there are issues with scalability, security of smart contracts, and user adoption. Nevertheless, with capital investments into blockchain technology projected to reach US\$400 million in 2019, health professionals and decision makers should be aware of the transformative potential that blockchain technology offers for healthcare organizations and medical practice.

Key words: blockchain, health insurance, decentralization, patient data, education

1. UVOD

U tijeku je rasprava u javnosti i među stručnjacima o bitcoinu, kriptovalutama i potencijalu ove tehnologije za njenom revolucionarnom ulogom u budućnosti našeg društva. Tehnologija iza bitcoina i svih drugih kriptovaluta naziva se blockchain. U nedavnom istraživanju koje je proveo HSBC, 59% anketiranih izjavilo je da nikada nisu čuli za blockchain tehnologiju. Čak i kad jesu čuli, 80% je reklo da ne znaju ili ne razumiju što je to [1]. Vidljivo je povećanje interesa kako bi se razumjelo ovu novu tehnologiju i to se može pokazati Googleovim trendovima za pretraživanje pojmova 'bitcoin' i 'blockchain', gdje 'blockchain' kao apstraktniji termin znatno zaostaje za prethodnim u aktivnosti pretraživanja korisnika [2]. Za daljnju analizu poznavanja tehnologije blockchaina među našom populacijom od interesa, 2017. godine proveli smo anketu među studentima pete godine Medicinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, u kojoj je većina anketiranih studenata (75,4%) potvrdila da nikada nisu čuli za blockchain (riješeno 49%, od ukupno 300 studenata), dok je samo 3,4% ispitanika izjavilo da prate novosti o tehnologiji. Štoviše, čak i oni studenti koji su tvrdili da znaju više o blockchainu, pogrešno su odgovorili na anketna pitanja koja su testirala općenito znanje o ovoj tehnologiji [3].

Blockchain je decentralizirana baza podataka (knjiga) koja pohranjuje registar imovine i transakcija preko računalne mreže ravnopravnih korisnika, djelujući kao javni registar vlasništva i transakcija, koji je osiguran kriptografijom, a tijekom vremena njegova se povijest zaključava putem blokova podataka koji su zatim kriptografski povezani i osigurani. Time se stvara nepromjenjiva i nepogrešiva evidencija svih transakcija u mreži. Ovaj se zapis replicira na svakom računalu koje koristi mrežu [4].

Trenutno se usluge poput prijenosa novca, trgovanja dionicama, dokazivanja vlasništva i identiteta bilježe u digitalnim bazama podataka i zahtijevaju središnje tijelo koje ih provjerava kako bi se uklonila nesigurnost. S druge strane, bez prisutnosti središnjeg tijela, podaci se mogu mijenjati, premještati ili brisati (novac, zalihe ili medicinske informacije), što bi posljedično uzrokovalo da sustav postane nefunkcionalan zbog nedostatka povjerenja i povećane nesigurnosti. Institucijama (bankama, osiguravajućim društvima, korporacijama i vladama) tradicionalno je povjereno da ažuriraju i osiguraju poslovne knjige. Blockchain tehnologija može promijeniti tu paradigmu. Ne bi nužno postojala potreba da središnje tijelo djeluje kao posrednik, budući da se

sva vlasništva i transakcije mogu matematički verificirati, odobriti, pohraniti i osigurati na blockchainu, a sudionici u sustavu ne bi mogli falsificirati ili manipulirati podacima. Dakle, sustavi koji se temelje na blockchainu mogli bi biti mnogo bliži repliciranju fizičkih transakcija, jer bi eliminirali posrednike. Takvi bi sustavi također mogli biti mnogo jeftiniji i racionalniji jer bi smanjili potrebu za birokracijom. Štoviše, budući da su blockchain baze podataka uvijek online, kriptografski osigurane i distribuirane na svakom računalu koje koristi mrežu, svaka organizacija s pristupom internetu mogla bi sudjelovati.

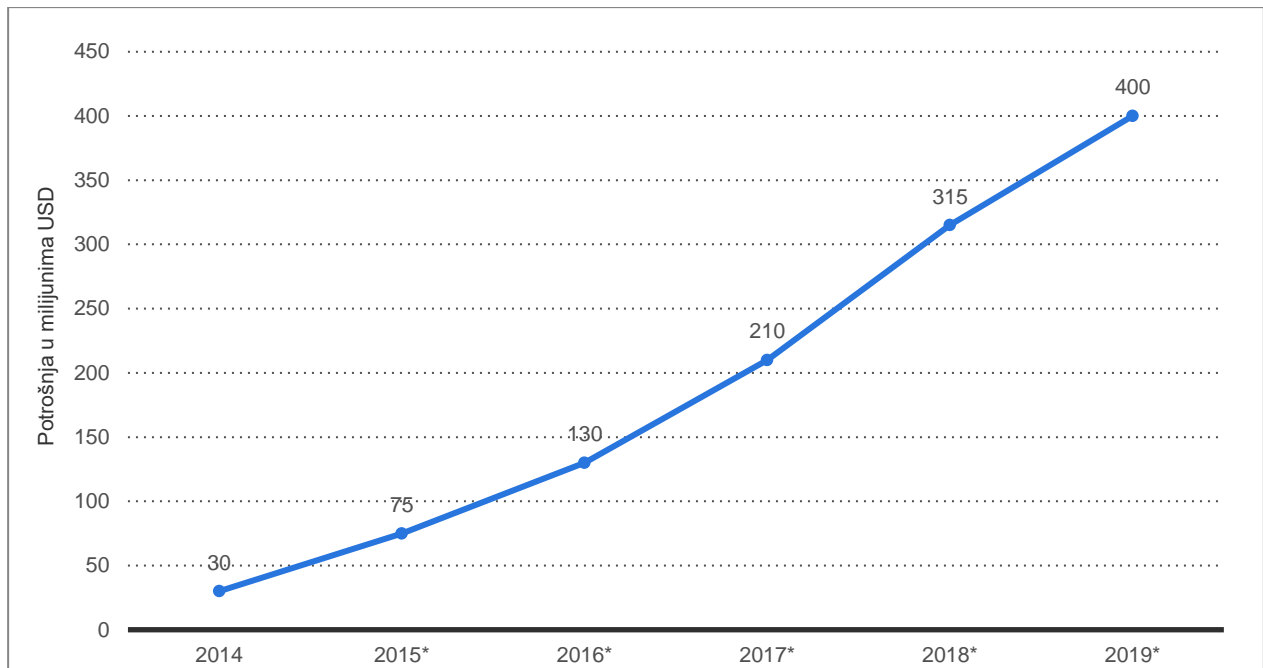
Najprije ćemo spomenuti financijsku upotrebu blockchain tehnologije budući da je kripto valuta bitcoin trenutno glavni primjer uporabe za ovu tehnologiju. Bitcoin je digitalna valuta bazirana na *peer-to-peer* (hrv. *isti sa istim* ili *svaki sa svakim*) tehnologiji umrežavanja i javnom ključu (velika brojčana vrijednost koja se koristi za šifriranje podataka). Sve transakcije su anonimne i neopozive, a upotreba decentralizirane dijeljene knjige zahtijeva da sve strane potvrde transakcije. Bitcoin je prvi put predstavljen kao teoretski koncept u članku iz 2008. godine kojeg je napisao "Satoshi Nakamoto" i od tada je zabilježen brzi rast u razvoju, usvajanju i sveukupnoj njegovoj upotrebi kao online valutne transakcije te je u prosincu 2017. dosegao najvišu cijenu od gotovo 20.000\$ za jedan bitcoin [5].

U bitcoin protokolu, korisnici nazvani "rudari" (engl. *miners*) nude svoju računalnu snagu za provjeru blockchain baze podataka, djelujući tako kao validatori transakcija, a istovremeno su potaknuti na to tako što su nagrađivani određenim brojem bitcoina a u zamjenu za njihovu računalnu snagu. Budući da distribuirana knjiga u ovom protokolu mora biti dostupna svima i odobrena od većine korisnika, to bi teoretski moglo rezultirati „51% napadom“ na blockchain, situaciju u kojoj velika grupa koja provjerava valjanost transakcija kontrolira više od 50% računalne mreže. Napadači bi tako stekli mogućnost da obrnu transakcije, omogućujući sebi dvostruko trošenje valute te zaustave plaćanje [6]. Međutim, u slučaju bitcoina i sličnih kriptovaluta, bilo bi potrebno masovno ulaganje u hardverske sustave kako bi se organizirao takav napad, čime bi se bilo koji kratkoročni financijski dobitak učinio zanemarivim. Štoviše, posljedična nestabilnost blockchaina mogla bi rezultirati devalvacijom te iste valute koje bi napadači pokušali iskoristiti za osobni dobitak.

Osim javnih blockchaina (od kojih je kripto valuta bitcoin najreprezentativniji primjer), koji ne zahtijevaju verifikaciju od strane institucija, postoje i druge vrste blockchaina koje mogu imati još

veći značaj za upotrebu u zdravstvu. S potpuno privatnim blockchainom, dozvole za pisanje daju se samo članovima organizacije, ali dozvole za čitanje i dalje mogu biti javne ili ograničene na neke ili sve sudionike mreže, čime se osigurava veća razina privatnosti. Na taj način, čuvanje medicinske dokumentacije pacijenata, mijenjanje stanja, poništavanje transakcija i promjena pravila mogu se lako postići od strane tvrtke ili zdravstvene organizacije. Nadalje, budući da su validatori privatnih blokova poznati, ne postoji rizik od napada 51% [7]. Postoje i vrste blockchaine koje su između javnog i privatnog. Tim, poluprivatnim blockchainom upravlja jedna tvrtka ili organizacija, ali on omogućuje pristup korisnicima, obično organizacijama koje ispunjavaju određene te unaprijed utvrđene akreditacije ili kriterije [8]. Takvim bi se sustavima upravljalo slično načinu na koji tvrtka upravlja svojim privatnim web-aplikacijama, a njihovi primjeri korištenja mogli bi uključivati: vođenje evidencije od strane vladinih agencija, zemljišne o katastarske knjige, arhivi, izdaci za zdravstvo i podaci o naknadama te receptima. U budućnosti, ti poluprivatni blockchain sustavi mogli bi imati najznačajniji utjecaj na zdravstvenu politiku i upravljanje.

U svojoj knjizi *"Blockchain, Blueprint for New Economy"* Melanie Swan definira tri faze usvajanja blockchaine. Prema njenom stajalištu, trenutno smo u prvoj fazi, s online kriptovalutama i transakcijama koje se svakodnevno odvijaju. Predviđa da Blockchain 2.0 nije daleko, a podrazumijeva praćenje digitalnih ugovora, financijskih i javnih evidencija i vlasništva u sustavima koji se temelje na blockchainu. Međutim, implementacija ove tehnologije ide čak i dalje. Očekuje se da će se Blockchain 3.0 proširiti na primjene u medicini, znanosti, obrazovanju, intelektualnom vlasništvu i distribucijskom lancu [9]. Trend rasta financiranja investicija u blockchain tehnologiju diljem svijeta traje od 2014. godine, pa stoga nije nerazumno očekivati da će se istraživanja ove tehnologije i njezinog potencijala i dalje nastaviti i čak ubrzavati (Slika 1).



Slika 1. Tržišna ulaganja u blockchain tehnologiju dilje svijeta. Zvezdica su predviđanja od 2014. do 2019. godine (u milijunima USD). Razboblje istraživanja: 2014-2015. Datum publikacije: rujan 2015. Izvor: statista.com

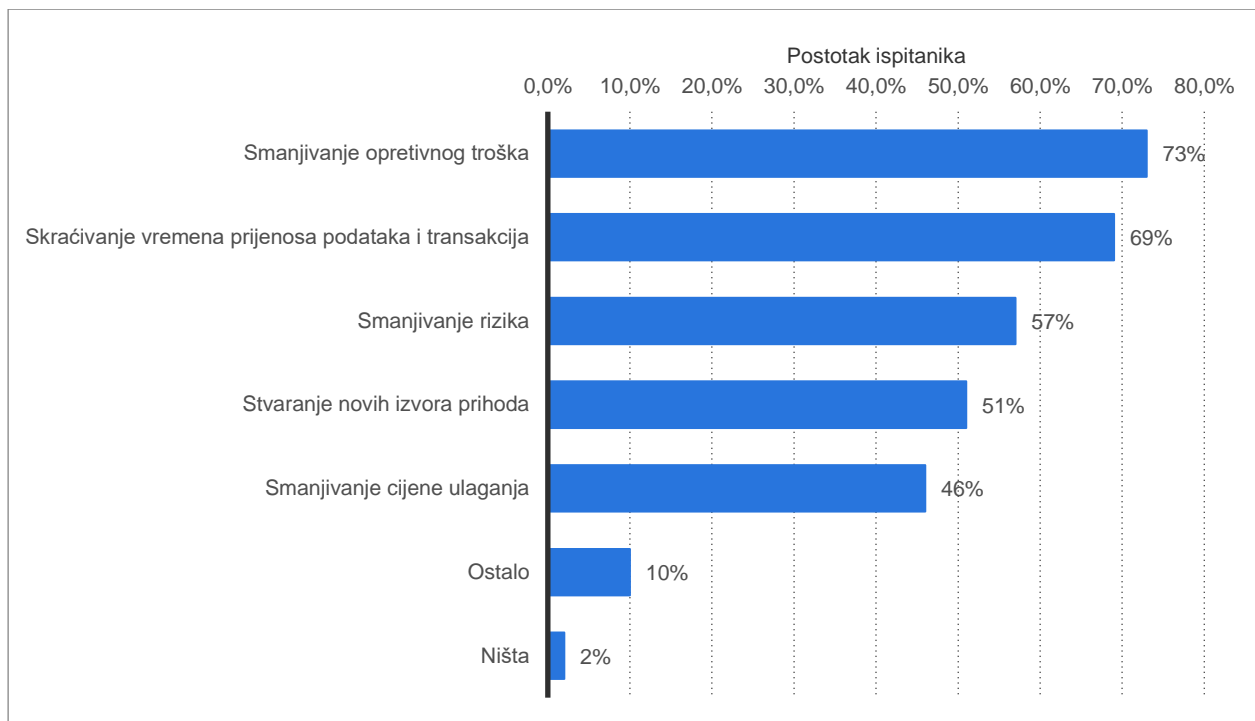
2. PRIMJENA BLOCKCHAIN TEHNOLOGIJE U ZDRAVSTVU

2.1. Elektronički zdravstveni zapisi

Postoje određene prednosti implementacije blockchain tehnologije u zdravstvene organizacije. Najočitija prednost je upravljanje pacijentovim elektroničkim medicinskim/zdravstvenim zapisima. Danas se informacije o pacijentima čuvaju na sigurnom na mnogim mjestima, raspršene među mnogim ustanovama, bolnicama i osiguravateljima, bez potpunog pristupa zajedničkoj bazi podataka o pacijentima [10]. Zdravstveni zapisi pohranjeni u blockchainu omogućili bi pacijentima da svoje strukturirane podatke učine dostupnim istraživačima i znanstvenicima, primjerice u zamjenu za određenu naknadu u kriptovaluti [9]. Takve baze podataka sa zdravstvenim zapisima pacijenata učinile bi unose neizmjenjivim i sigurnim, dok bi pacijenti mogli omogućiti pristup svojim elektroničkim zdravstvenim zapisima trećim osobama po vlastitoj volji [11]. Štoviše, pacijenti ne bi morali sa sobom nositi velik broj dokumenata koji sadrže njihovu povijest bolesti i rezultate dijagnostičkih postupaka svaki put kada traže konzultacije s drugim liječnikom. Pružatelji zdravstvenih usluga mogli bi na taj način lako pristupiti svim medicinskim podacima o pacijentu, bez obzira na vrijeme i ustanovu u kojoj su pružene zdravstvene usluge. Budući da bi pacijenti zapravo bili uključeni u upravljanje vlastitim zdravstvenim zapisima, oni bi se i više angažirali oko vlastitog zdravlja. Svi ovi čimbenici imaju potencijal smanjiti troškove skladištenja dokumenata i povećati učinkovitost, dodatno čak i integracijom automatskih sustava plaćanja osiguranja korištenjem pametnih ugovora (*samoizvršavajući* ugovori s prethodno definiranim uvjetima sporazuma između dvije strane) izgrađenih kao sloj na blockchainu [12].

2.2. Javno zdravstvo

U svojem istraživanju provedenom 2016. (Slika 2), Credit Suisse je pokazao da bi se primjenom blockchain tehnologije uštede mogle ostvariti u bolnicama, farmaceutskoj industriji i osiguravajućim društvima [13]. Farmaceutske tvrtke mogle bi koristiti anonimne i šifrirane medicinske podatke kako bi optimizirale i potaknule razvoj personaliziranih lijekova. Velik broj anonimnih podataka o pacijentima mogli bi se koristiti za usmjeravanje politika javnog zdravstva za cijelu populaciju i to bi omogućilo lakšu raspodjelu resursa tamo gdje su najpotrebnije. Štoviše,



Slika 2. Najznačajnije prednosti blockchain tehnologije u svijetu, u 2016. godini - postotak ispitanika. Razdoblje istraživanja: 2016. Datum publikacije: kolovoz 2016. Izvor: statista.com, *Greenwich Associates 2016 Blockchain Adoption Study*, istraživanje Credit Suisse

Centar za kontrolu i prevenciju bolesti (engl. Centers for Disease Control and Prevention, CDC), vodeća nacionalna javnozdravstvena institucija u SAD-u, već istražuje kako se blockchain može koristiti za učinkovito dijeljenje medicinskih podataka između različitih organizacija. U slučaju

krize ili pandemije, osjetljive osobne informacije o pacijentu moraju se dijeliti s mnogim institucijama i vrijeme je od temeljne važnosti. Budući da se trenutno mnogi procesi moraju obavljati ručno, dragocjeno vrijeme nepotrebno se gubi. Blockchain ima potencijal da održava podatke sigurnima i privatnima, dok u isto vrijeme omogućuje zdravstvenim institucijama da ga koriste i podijele što je brže moguće [14].

2.3. Edukacija

Medicinska edukacija je još jedno područje u kojoj uvođenje blockchain tehnologije može dati brojne prednosti. Čak i prije završetka medicinskog fakulteta, ova tehnologija se može koristiti za pohranjivanje i praćenje postignuća studenata tijekom provođenja nastavnog plana i programa te dokumentiranje kompetencija stečenih kroz niz različitih kliničkih područja, djelujući tako kao digitalni biljeg svakog studenta. Osim toga, s obzirom na to da je medicinsko obrazovanje proces cjeloživotnog učenja, evidencije na ovoj „digitalnoj knjizi“ mogle bi nastaviti rasti te arhivirati svaku konferenciju, svaki napisan članak i stopu uspješnosti liječenja pacijenata ili izvođenja kirurških zahvata. Liječnici bi tada mogli odlučiti žele li podijeliti te informacije s trećom stranom te se na taj način ovjerene potvrde i certifikati mogu lakše izdati, a proces je također štedljiviji i sigurniji. Mobilnost liječnika bi se uvelike povećala, a suvišna papirologija i odobrenja bila bi svedena na minimum [15]. Massachusetts Institute of Technology (MIT) već je započeo pilot program u ljeto 2017. na 111 diplomanata, koji je uključivao izdavanje digitalnih diploma na njihovim pametnim telefonima (osim tradicionalnih potvrda na papiru) koje su mogli lako dijeliti s drugima - potencijalnim poslodavcima, prijateljima i institucijama [16].

2.4. Zdravstveno osiguranje i javna nabava

Politike javne nabave također su jedan od aspekata upravljanja zdravstvenom skrbi koji bi se mogao znatno poboljšati kroz implementaciju blockchain tehnologije jer bi ta tehnologija osigurala da je ponuda i dobava robe i lijekova transparentna, provjerljiva i učinkovitija. Sve cijene, prethodne ponude i prakse pojedinih dobavljača mogle bi se lako provjeriti. Uvođenjem pametnih ugovora transakcije se mogu provoditi automatski i putem interneta kad god su ispunjeni unaprijed dogovoreni preduvjeti.

Nepromjenjiva zajednička baza podataka idealna je za bilježenje osjetljivih informacija, koje imaju visoku propusnost, obično zahtijevaju posrednika i relativno su stabilne. U projektu koji su razvili medijski laboratorij Massachusetts Institute of Technology Media Lab i Beth Israel Deaconess Medical Centre pod nazivom MedRec, podaci o pacijentima ostaju pohranjeni lokalno, dok su dozvole za pristup podacima i lokacije pohrane podataka sadržani u blockchainu. Projekt tako omogućuje pacijentima da imaju kontrolu nad tim tko može pristupiti njihovim podacima i

pod kojim uvjetima, garantirajući učinkovitije zdravstveno osiguranje i brži i sigurniji pristup za sudjelovanje u biomedicinskim istraživanjima [17].

Pametni ugovori su programi koji koriste blockchain i kriptovalute (npr. na platformi Ethereum) te koji se izvršavaju automatski, neovisno o svojim tvorcima i točno onako kako je prethodno utvrđeno [18]. U rujnu 2017. godine, vodeća francuska osiguravajuća grupacija Axa® počela je nuditi privatno osiguranje od kašnjenja avionskog leta na platformi Ethereum pod nazivom *fizzy*TM koje koristi pametne ugovore povezane s globalnim bazama podataka zračnog prometa. Čim se otkrije kašnjenje, odmah se i sigurno pokreće postupak novčane kompenzacije korisniku, čime se izbjegava potreba za dodatnom papirologijom [19]. Sličan postupak mogao bi se ostvariti u zdravstvenom osiguranju, s uklanjanjem potrebe za provjerom medicinske dokumentacije i značajnim pojednostavljenjem procesa.

2.5. Biomedicinska istraživanja

Blockchain bi ubrzao biomedicinska istraživanja, istodobno eliminirajući krivotvorenje podataka, selektivnost izvješćivanja (odstupanje objavljivanja ili engl. *publication bias*) i falsificiranje, sve opsežne probleme u današnjoj znanosti [20,21]. Podaci iz istraživanja bili bi vremenski označeni i javno transparentni. Čak i prije početka kliničkog ispitivanja, svi planovi, suglasnosti, protokoli i mogući ishodi mogli bi se pohraniti na blockchainu. Na taj bi se način spriječilo neobjavljivanje neželjenih rezultata studija. Pametni ugovori također se mogu koristiti za povezivanje nekoliko faza kliničkog ispitivanja, na način da samo ako se poštuju svi koraci prilikom istraživanja i ispravno validira korištena metodologija, istraživanje će napredovati u sljedeću fazu, čime bi se osigurala transparentnost i povjerenje u klinička ispitivanja lijekova [22]. Nadalje, farmaceutske tvrtke i istraživački instituti mogli bi koristiti veliku količinu podataka pohranjenih u blockchain za provođenje naprednih istraživanja kako bi pronašli teme od interesa za potencijalne genomske studije [23,24].

2.6. Upravljanje opskrbom lijekovima i kontrola kvalitete

Neke farmaceutske tvrtke već su počele uvoditi blockchain u upravljanje lancem opskrbe lijekovima jer su krivotvoreni lijekovi važan javnozdravstveni problem i opasnost za sigurnost

pacijenata, osobito u zemljama u razvoju [25]. Iako je učestalost u razvijenim zemljama niža, procjenjuje se da su krivotvoreni lijekovi europsku farmaceutsku industriju koštali oko 10,2 milijarde eura ili 4,4% prodaje svake godine i rezultirali izravnim gubitkom od oko 40 000 radnih mjesta [26]. Osim toga, zabilježen je porast broja krivotvorenih lijekova za 400% u razdoblju od 2005. do 2010. samo u Europi [27]. Blockchain sustavi mogu se koristiti za bilježenje kretanja lijekova i provjeru njihove autentičnosti kroz cijeli lanac opskrbe. Svaki distribuirani proizvod može biti označen jedinstvenim kodom, a blockchain se može koristiti za provjeru autentičnosti koda i proizvoda [28]. Postojanje javne baze podataka na blockchainu omogućila bi svima da provjere je li identifikacijski broj proizvoda autentičan. To bi mogao biti veliki korak u iscrpljujućoj borbi protiv lake dostupnosti krivotvorenih lijekova i medicinskih proizvoda.

Konačno, kako bi se pribavio bolji uvid u to je li blockchain prikladan za uporabu u određenom sustavu ili okolini, dr. Adrain McCullagh predložio je takozvani model *FITS* (hrv. *prikladnost*, na engl. akronim za prijevaru – *Fraud*, posrednike - *Intermediary*, propusnost – *Throughput* i stabilne podatke – *Stable data*) [29]. Prvo, blockchain je najbolje koristiti ako postoji velika vjerojatnost *prijevare* u transakcijama. Dok će financijske institucije i banke vjerojatno prve usvojiti ovu tehnologiju, zdravstveni sustavi i lanci opskrbe lijekovima osobito su ranjivi na prijevaru i korupciju te se očekuje da će iskoristiti ovu tehnologiju u bliskoj budućnosti [30,31].

Iako trenutno postoji vrlo malo provjera inovativnog koncepta (engl. *proof of concept*) i očigledan nedostatak literature na temu upotrebe blockchain tehnologije u zdravstvu, već postoji nekoliko prototipova koje su izgradile startup tvrtke. Jedan takav projekt tvrtke *Chronicle, Inc.* koristi sigurnosne zatvarače opskrbljene „komunikacijom bliskog polja“ (engl. *Near Field Communication*, NFC), koji su verificirane blockchain tehnologijom kako bi se osigurala identifikacija proizvoda. *Blockverify* koristi sličnu tehnologiju korištenjem oznaka za provjeru u svrhu protiv krivotvorenja [32].

3. RASPRAVA

Korištenje blockchaina u obliku u kakvom je danas nije bez nedostataka. Trenutno je tehnologija iznimno nezrela i nedostaje joj prepoznatost, a čak i stručno poznavanje, što otežava jasnu stratešku viziju potencijalnih budućih uporaba. Danas postoji malo dokaza o uspješnom konceptu i nekoliko pilot projekata i prototipa koji demonstriraju izvedivost ili praktičnu primjenu blockchaina. Mogu se predvidjeti problemi vezani uz izvođenje i troškove koji se pojavljuju u zemljama u razvoju. Pitanje troškova razvoja bi moglo biti prisutno, barem na samom početku, i u razvijenim dijelovima svijeta jer bi troškovi implementacije i električne energije mogli nadmašiti uštede ostvarene smanjenjem birokracije i povećanjem učinkovitosti zdravstvene skrbi koja bi bila postignuta kroz učinkovitije upravljanje vremenom i smanjivanjem troškova osoblja. Međutim, smanjenjem potrebe za ručnom obradom dokumentacije i provedbom sustava pametnih ugovora, pomoću kojih bi se obradili i ispunili samo valjani zahtjevi za osiguranjem, kao i smanjivanjem (ili sprječavanjem) potencijala za prijevaru i korupciju, blockchain tehnologija mogla bi donijeti značajne uštede troškova tijekom nekoliko godina nakon implementacije.

Iako se danas pristup internetu smatra ljudskim pravom, čak bi i privremeni prekid u bolnicama ili drugim zdravstvenim ustanovama koje koriste blockchain tehnologiju mogao uzrokovati poremećaje na razini cijelog sustava [33]. Sigurnost javne blockchain tehnologije prvenstveno se temelji na činjenici da su sve transakcije autentične i ostavljaju trajni zapis, ali je podložna raspravi činjenica jesu li podaci o pacijentu dovoljno privatni unatoč šifriranju pošto povezivanje dovoljno podataka može otkriti vlasnika i njegove privatne informacije. Slično tome, sigurnost i dostupnost današnjih blockchain mreža također su poljuljani činjenicom da neke od njih imaju velike probleme sa mogućnošću nadogradnje u odnosu na obujam podataka koji se obrađuje [34]. Na primjer, trenutna postavka Ethereum blockchaina zahtijeva da svaka transakcija biva provjerena od strane svakog validatora na mreži, što je činjenica koja ovu mrežu čini znatno sporijom, ovisno o opterećenju podataka. Bilo je prijedloga mogućih rješenja, dok se neki trenutno provode s ciljem da se značajno poveća protok podataka i ukupni kapacitet blockchaina [35].

Primjena blockchain tehnologije u zdravstvu ima neke specifične dodatne probleme u vezi s upravljanjem velikim količinama podataka o pacijentima, ako se podaci pohranjuju na samom blockchainu. Za besprijekoran rad, takav bi sustav zahtijevao značajnu količinu resursa i računalnu

snagu. Međutim, postoji mogućnost pohranjivanja šifriranih podataka o pacijentu "izvan lanca", dok su informacije o tim podacima i njegovoj dostupnosti pohranjene na blockchainu. U takvom scenariju, sporna je čak i potreba za blockchainom, ako se njegova implementacija temelji na rješenju za pohranu podataka izvan lanca. Razlog tome je činjenica da se većina jamstava za trajnost i nepromjenjivost podataka pohranjenih u blockchainu s ovim pristupom gubi jer se podaci pohranjuju na tradicionalan način. Međutim, i dalje postoje prednosti koje ostaju unatoč svim navedenim ograničenjima, a glavna prednost je lako interoperabilnost i mogućnost dijeljenja podataka između različitih dionika u zdravstvu i šire.

Tehnička složenost kriptografije također je nešto na što treba obratiti pozornost jer može imati negativne učinke na usvajanje ove tehnologije. Stariji pacijenti i danas imaju problema sa snalaženjem unutar zdravstvenog sustava, pa od njih tražiti da sudjeluju u upravljanju vlastitim medicinskim i zdravstvenim zapisima vjerojatno neće biti praćeno velikim entuzijazmom [36].

Prijetnje koje se mogu pojaviti korištenjem blockchain tehnologije trenutno su svijet nepoznatog, tako da se većina ne može čak ni predvidjeti. Jedna od predvidivih prijetnji svakako je problem privatnosti, što je povezano s rizikom neovlaštenog pristupa podacima, bilo od strane vlade i države ili bilo koje institucije usmjerene ka profitu (hakeri, organizirani kriminal, poduzeća). Taj je rizik prilično stvaran jer se ekstremno velika baza osobnih i medicinskih podataka može u budućnosti osloniti na blockchain tehnologiju. Procjenjuje se da je na mreži Ethereum blockchaine više od milijun pametnih ugovora, trenutno ukupne vrijednosti više od 3,2 milijarde USD i do sada je bilo nekoliko hakerskih napada i softverskih grešaka koje su uzrokovale značajne financijske gubitke. Na primjer, u studenom 2017. godine 150 milijuna USD postalo je nedostupno korisnicima usluge *Parity*, kao rezultat lošeg kodiranja u osnovnom pametnom ugovoru [37–39]. Takvi problemi mogu se ublažiti većom posvećenošću kvaliteti softvera, sigurnosti i pozitivnoj javnoj komunikaciji o prednostima blockchain sustava. To će također ovisiti o motivaciji softverskih tvrtki da ulažu u rigorozan razvoj blockchaine i da dokažu ispravnost, skalabilnost i sigurnost temeljne tehnologije. Budući da se podacima na blockchainu može pristupiti samo putem privatnog ključa, postoji i stvarna prijetnja ugrožavanja osobnih ključeva i neovlaštenog pristupa. Središnja nacionalna ili međunarodna tijela bila bi potrebna u slučajevima kao što su ovi, što bi na neki način povećalo rizik od kršenja sigurnosti tako što bi se institucijama treće strane od početka pružalo osjetljive informacije. Bez obzira na to, svi se incidenti moraju brzo otkriti i riješiti, a kontrole treba

uspostaviti kako bi se usporilo, zaustavilo ili preokrenulo izvršavanje lažnih transakcija ili prijenosa podataka. Također bi trebala postojati mogućnost za dobivanje dokaza o identitetu u razumnom roku. Niti jedna od ovih mjera trenutno ne postoji. Osim toga, čak i ako su sve sigurnosne mjere na snazi i transakcije se poništavaju, podaci koji su jednom bili otkriveni ostaju zauvijek javno dostupni. Privatni ili poluprivatni blockchain sustavi mogli bi u određenoj mjeri ublažiti taj rizik.

Konačno, privatni ključevi za šifriranje podataka u slučajevima u kojima se koristi blockchain tehnologija od apsolutno su najveće važnosti. Migriranje u takav sustav zahtijevalo bi povećanu edukaciju pacijenata i osoblja o tom ključnom uvjetu korištenja. Čak i danas, 25 godina nakon što je internet postao sveprisutan i dostupan svima, mnogi se još uvijek bore sa shvaćanjem važnosti korištenja jake lozinke, njenom sigurnošću te memoriranjem.

4. ZAKLJUČCI

Iako je blockchain tehnologija zasigurno u povojima, već vidimo napredak u njenoj provedbi u svakodnevnom životu, osobito u bankarstvu i financijskim institucijama. Postoji mnogo važnih prepreka koje treba prevladati kako bi blockchain postigao svoj puni potencijal i bio primjenjiv u zdravstvu, a najvažnija pitanja su robusnost tehnologije i kontrola pristupa informacijama. Neke od najvećih prednosti primjene ove tehnologije u zdravstvu su pristup velikom skupu anonimnih zdravstvenih podataka koji bi se mogli koristiti za personalizirani razvoj lijekova, racionalizaciju troškova zdravstvene skrbi i zdravstvenog osiguranja, kao i poboljšanje javnozdravstvenih politika. Osim toga, privatne zdravstvene informacije mogu biti u rukama pacijenata, potičući ih tako da kontroliraju što institucije primaju i čuvaju, pod kojim okolnostima i koliko dugo. Zajedno s dostupnošću podataka o pružateljima zdravstvenih usluga, ova vrsta uključivanja pacijenata u vlastito zdravlje mogla bi donijeti novu eru u zdravstvu.

Da bi ova tehnologija napredovala i ispunila spomenuta očekivanja Melanie Swan za razvoj Blockchaina 3.0, trebalo bi se pojaviti mnogo više primjera implementacije, detaljnih provjera inovativnog koncepta, kao i istraživačkih članaka usmjerenih na tehničke prednosti i ograničenja blockchain tehnologije. Trenutno, tehnologija nije spremna za implementaciju širokog spektra, a mnogi potencijalni projekti možda čekaju da temelj i infrastruktura budu pouzdani, uz riješenu većinu osnovnih problema. Međutim, ako se u nadolazećim godinama te poteškoće prevladaju, vjerujemo da će novi koncepti, primjeri upotrebe i financijski interesi mnogih dionika sustava potaknuti razvoj ove tehnologije još više nego danas.

Zaključno, akademska je literatura još uvijek izrazito oskudna u pogledu potencijalne primjene blockchain tehnologije u zdravstvenim sustavima. Zdravstveni stručnjaci i donositelji odluka trebali bi postati svjesni ogromnog i transformirajućeg potencijala koji ova tehnologija predstavlja za prakticiranje medicine.

ZAHVALE

Zahvaljujem svom mentoru prof. dr. sc. Robertu Likiću na pruženoj prilici, ukazanom povjerenju i podršci koja je konačno i rezultirala objavom ovog rada u časopisu.

Zahvaljujem i svojim roditeljima i prijateljima koji su me podržavali tijekom svih 6 godina studija.

LITERATURA

1. HSBC. Rise of the technophobe - education key to tech adoption, says HSBC [Internet]. 2017 [citirano 05. studeni 2017.]. Dostupno na: <http://www.hsbc.com/news-and-insight/media-resources/media-releases/2017/rise-of-the-technophobe-education-key-to-tech-adoption-says-hsbc>
2. Blockchain, bitcoin - Google Trends [Internet]. 2017 [citirano 20. prosinac 2017.]. Dostupno na: <https://trends.google.com/trends/explore?q=blockchain,bitcoin>
3. Radanovic I, Rkman D, Likic R. Awareness of blockchain technology: a survey among students of the Zagreb Medical School [Internet]. 18th World Congress of Basic and Clinical Pharmacology; 2018 [citirano 06. veljača 2019.]. Dostupno na: https://www.micenavi.jp/wcp2018/search/detail_program/id:1049
4. Warburg B. How the blockchain will radically transform the economy, TED Talk [Internet]. 2016 [citirano 07. studeni 2017.]. Dostupno na: https://www.ted.com/talks/bettina_warburg_how_the_blockchain_will_radically_transform_the_economy/transcript
5. Nakamoto S. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. 2008.;9.
6. 51% Attack | Investopedia [Internet]. [citirano 16. travanj 2018.]. Dostupno na: <https://www.investopedia.com/terms/1/51-attack.asp>
7. Dobson D. The 4 Types of Blockchain Networks Explained - ILTA [Internet]. [citirano 19. travanj 2018.]. Dostupno na: <https://www.iltanet.org/blogs/deborah-dobson/2018/02/13/the-4-types-of-blockchain-networks-explained?ssopc=1>
8. Mougayar W. Understanding Semi-private Blockchain Applications – Medium [Internet]. [citirano 19. travanj 2018.]. Dostupno na: <https://medium.com/@wmougayar/understanding-semi-private-blockchain-applications-6bbe91fc3596>
9. Swan M. Blockchain: Blueprint for a New Economy. Sebastopol, CA: O'Reilly Media; 2015.

10. Skiba DJ. The Potential of Blockchain in Education and Health Care. *Nurs Educ Perspect.* 2017.;38(4):220–1.
11. Yue X, Wang H, Jin D, Li M, Jiang W. Healthcare Data Gateways: Found Healthcare Intelligence on Blockchain with Novel Privacy Risk Control. *J Med Syst.* 2016.;40(10).
12. Engelhardt MA. Hitching Healthcare to the Chain: An Introduction to Blockchain Technology in the Healthcare Sector. *Technol Innov Manag Rev.* 2017.;7(10).
13. Brennan C, Lunn W. *Blockchain - The Trust Disrupter.* 2016.;
14. Orcutt M. Why the CDC Wants in on Blockchain [Internet]. *MIT Technology Review.* 2017 [citirano 12. studeni 2017.]. Dostupno na: https://www.technologyreview.com/s/608959/why-the-cdc-wants-in-on-blockchain/?utm_source=MIT+Technology+Review&utm_campaign=5e937b6947-The_Download&utm_medium=email&utm_term=0_997ed6f472-5e937b6947-154328629
15. Peters A. Can blockchain disrupt health education, licensing, and credentialling? [Internet]. *The Lancet Global Health Blog.* 2017 [citirano 12. studeni 2017.]. Dostupno na: <http://globalhealth.thelancet.com/2017/10/31/can-blockchain-disrupt-health-education-licensing-and-credentialling>
16. Durant E, Trachy A. Digital Diploma debuts at MIT [Internet]. *MIT News.* 2017 [citirano 12. studeni 2017.]. Dostupno na: <http://news.mit.edu/2017/mit-debuts-secure-digital-diploma-using-bitcoin-blockchain-technology-1017>
17. Angraal S, Krumholz HM, Schulz WL. Blockchain technology: Applications in health care. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes.* 2017.;10(9):1–4.
18. Nugent T, Upton D, Cimpoesu M. Improving data transparency in clinical trials using blockchain smart contracts. *F1000Research.* 2016.;5:2541.
19. fizzy [Internet]. [citirano 07. studeni 2017.]. Dostupno na: <https://fizzy.axa/>
20. Fanelli D. How many scientists fabricate and falsify research? A systematic review and meta-analysis of survey data. *PLoS One.* 29. svibanj 2009.;4(5):e5738.
21. Fanelli D. Negative results are disappearing from most disciplines and countries.

- Scientometrics. 2012.;90(3):891–904.
22. Benchoufi M, Ravaud P. Blockchain technology for improving clinical research quality. *Trials*. 2017.;18(1):335.
 23. Lin P. Blockchain: The Missing Link Between Genomics and Privacy? [Internet]. *Forbes*. 2017 [citirano 09. studeni 2017.]. Dostupno na: <https://www.forbes.com/sites/patricklin/2017/05/08/blockchain-the-missing-link-between-genomics-and-privacy/#531556b14b77>
 24. Zimmerman J. DNA Block Chain Project Boosts Research, Preserves Patient Anonymity [Internet]. *Coindesk*. 2014 [citirano 08. studeni 2017.]. Dostupno na: <https://www.coindesk.com/israels-dna-bits-moves-beyond-currency-with-genes-blockchain/>
 25. Glass B. Counterfeit drugs and medical devices in developing countries. *Res Rep Trop Med*. 24. ožujak 2014.;5:11.
 26. Wajzman N, Arias Burgos C, Davies C. The Economic Cost Of IPR Infringement In The Pharmaceutical Industry. 2016.;
 27. WHO Expert Committee On Specifications For Pharmaceutical Preparations. *WHO Tech Rep Ser*. 2009.;
 28. Kuo T-T, Kim H-E, Ohno-Machado L. Blockchain distributed ledger technologies for biomedical and health care applications. *J Am Med Informatics Assoc*. 2017.;24(October):1211–20.
 29. McCullagh A. Why Blockchain Matters More Than You Think! - YouTube [Internet]. [citirano 23. travanj 2018.]. Dostupno na: <https://youtu.be/sDNN0uH2Z3o?t=4m36s>
 30. Sommersguter-Reichmann M, Wild C, Stepan A, Reichmann G, Fried A. Individual and Institutional Corruption in European and US Healthcare: Overview and Link of Various Corruption Typologies. *Appl Health Econ Health Policy*. 23. lipanj 2018.;16(3):289–302.
 31. How Blockchain Will Accelerate Business Performance and Power the Smart Economy [Internet]. *Harvard Business Review*. 2017 [citirano 05. studeni 2017.]. Dostupno na:

<https://hbr.org/sponsored/2017/10/how-blockchain-will-accelerate-business-performance-and-power-the-smart-economy>

32. Mackey TK, Nayyar G. A review of existing and emerging digital technologies to combat the global trade in fake medicines. *Expert Opin Drug Saf.* 2017.;16(5):587–602.
33. Vincent J. UN condemns internet access disruption as a human rights violation - The Verge [Internet]. July, 4. 2016 [citirano 06. veljača 2019.]. Dostupno na: <https://www.theverge.com/2016/7/4/12092740/un-resolution-condemns-disrupting-internet-access>
34. Goswami S. Scalability Analysis of Blockchains Through Blockchain Simulation. 2017.;
35. Buterin V. Ethereum scalability research and development subsidy programs - Ethereum Blog [Internet]. [citirano 19. travanj 2018.]. Dostupno na: <https://blog.ethereum.org/2018/01/02/ethereum-scalability-research-development-subsidy-programs/>
36. Hoy MB. An Introduction to the Blockchain and Its Implications for Libraries and Medicine. *Med Ref Serv Q.* 2017.;36(3):273–9.
37. Orcutt M. Ethereum’s smart contracts are full of holes - MIT Technology Review [Internet]. [citirano 16. travanj 2018.]. Dostupno na: <https://www.technologyreview.com/s/610392/etherenums-smart-contracts-are-full-of-holes/>
38. Pearson J. Millions of Dollars In Ethereum Are Vulnerable to Hackers Right Now - Motherboard [Internet]. [citirano 16. travanj 2018.]. Dostupno na: https://motherboard.vice.com/en_us/article/8xddka/millions-of-dollars-in-ethereum-are-vulnerable-to-hackers-right-now-smart-contract-bugs
39. Nikolic I, Kolluri A, Sergey I, Saxena P, Hobor A. Finding The Greedy, Prodigal, and Suicidal Contracts at Scale. eprint arXiv:180206038. 2018.;

ŽIVOTOPIS

Rođen sam 21. srpnja 1994. u Osijeku gdje sam završio III. gimnaziju i srednju glazbenu školu Franje Kuhača, smjer klavirist. Medicinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu upisao sam 2013. godine. Tijekom studija bio sam demonstrator na Katedri za anatomiju i kliničku anatomiju te na Katedri za histologiju i embriologiju. Aktivno sam sudjelovao u radu Laboratorija za molekularnu imunologiju te sam i suradnik na projektu Hrvatske zaklade za znanost. Dobitnik sam Rektorove nagrade za individualni znanstveni rad i Posebne dekanove nagrade za doprinos Medicinskom fakultetu. Predsjednik sam Znanstvenog odbora međunarodnog kongresa u organizaciji studenata Croatian Student Summit uzastopno dvije godine.

Autor sam triju publikacija u časopisima koje citira Current Contents (CC), od čega sam dvije objavio kao prvi autor. Sudjelovao sam na brojnim skupovima i kongresima, od čega bih izdvojio usmeno izlaganje na svjetskom kongresu farmakologije u Japanu (WCP2018) te na kongresu britanske udruge farmakologa (British Pharmacological Society) čiji sam i član. Posjedujem međunarodni Cambridge Certificate in Advanced English (CAE) koji odgovara C1 stupnju engleskog jezika. Također bih istaknuo završeni tečaj statistike Sveučilišta Stanford te članstvo u Međunarodnom društvu za farmakoekonomiku i istraživanje ishoda (ISPOR).