

Mogućnosti upotrebe *blockchain* tehnologije u medicini

Igor Radanović¹, Robert Likić^{1,2}

¹Medicinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska

²Klinički Bolnički Centar Zagreb, Klinika za unutrašnje bolesti, Zavod za kliničku farmakologiju, Zagreb, Hrvatska

E-pošta: igor.radanovic94@gmail.com

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 *blockchaina* 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.

Cljučne riječi: *blockchain*; zdravstveno osiguranje; decentralizacija; podaci o pacijentima; obrazovanje

Uvod

U tijeku je rasprava u javnosti i među stručnjacima o bitcoinu, kriptovalutama i potencijalu ove tehnologije za revolucionarnu ulogu 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 ako jesu čuli, 80% je reklo da ne znaju ili ne razumiju što ta tehnologija jest¹. Vidljivo je povećanje interesa kako bi se razumjelo ovu novu tehnologiju i to se može pokazati Google-ovim trendovima za pretraživanje pojmova 'bitcoin' i 'blockchain', gdje 'blockchain' kao apstraktniji termin znatno zaostaje za prethodnim u aktivnosti pretraživanja korisnika². Za daljnju analizu poznavanja tehnologije *blockchaina* među našom populacijom od interesa, 2017. godine smo proveli 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 ovoj tehnologiji. Štoviše, čak i oni studenti koji su tvrdili da znaju više o *blockchainu*, netočno su odgovorili na anketna pitanja koja su testirala općenito znanje o ovoj tehnologiji³.

Blockchain je decentralizirana baza podataka 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 mrežu⁴.

Trenutno se usluge poput prijenosa novca, trgovanja dionicama, dokazivanja vlasništva i identiteta bilježe u digitalnim bazama podataka i zahtijevaju središnju instituciju koja ih provjerava kako bi se uklonila nesigurnost. S druge strane, bez prisutnosti središnje institucije, 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 ažuriranje i čuvanje poslovnih knjiga. 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.

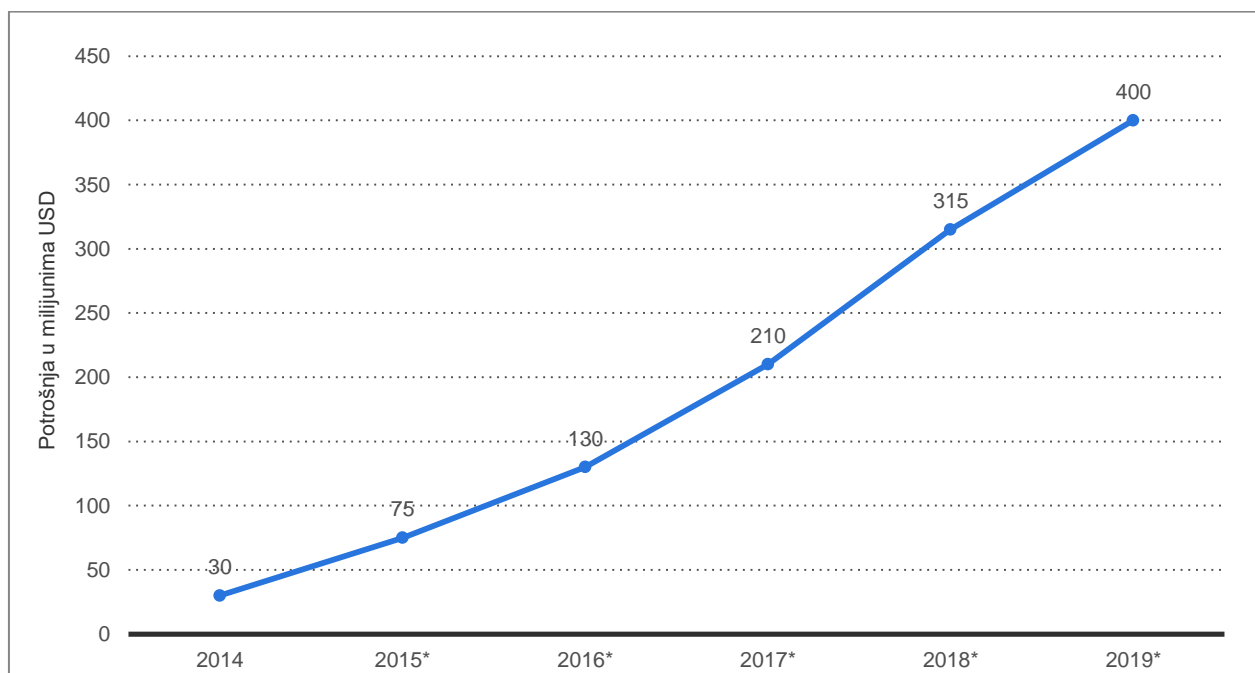
Najprije ćemo spomenuti financijsku upotrebu blockchain tehnologije budući da je kripto valuta bitcoin trenutno glavni primjer uporabe za ovu tehnologiju. Bitcoin je digitalna valuta bazirana na *peer-to-peer* (hrv. *isti sa istim* ili *svaki sa svakim*) tehnologiji umrežavanja i javnom ključu (velika brojana 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 valute za financijske transakcije, te je u prosincu 2017. dosegno najvišu cijenu od gotovo 20.000\$ za jedan bitcoin⁵.

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 u zamjenu za rad njihovih računala u obradi podataka u sklopu bitcoin protokola. Budući da distribuirani registar u ovom protokolu mora biti dostupan svima i odobren od većine korisnika, to bi teoretski moglo rezultirati „51% napadom“ na blockchain, situaciju u kojoj bi velika grupa korisnika koja provjerava valjanost transakcija kontrolirala više od 50% računalne mreže. Napadači bi tako stekli mogućnost da obrnu transakcije, omogućući sebi dvostruko trošenje valute te zaustave plaćanje⁶. 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 koju 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 blockchaina koje su između javnog i privatnog. Takvim, poluprivatnim blockchainom upravlja jedna tvrtka ili organizacija, ali on omogućuje pristup korisnicima, obično organizacijama koje ispunjavaju određene te unaprijed utvrđene akreditacije ili kriterije⁸. 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 ili katastarske knjige, arhive, izdatke za zdravstvo i podatke 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 blockchaina. Prema njenom stajalištu, trenutno smo u prvoj fazi, s online kriptovalutama i transakcijama koje se svakodnevno odvijaju. Ona predviđa da Blockchain 2.0 nije daleko, a to 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 lancu⁹. 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

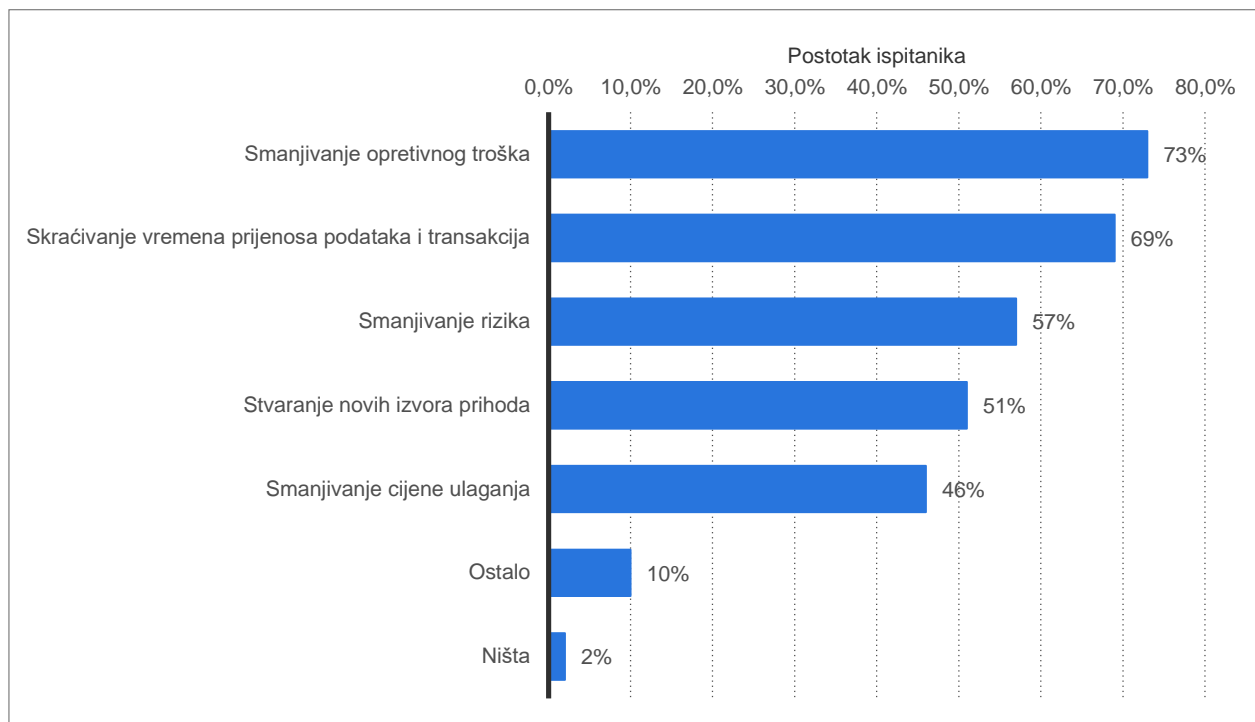
Primjena blockchain tehnologije u zdravstvu

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 osigurane na mnogim mjestima, raspršene među mnogim ustanovama, bolnicama i osiguravateljima, bez potpunog pristupa zajedničkoj bazi podataka o pacijentima¹⁰. Zdravstveni zapisi pohranjeni u blockchainu omogućili bi pacijentima da svoje strukturirane podatke učine dostupnim istraživačima i znanstvenicima, primjerice u zamjenu za određenu naknadu u kriptovaluti⁹. 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 volji¹¹. 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 blockchainu¹².

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 društvima¹³. Farmaceutske tvrtke mogle bi koristiti anonimne i šifrirane medicinske podatke kako bi optimizirale i potaknule razvoj personaliziranih lijekova. Velik broj anonimnih podataka o pacijentima mogao 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 podatke što je brže moguće¹⁴.

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 u 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 bi se na taj način ovjerene potvrde i certifikati mogu lakše izdati, a proces bi bio također štedljiviji i sigurniji. Mobilnost liječnika bi se uvelike povećala, a suvišna papirologija i odobrenja bila bi svedena na minimum¹⁵. 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 diplomanti mogli lako dijeliti s drugima - potencijalnim poslodavcima, prijateljima i institucijama¹⁶.

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 istraživanjima¹⁷.

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 utvrđeno¹⁸. U rujnu 2017. godine, vodeća francuska osiguravajuća grupacija Axa® počela je nuditi privatno osiguranje od kašnjenja avionskog leta na platformi Ethereum pod nazivom fizzy™ koje koristi pametne ugovore povezane s globalnim bazama podataka zračnog prometa. Čim se otkrije kašnjenje, odmah se i pokreće postupak osigurane novčane kompenzacije korisniku, čime se izbjegava potreba za dodatnom administracijom i odgodom isplate¹⁹. Sličan postupak mogao bi se ostvariti u zdravstvenom osiguranju, s uklanjanjem potrebe za provjerom medicinske dokumentacije i značajnim pojednostavljenjem procesa.

Biomedicinska istraživanja

Blockchain bi ubrzao biomedicinska istraživanja, istodobno eliminirajući krivotvorenje podataka, selektivnost izvješćivanja (odstupanje objavljivanja ili engl. *publication bias*) i falsificiranje, što su sve opsežni problemi 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 lijekova²². 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}.

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 razvoju²⁵. 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 mjesta²⁶. Osim toga, zabilježen je porast broja krivotvorenih lijekova za 400% u razdoblju od 2005. do 2010. samo u Europi²⁷. 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 proizvoda²⁸. 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.

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 krivotvorenja²⁹.

Rasprava

Korištenje blockchaine 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 blockchaine. Mogu se predvidjeti problemi vezani uz izvođenje i troškove koji se pojavljuju u zemljama u razvoju. Prisutno je i pitanje troškova razvoja, barem na samom početku, čak 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.

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 sustava³⁰. 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 obrađuje³¹. Na primjer, trenutna postavka Ethereum blockchaine 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 blockchaine³².

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", u takozvani *data lake*, 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 laka 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 u početku neće biti praćeno velikim entuzijazmom³³.

Jedna od predvidivih prijetnji svakako je i 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, korporacije). 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 već bilo nekoliko hakerskih napada i softverskih grešaka koje su uzrokovale značajne financijske gubitke. Na primjer, u studenom 2017. godine 150 milijuna američkih dolara postalo je nedostupno korisnicima usluge *Parity*, kao rezultat lošeg kodiranja u osnovnom pametnom ugovoru³⁴⁻³⁶. 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 dobivanjem 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.

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 literatura na engleskom i hrvatskom jeziku je još uvijek izrazito oskudna u pogledu tekstova na temu 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 medicinsku praksu³⁷.

Literatura

1. HSBC. Rise of the technophobe - education key to tech adoption, says HSBC. (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. (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. (2018). 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. (2016). 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. 9 (2008). doi:10.1007/s10838-008-9062-0
6. 51% Attack | Investopedia. Dostupno na: <https://www.investopedia.com/terms/1/51->

attack.asp.

7. Dobson, D. The 4 Types of Blockchain Networks Explained - ILTA. 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. Dostupno na: <https://medium.com/@wmougayar/understanding-semi-private-blockchain-applications-6bbe91fc3596>.
9. Swan, M. *Blockchain: Blueprint for a New Economy*. (O'Reilly Media, 2015).
10. Skiba, D. J. The Potential of Blockchain in Education and Health Care. *Nurs. Educ. Perspect.* **38**, 220–221 (2017).
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.* **40**, (2016).
12. Engelhardt, M. A. Hitching Healthcare to the Chain: An Introduction to Blockchain Technology in the Healthcare Sector. *Technol. Innov. Manag. Rev.* **7**, (2017).
13. Brennan, C. & Lunn, W. *Blockchain - The Trust Disrupter*. (2016).
14. Orcutt, M. Why the CDC Wants in on Blockchain. *MIT Technology Review* (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? *The Lancet Global Health Blog* (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. *MIT News* (2017). Dostupno na: <http://news.mit.edu/2017/mit-debuts-secure-digital-diploma-using-bitcoin-blockchain-technology-1017>.
17. Angraal, S., Krumholz, H. M. & Schulz, W. L. Blockchain technology: Applications in health care. *Circ. Cardiovasc. Qual. Outcomes* **10**, 1–4 (2017).
18. Nugent, T., Upton, D. & Cimpoesu, M. Improving data transparency in clinical trials using blockchain smart contracts. *F1000Research* **5**, 2541 (2016).
19. fizzy. 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* **4**, e5738 (2009).
21. Fanelli, D. Negative results are disappearing from most disciplines and countries. *Scientometrics* **90**, 891–904 (2012).
22. Benchoufi, M. & Ravaud, P. Blockchain technology for improving clinical research quality. *Trials* **18**, 335 (2017).
23. Lin, P. Blockchain: The Missing Link Between Genomics and Privacy? *Forbes* (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. *Coindesk* (2014). 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.* **5**, 11 (2014).
 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.* **24**, 1211–1220 (2017).
 29. Mackey, T. K. & Nayyar, G. A review of existing and emerging digital technologies to combat the global trade in fake medicines. *Expert Opin. Drug Saf.* **16**, 587–602 (2017).
 30. Vincent, J. UN condemns internet access disruption as a human rights violation - The Verge. *July, 4* (2016). Dostupno na: <https://www.theverge.com/2016/7/4/12092740/un-resolution-condemns-disrupting-internet-access>.
 31. Goswami, S. Scalability Analysis of Blockchains Through Blockchain Simulation. (2017).
 32. Buterin, V. Ethereum scalability research and development subsidy programs - Ethereum Blog. Dostupno na: <https://blog.ethereum.org/2018/01/02/ethereum-scalability-research-development-subsidy-programs/>.
 33. Hoy, M. B. An Introduction to the Blockchain and Its Implications for Libraries and Medicine. *Med. Ref. Serv. Q.* **36**, 273–279 (2017).
 34. Orcutt, M. Ethereum's smart contracts are full of holes - MIT Technology Review. Dostupno na: <https://www.technologyreview.com/s/610392/etheriums-smart-contracts-are-full-of-holes/>.
 35. Pearson, J. Millions of Dollars In Ethereum Are Vulnerable to Hackers Right Now - Motherboard. Dostupno na: https://motherboard.vice.com/en_us/article/8xddka/millions-of-dollars-in-ethereum-are-vulnerable-to-hackers-right-now-smart-contract-bugs.
 36. Nikolic, I., Kolluri, A., Sergey, I., Saxena, P. & Hobor, A. Finding The Greedy, Prodigal, and Suicidal Contracts at Scale. *eprint arXiv:1802.06038* (2018).
 37. Radanović, I. & Likić, R. Opportunities for Use of Blockchain Technology in Medicine. *Appl. Health Econ. Health Policy* (2018). doi:10.1007/s40258-018-0412-8

Preveden i prilagođen tekst uz dozvolu izdavača Springer Nature, časopisa Applied Health Economics and Health Policy. Naslov članka: Opportunities for Use of Blockchain Technology in Medicine; autori: Igor Radanović, Robert Likić; objavljeno: 1. siječnja 2018.