

Integracija tehnologije ulančanih blokova (*blockchain*) u zdravstvene sustave kao nova dimenzija sigurnosti i učinkovitosti

Valentina Ješić^{1,2}

¹Univerza v Novem mestu, Fakulteta za zdravstvene vede, Novo mesto, Slovenija

²Klinički bolnički centar Sestre milosrdnice, Zagreb, Hrvatska

E-pošta: valentina.matic@yahoo.com; orcid.org/0000-0001-7947-5233

<https://doi.org/10.69827/bhdmi-34214>

Sažetak: Tehnologija ulančanih blokova (engl. *blockchain*) predstavlja revolucionarni alat u transformaciji zdravstvenih sustava. Kao distribuirana digitalna knjiga, omogućava sigurnu, transparentnu i decentraliziranu pohranu zdravstvenih podataka. Njegova primjena u zdravstvu obuhvaća širok spektar aktivnosti, uključujući praćenje lanca opskrbe lijekovima, osiguravanje transparentnosti kliničkih ispitivanja, povećanje učinkovitosti sustava zdravstvenog osiguranja te jačanje kontrole pacijenata nad vlastitim podacima. Decentralizacija omogućava smanjenje rizika od prijevara, poboljšanje interoperabilnosti sustava i ubrzanje administrativnih procesa. Unatoč velikom potencijalu, *blockchain* se suočava s izazovima poput skalabilnosti, visokih troškova implementacije i složenih regulatornih okvira. Međutim, tehnološke inovacije, poput *off-chain*-pohrane i globalni naponi za harmonizaciju pravnih propisa mogu značajno unaprijediti njegovo usvajanje. Primjena *blockchaina* posebno je korisna u područjima poput personalizirane medicine i upravljanja pandemijama, gdje omogućava sigurnu razmjenu podataka i veću učinkovitost zdravstvenih intervencija. Ovaj rad analizira ključne primjene *blockchaina* u zdravstvu, istražuje prednosti i prepreke te predlaže konkretne mjere za buduću implementaciju, uključujući razvoj tehnoloških rješenja, usklađivanje zakonskih propisa i edukaciju zdravstvenih radnika. *Blockchain* tehnologija nudi značajne mogućnosti za unaprjeđenje sigurnosti podataka, optimizaciju resursa i povećanje povjerenja u zdravstvene sustave, čime može postati ključni alat u modernizaciji globalnog zdravstva.

Ključne riječi: tehnologija ulančanih blokova; zdravstvena skrb; sigurnost podataka; klinička ispitivanja; upravljanje lancem opskrbe.

Uvod

Suvremeno zdravstvo suočava se s nizom izazova koji proizlaze iz složenosti sustava, sigurnosti podataka i rastućih troškova. Tehnološki napredak donosi inovacije poput tehnologije ulančanih blokova, engl. *blockchaina*, koji je u početku bio povezan s kriptovalutama, ali sve više pronalazi primjenu u drugim sektorima, uključujući zdravstvo (1). *Blockchain* je distribuirana baza podataka koja omogućava decentralizirano pohranjivanje i upravljanje podacima, što ga čini idealnim za rješavanje problema poput fragmentacije sustava i ugrožavanja privatnosti (2).

Ključna obilježja *blockchaina* – transparentnost, nepromjenjivost i decentralizacija – obećavaju revoluciju u načinu upravljanja zdravstvenim podacima (3). Ova tehnologija omogućava sigurno dijeljenje informacija među zdravstvenim institucijama, smanjuje rizik od pogrešaka i ubrzava administrativne procese. Na primjer, decentralizirana priroda *blockchaina* omogućava zdravstvenim ustanovama brži pristup vitalnim podacima pacijenata, što je posebno korisno u hitnim situacijama (4).

Uz to, *blockchain* pruža osnovu za izgradnju globalno interoperabilnih sustava, čime se uklanjaju prepreke u razmjeni informacija među različitim organizacijama i jurisdikcijama. Ova interoperabilnost ključna je za poboljšanje koordinacije skrbi i smanjenje nepotrebnih troškova uzrokovanih dupliciranjem dijagnostičkih testova ili neusklađenošću informacija (5).

Još jedno važno područje primjene *blockchaina* u zdravstvu je personalizirana medicina, gdje pacijenti mogu upravljati vlastitim podacima i omogućiti istraživačima pristup svojim genetskim informacijama na siguran i anonimn način. To omogućava istraživanje novih terapija i bolje razumijevanje bolesti bez ugrožavanja privatnosti pacijenata.

Unatoč velikom potencijalu, implementacija *blockchain* tehnologije u zdravstvo suočava se s nizom izazova. Pravni i regulatorni okviri moraju se prilagoditi kako bi se osigurala zaštita podataka i usklađenost s globalnim standardima, poput Opće uredbe o zaštiti podataka (engl. *General Data Protection Regulation, GDPR*). Također, visoki troškovi implementacije i tehnička složenost mogu ograničiti brzu integraciju *blockchaina* u postojeće sustave.

Razvoj *blockchain* tehnologije dodatno se uklapa u širi okvir tehnoloških inovacija u zdravstvu, uključujući telemedicinu i digitalne zdravstvene kartone. Telemedicina, koja omogućava pružanje zdravstvenih usluga na daljinu, koristi digitalne platforme za pohranu i prijenos podataka, ali često nailazi na izazove vezane uz sigurnost i privatnost informacija. *Blockchain* može osigurati decentraliziranu i sigurnu razmjenu podataka između pacijenata i zdravstvenih djelatnika, čime se smanjuje rizik od kompromitacije podataka. Također, integracija *blockchaina* s digitalnim zdravstvenim kartonima omogućava interoperabilnost između različitih zdravstvenih sustava, olakšavajući pristup točnim i ažuriranim informacijama o pacijentima. Takva tehnologija doprinosi boljoj koordinaciji skrbi, većoj učinkovitosti i povećanom povjerenju u digitalne zdravstvene alate, što je ključno za daljnju modernizaciju zdravstvenih sustava.

Ovaj rad analizira potencijal *blockchain* tehnologije u zdravstvu, istražujući praktične primjene, prednosti i izazove koje donosi ova disruptivna tehnologija.

Metodologija

Analiza se temelji na kvalitativnom istraživačkom pristupu s pregledom relevantne literature kako bi se procijenile primjene *blockchain* tehnologije u zdravstvu. Podatci su prikupljeni pretraživanjem relevantnih baza podataka (PubMed, IEEE Xplore, ScienceDirect, Scopus) korištenjem ključnih pojmova poput "*blockchain*", "*healthcare*", "*data security*", "*clinical trials*" i "*supply chain management*". Uključeni su radovi objavljeni od 2016. do 2024. godine kako bi se osigurao pregled suvremenih inovacija.

Sveukupno je u analizu uključeno 28 znanstvenih radova, od kojih je:

- 7 radova fokusirano na primjenu *blockchaina* u elektroničkim zdravstvenim zapisima,
- 5 radova obrađivalo primjenu u upravljanju lancem opskrbe lijekovima,
- 6 radova istraživalo *blockchain* u kliničkim ispitivanjima,
- 4 rada obrađivala ulogu *blockchaina* u javnom zdravstvu i globalnoj suradnji,
- 6 radova analiziralo izazove i prepreke u implementaciji *blockchain* tehnologije.

Kriteriji uključivanja obuhvaćali su radove koji su specifično fokusirani na primjenu *blockchaina* u zdravstvenom sektoru. Isključeni su radovi izvan domene zdravstva ili oni bez empirijskih podataka. Identificirani radovi pregledani su radi ekstrakcije ključnih informacija o prednostima, izazovima i tehničkim rješenjima. Podatci su kategorizirani i sintetizirani kako bi se naglasio potencijal *blockchaina* u unaprjeđenju zdravstvenih sustava. Transparentnost je osigurana preciznim citiranjem izvora u skladu s akademskim standardima.

Rezultati i rasprava

Elektronički zdravstveni zapis

Elektronički zdravstveni zapis (EZZ) predstavlja osnovu suvremenog zdravstva, služeći kao centralizirani repozitorij informacija o pacijentima koji omogućava učinkovitije pružanje zdravstvene skrbi (6). Prema definiciji, EZZ uključuje sve ključne informacije o pacijentu, kao što su dijagnostički nalazi, terapije i drugi relevantni klinički podatci (7).

Međutim, unatoč važnosti EZZ-a, postoje značajni problemi koji ograničavaju njihov potencijal. Fragmentacija podataka među različitim ustanovama, nesigurnost u pogledu privatnosti te ograničeni pristup informacijama pacijenata i zdravstvenih djelatnika često rezultiraju dupliciranjem dijagnostičkih testova, kašnjenjima u pružanju usluga i povećanim troškovima (8). *Blockchain* tehnologija pruža novo rješenje kroz decentraliziranu infrastrukturu koja omogućava pohranu podataka na način koji je siguran, transparentan i otporan na manipulacije (9). Svi podatci pohranjeni na *blockchainu* digitalno su zaštićeni i svaki zapis ima jedinstven digitalni potpis, što osigurava njegovu nepromjenjivost i integritet.

Jedna od ključnih prednosti *blockchaina* jest mogućnost da pacijenti preuzmu potpunu kontrolu nad vlastitim podacima. Umjesto da informacije budu zaključane u sustavima pojedinačnih ustanova, pacijenti mogu odlučivati tko ima pristup njihovim zdravstvenim zapisima i pod kojim uvjetima (10). Pametni ugovori, kao dio *blockchain* tehnologije, dodatno olakšavaju ovaj proces, omogućujući pacijentima da na transparentan i automatiziran način dijele svoje podatke s istraživačima, osiguravateljima ili zdravstvenim djelatnicima.

Takva decentralizacija podataka ne samo da osnažuje pacijente nego također povećava povjerenje u zdravstveni sustav, jer uklanja potrebu za posrednicima i smanjuje rizik od zlouporabe ili gubitka informacija. Nadalje, *blockchain* može olakšati prijenos zdravstvenih podataka između različitih ustanova, čime se osigurava kontinuitet skrbi, smanjuje vrijeme čekanja na dokumentaciju i poboljšava kvaliteta pružene zdravstvene usluge (11). Navedena integracija modernih tehnologija u zdravstvene sustave donosi značajne prednosti za sve dionike, od pacijenata i liječnika do istraživača i donositelja odluka.

Upravljanje lancem opskrbe lijekovima

Krivotvorenje lijekova predstavlja ozbiljan globalni problem koji ugrožava zdravlje pacijenata i generira značajne financijske gubitke za farmaceutsku industriju (12). Procjene pokazuju da krivotvoreni lijekovi uzrokuju milijarde dolara gubitaka godišnje, dok istodobno izlažu pacijente potencijalno opasnim ili neučinkovitim proizvodima (13). Navedeni problem posebno pogađa zemlje u razvoju, gdje je regulacija slabija, ali ni razvijene zemlje nisu imune na takvu prijetnju.

Blockchain tehnologija nudi inovativno rješenje za osiguranje potpune transparentnosti i sljedivosti u lancu opskrbe lijekovima (14). Svaki korak u proizvodnji, distribuciji i skladištenju lijekova može se zabilježiti na *blockchainu*, stvarajući nepovratno zabilježen zapis koji omogućava provjeru autentičnosti proizvoda u stvarnom vremenu. Ova tehnologija omogućava svim sudionicima lanca opskrbe, uključujući proizvođače, distributere, farmaceute i regulatore, uvid u podatke, čime se povećava povjerenje i smanjuju mogućnosti za prijevare.

Primjena *blockchaina* u ovoj domeni već pokazuje obećavajuće rezultate. Na primjer, sustavi temeljeni na *blockchain* tehnologiji koriste QR-kodove za identifikaciju lijekova, što omogućava krajnjim korisnicima, poput pacijenata i ljekarnika, da provjere autentičnost proizvoda putem mobilnih aplikacija (15). Uz to, temperaturni senzori povezani s *blockchain* mrežama omogućuju praćenje uvjeta skladištenja osjetljivih proizvoda poput cjepiva, što je ključno za očuvanje njihove djelotvornosti.

Naprimjer, uvođenje *blockchain* tehnologije u distribuciju cjepiva tijekom pandemije COVID-19 omogućilo je praćenje temperature cjepiva tijekom transporta, smanjujući rizik od kvarenja i osiguravajući njihovu sigurnost (16). Ovakvi sustavi također pomažu u brzom povlačenju neispravnih proizvoda s tržišta, smanjujući rizik od štete za pacijente. Integracija *blockchaina* u lanac opskrbe lijekovima ima potencijal postati standard u industriji, značajno unapređujući sigurnost, učinkovitost i transparentnost.

Klinička ispitivanja

Klinička ispitivanja predstavljaju ključni korak u razvoju lijekova i medicinskih tretmana, no često su opterećena visokim troškovima, dugotrajnim procesima i nedovoljnom transparentnošću podataka. Ti izazovi mogu usporiti dolazak novih terapija na tržište i narušiti povjerenje javnosti u znanstveni proces. *Blockchain* tehnologija pruža značajnu priliku za modernizaciju i optimizaciju ovog kompleksnog postupka. Decentralizirana priroda *blockchaina* omogućava sigurno i transparentno pohranjivanje podataka o svakom aspektu kliničkog ispitivanja, od inicijalnog dizajna i regrutiranja sudionika do analize rezultata i objave nalaza (17). Svaki zapis na pohranjen na *blockchainu* ima vremensku oznaku i kriptografski potpis, čime se osigurava nepromjenjivost i sprječava manipulacija podacima.

Jedan od konkretnih primjera primjene *blockchaina* u kliničkim ispitivanjima jest korištenje pametnih ugovora za automatizaciju ključnih procesa. Pametni ugovori omogućuju automatsko izvršavanje zadataka, poput regrutiranja pacijenata koji zadovoljavaju specifične kriterije, validacije podataka prikupljenih tijekom istraživanja i distribucije financijskih sredstava sudionicima (18). Ovi ugovori funkcioniraju na temelju unaprijed definiranih uvjeta, čime se smanjuje potreba za posrednicima i povećava učinkovitost. Osim toga, *blockchain* omogućava svim sudionicima, uključujući istraživače, sponzore i regulatorne agencije, uvid u jedinstvenu verziju podataka, čime se eliminiraju potencijalni sukobi i rizik od pristranosti.

Transparentnost koju *blockchain* donosi također može smanjiti problem selektivnog izvještavanja, pri kojem se objavljuju samo rezultati koji potvrđuju određene hipoteze, dok se negativni nalazi zanemaruju (19). Uvođenjem *blockchaina*, sve faze kliničkog ispitivanja, uključujući protokole, privole pacijenata, prikupljanje podataka i analizu, postaju javno dostupne i nepromjenjive, čime se povećava povjerenje javnosti u znanstvene rezultate. Integracijom *blockchain* tehnologije u klinička ispitivanja, istraživači i zdravstvene organizacije mogu ne samo smanjiti troškove i vremenska ograničenja, već i osigurati da podatci o pacijentima ostanu sigurni i privatni, dok se istodobno povećava vjerodostojnost i kvaliteta istraživanja.

Javno zdravstvo i globalna suradnja

Javno zdravstvo i globalna suradnja imaju ključnu ulogu u upravljanju zdravstvenim krizama, a pandemija COVID-19 jasno je pokazala važnost pravodobne i točne razmjene informacija među zdravstvenim institucijama. Međutim, tradicionalni sustavi često se suočavaju s ograničenjima poput sporosti u komunikaciji, fragmentacije podataka i nedostatka transparentnosti. *Blockchain* tehnologija može značajno unaprijediti takve procese, pružajući decentraliziranu platformu koja omogućava sigurnu i brzu razmjenu informacija u stvarnom vremenu. Svaka transakcija na *blockchainu* ima vremensku oznaku i nepromjenjiva je, čime se osigurava povjerenje među sudionicima i smanjuje mogućnost manipulacije podacima (20).

Jedan od primjera potencijalne primjene *blockchaina* u javnom zdravstvu jest praćenje kontakata zaraženih osoba. Tradicionalni sustavi često se oslanjaju na složene procese koji mogu ugroziti privatnost pojedinaca. *Blockchain* omogućava razvoj sustava koji bilježe kontakte na decentraliziran način, gdje se osjetljivi podatci šifriraju, a samo relevantne informacije dijele s ovlaštenim tijelima. Time se smanjuje rizik od zlouporabe podataka, dok se istovremeno omogućava učinkovito praćenje širenja bolesti.

Osim toga, *blockchain* tehnologija može igrati ključnu ulogu u upravljanju distribucijom cjepiva i medicinskih resursa. Tijekom pandemije COVID-19, izazovi poput nejednakog pristupa cjepivima i problema s transparentnošću u raspodjeli resursa bili su značajni. *Blockchain* omogućava stvaranje nepovratno zabilježenog zapisa o cijelom lancu opskrbe, od proizvodnje cjepiva do njihove isporuke krajnjim korisnicima. Na taj se način može osigurati pravična raspodjela resursa, smanjiti gubici i spriječiti prijevare, poput distribucije krivotvorenih cjepiva (21).

Transparentnost *blockchain* sustava također omogućava lakše praćenje učinkovitosti javnozdravstvenih politika i alokaciju resursa u stvarnom vremenu (1). Zdravstvene institucije mogu koristiti podatke pohranjene na *blockchainu* za analizu trendova i donošenje informiranih odluka, dok međunarodne organizacije mogu koordinirati svoje aktivnosti i suradnju. Na primjer, *blockchain* bi mogao olakšati suradnju između Svjetske zdravstvene organizacije (engl. *World Health Organisation*, WHO) i

nacionalnih zdravstvenih sustava u praćenju globalnih pandemija, omogućujući pravovremene intervencije i bolju alokaciju resursa.

Na globalnoj razini, *blockchain* može smanjiti nejednakosti u pristupu zdravstvenoj skrbi, posebno u zemljama u razvoju, gdje su tradicionalni sustavi često neučinkoviti i podložni korupciji (22). Decentralizirana priroda *blockchaina* omogućava veću transparentnost u distribuciji međunarodne pomoći i olakšava praćenje utjecaja intervencija. Ovakav pristup ima potencijal ne samo za poboljšanje javnozdravstvenih ishoda, već i za izgradnju povjerenja između zdravstvenih institucija i šire zajednice, čime se jača globalna suradnja u borbi protiv zdravstvenih izazova.

Izazovi i prepreke

Izazovi i prepreke povezani s implementacijom *blockchain* tehnologije u zdravstvene sustave značajan su faktor koji utječe na tempo i opseg njene primjene. Iako *blockchain* nudi inovativna rješenja za mnoge probleme, određeni tehnički, ekonomski i regulatorni čimbenici predstavljaju nezanemarive izazove.

Jedan od glavnih izazova *blockchain* tehnologije u zdravstvu je skalabilnost. Trenutni *blockchain* sustavi često imaju ograničenu sposobnost obrade velikih količina podataka (23), što postaje problem u zdravstvu, gdje se svakodnevno generiraju ogromne količine informacija. Elektronički zdravstveni zapisi obuhvaćaju sve relevantne podatke o pacijentu, što zahtijeva sustav koji može brzo obraditi i pohraniti ove informacije. Međutim, decentralizirana priroda *blockchaina* podrazumijeva da svaki zapis mora biti repliciran na svakom čvoru mreže, što može usporiti sustav i povećati troškove (24). Unapređenje skalabilnosti *blockchaina* kroz tehnološke inovacije, poput pohrana izvan glavnog *blockchain* lanca (engl. *off-chain*) i fragmentacije podataka, ključno je za njegovu širu implementaciju u zdravstvu (25).

Privatnost podataka predstavlja još jedan značajan izazov. Unatoč sofisticiranim metodama enkripcije koje *blockchain* koristi, postoji inherentni rizik od kompromitacije osjetljivih zdravstvenih informacija. Šifriranje osigurava određenu razinu zaštite, no jednom kada se podatci unesu u *blockchain*, oni postaju trajno dostupni na mreži. U slučaju neovlaštenog pristupa, informacije bi mogle biti zloupotrijebljene. Osim toga, čak i anonimni podatci mogu postati identificirani kada se kombiniraju s drugim dostupnim podacima. Takva pitanja dodatno kompliciraju usklađenost s međunarodnim zakonima o zaštiti podataka, poput Opće uredbe o zaštiti podataka (GDPR) u Europskoj uniji, koji postavljaju stroge zahtjeve za obradu osobnih informacija (26).

Troškovi implementacije i održavanja *blockchain* tehnologije također predstavljaju značajnu prepreku. Razvijanje prilagođenih *blockchain* rješenja zahtijeva visoku početnu investiciju, uključujući troškove infrastrukture, razvoja softvera i stručnog kadra (27). Nadalje, troškovi povezani s održavanjem sustava, poput računalnih resursa potrebnih za rudarenje i osiguranje mreže, mogu biti znatni, osobito za javne *blockchain* sustave (28). Navedene ekonomske prepreke mogu obeshrabrili zdravstvene organizacije, osobito one s ograničenim proračunom, od ulaganja u *blockchain* tehnologiju.

Za uspješnu implementaciju *blockchain* tehnologije u zdravstvu, ključno je osigurati odgovarajuću edukaciju zdravstvenih radnika. Obuka i podizanje svijesti među medicinskim stručnjacima o sigurnosnim prednostima *blockchaina* i njegovoj primjeni u zdravstvu mogu značajno unaprijediti prihvaćanje ove tehnologije i optimizaciju njezine primjene. Edukacija bi trebala obuhvatiti osnovne koncepte *blockchaina*, pravilnu uporabu digitalnih zdravstvenih kartona i poštivanje zakonskih okvira vezanih za sigurnost podataka.

Regulatorni okvir ima ključnu ulogu u uspješnoj implementaciji *blockchaina* u zdravstvu. Trenutačno ne postoji globalno prihvaćen standard za korištenje *blockchain* tehnologije u zdravstvenim sustavima. Zemlje i regije imaju različite zakone i propise koji se odnose na sigurnost podataka, privatnost i tehnološke standarde, što otežava globalnu implementaciju *blockchaina*. Standardizacija propisa i njihova prilagodba specifičnostima *blockchaina* neophodni su kako bi se osigurala usklađenost i omogućila interoperabilnost među sustavima (29).

Unatoč ovim izazovima, *blockchain* tehnologija nastavlja privlačiti pažnju istraživača, zdravstvenih stručnjaka i tehnoloških tvrtki. Razvoj novih tehničkih rješenja, poput skalabilnih algoritama i privatnih *blockchain* mreža, zajedno s međunarodnim naporima za harmonizaciju regulatornih okvira, može značajno smanjiti ove prepreke i otvoriti put za širu primjenu *blockchain* tehnologije u zdravstvu.

Zaključak

Blockchain tehnologija ima snažan potencijal za transformaciju zdravstvenih sustava kroz sigurnu, decentraliziranu i transparentnu pohranu podataka. Njegova primjena omogućava smanjenje administrativnih troškova, poboljšanje koordinacije i veće povjerenje među dionicima u zdravstvu. Usto, *blockchain* pruža platformu za personaliziranu medicinu i učinkovitije upravljanje resursima, što ima dugoročne koristi za zdravstvene sustave i pacijente. Iako postoje prepreke poput troškova implementacije i regulatornih izazova, kontinuirani tehnološki razvoj i globalni naponi za harmonizaciju propisa mogu značajno unaprijediti primjenu *blockchaina*. Buduća istraživanja trebala bi se usmjeriti na integraciju *blockchaina* s umjetnom inteligencijom i IoT-jem (od engl. *Internet of Things*) kako bi se dodatno unaprijedili sustavi zdravstvene skrbi. Također, potrebno je provesti studije koje će procijeniti ekonomske aspekte i dugoročne koristi implementacije *blockchain* tehnologije u stvarnim kliničkim okruženjima.

Literatura

1. Kuo TT, Kim HE, Ohno-Machado L. Blockchain distributed ledger technologies for biomedical and health care applications. *J Am Med Inform Assoc.* 2017 Nov 1;24(6):1211-20. <https://doi.org/10.1093/jamia/ocx068>
2. Dong S, Abbas K, Li M, Kamruzzaman J. Blockchain technology and application: an overview. *PeerJ Comput Sci.* 2023;9:e1705. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.1705>
3. School of Engineering and Applied Science Kampala International University Uganda, Richard T. Blockchain in Healthcare: Ensuring Data Security and Integrity. *ROJPHM.* 2024 Nov 23;4(2):12-7. <https://doi.org/10.59298/ROJPHM/2024/421217>
4. Angraal S, Krumholz HM, Schulz WL. Blockchain Technology: Applications in Health Care. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes.* 2017 Sep;10(9):e003800. <https://doi.org/10.1161/CIRCOUTCOMES.117.003800>
5. Ghadi YY, Mazhar T, Shahzad T, Amir Khan M, Abd-Alrazaq A, Ahmed A, et al. The role of blockchain to secure internet of medical things. *Sci Rep.* 2024 Aug 8;14(1):18422. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-68529-x>

6. Ehrenstein V, Kharrazi H, Lehmann H, et al. Obtaining Data From Electronic Health Records. U: Gliklich RE, Leavy MB, Dreyer NA, editors. Tools and Technologies for Registry Interoperability, Registries for Evaluating Patient Outcomes: A User's Guide, 3rd Edition, Addendum 2 [internet]. Rockville, SAD: Agency for Healthcare Research and Quality (US), listopad 2019. Chapter 4. Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK551878/>.
7. Kern J, Bergman Marković B, Pale P, Heim I, Trnka B, Rafaj G, Lončarek K, Fišter K, Mađarić M, Deželić Đ, Ilakovac V, Erceg M, Pristaš I, Margan Šulc A, Vuletić S. Smjernice za unaprjeđenje elektroničkog zdravstvenog zapisa. Acta Med Croatica. 2017. 71:79-93. Dostupno na: <http://hrcak.srce.hr/file/274474>
8. Kruse CS, Kristof C, Jones B, Mitchell E, Martinez A. Barriers to Electronic Health Record Adoption: a Systematic Literature Review. J Med Syst. 2016 Dec;40(12):252. <https://doi.org/10.1007/s10916-016-0628-9>
9. Azaria A, Ekblaw A, Vieira T, Lippman A. MedRec: Using Blockchain for Medical Data Access and Permission Management. U: 2016 2nd International Conference on Open and Big Data (OBD) [Internet]. Beč, Austrija: IEEE, 2016. [pristupljeno: 10.12.2024.], str. 25-30. Dostupno na: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7573685/>, <https://doi.org/10.1109/OBD.2016.11>
10. Zhou L, Wang L, Sun Y. MIStore: a Blockchain-Based Medical Insurance Storage System. J Med Syst. 2018 Aug;42(8):149. <https://doi.org/10.1007/s10916-018-0996-4>
11. Agbo CC, Mahmoud QH, Eklund JM. Blockchain Technology in Healthcare: A Systematic Review. Healthcare. 2019 Apr 4;7(2):56. <https://doi.org/10.3390/healthcare7020056>
12. Zakari N, Al-Razgan M, Alsaadi A, Alshareef H, Al Saigh H, Alashaikh L, et al. Blockchain technology in the pharmaceutical industry: a systematic review. PeerJ Comput Sci. 2022;8:e840. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.840>
13. World Health Organization. Substandard and Falsified Medical Products [internet]. Who.int. World Health Organization (WHO), 2018. [pristupljeno: 03.12.2024.]. Dostupno na: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/substandard-and-falsified-medical-products>.
14. Mackey TK, Nayyar G. A review of existing and emerging digital technologies to combat the global trade in fake medicines. Expert Opinion on Drug Safety. 2017 May 4;16(5):587-602. <https://doi.org/10.1080/14740338.2017.1313227>
15. Ramzan S, Aqduş A, Ravi V, Koundal D, Amin R, Al Ghamdi MA. Healthcare Applications Using Blockchain Technology: Motivations and Challenges. IEEE Trans Eng Manage. 2023 Aug;70(8):2874-90. <https://doi.org/10.1109/TEM.2022.3189734>
16. Hu H, Xu J, Liu M, Lim MK. Vaccine supply chain management: An intelligent system utilizing blockchain, IoT and machine learning. Journal of Business Research. 2023 Feb;156:113480. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.113480>
17. Hang L, Chen C, Zhang L, Yang J. Blockchain for applications of clinical trials: Taxonomy, challenges, and future directions. IET Communications. 2022 Dec;16(20):2371-93. <https://doi.org/10.1049/cmu2.12488>
18. Taherdoost H. Smart Contracts in Blockchain Technology: A Critical Review. Information. 2023 Feb 13;14(2):117. <https://doi.org/10.3390/info14020117>
19. Singh I, Kaur A, Agarwal P, Idrees SM. Enhancing Security and Transparency in Online Voting through Blockchain Decentralization. SN COMPUT SCI. 2024 Sep 30;5(7):921. <https://doi.org/10.1007/s42979-024-03286-2>
20. Tripathi G, Ahad MA, Casalino G. A comprehensive review of blockchain technology: Underlying principles and historical background with future challenges. Decision Analytics Journal. 2023 Dec;9:100344. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100344>

21. Dutta P, Choi TM, Somani S, Butala R. Blockchain technology in supply chain operations: Applications, challenges and research opportunities. *Transp Res E Logist Transp Rev.* 2020 Oct;142:102067. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102067>
22. Nicola R. Improving Healthcare Systems in East Africa with Blockchain [internet]. ResearchGate, srpanj 2024. Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/382423867_Improving_Healthcare_Systems_in_East_Africa_with_Blockchain.
23. Ozercan HI, Ileri AM, Ayday E, Alkan C. Realizing the potential of blockchain technologies in genomics. *Genome Res.* 2018 Sep;28(9):1255-63. <https://doi.org/10.1101/gr.207464.116>
24. J A, Isravel DP, Sagayam KM, Bhushan B, Sei Y, Eunice J. Blockchain for healthcare systems: Architecture, security challenges, trends and future directions. *Journal of Network and Computer Applications.* 2023 Jun;215:103633. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2023.103633>
25. Hepp T, Sharinghousen M, Ehret P, Schoenhals A, Gipp B. On-chain vs. off-chain storage for supply- and blockchain integration. *it - Information Technology.* 2018 Dec 19;60(5-6):283-91. <https://doi.org/10.1515/itit-2018-0019>
26. Hasselgren A, Wan PK, Horn M, Kravlevska K, Gligoroski D. GDPR Compliance for Blockchain Applications in Healthcare. U: *Computer Science & Information Technology (CS & IT)* [internet]. Chennai, Indija: AIRCC Publishing Corporation, 2020. [pristupljeno: 10.12.2024.], str. 23-35. Dostupno na <https://aircconline.com/csit/papers/vol10/csit101303.pdf>. <https://doi.org/10.5121/csit.2020.101303>
27. Prewett KW, Prescott GL, Phillips K. Blockchain adoption is inevitable-Barriers and risks remain. *J Corp Accounting Finance.* 2020 Apr;31(2):21-8. <https://doi.org/10.1002/jcaf.22415>
28. Wang Q, Liu Y. Blockchain for public safety: A survey of techniques and applications. *Journal of Safety Science and Resilience.* 2023 Dec;4(4):389-95. <https://doi.org/10.1016/j.jnlssr.2023.09.001>
29. Yaqoob I, Salah K, Jayaraman R, Al-Hammadi Y. Blockchain for healthcare data management: opportunities, challenges, and future recommendations. *Neural Comput & Applic.* 2022 Jul;34(14):11475-90. <https://doi.org/10.1007/s00521-020-05519-w>

Integration of Blockchain Technology into Healthcare Systems as a New Dimension of Security and Efficiency

Valentina Ješić^{1,2}

¹University of Novo mesto, Faculty of Health Sciences, Novo mesto, Slovenia

²Sestre milosrdnice University Hospital Center, Zagreb, Croatia

E-mail: valentina.matic@yahoo.com; orcid.org/0000-0001-7947-5233

<https://doi.org/10.69827/bhdmi-34214>

Abstract: Blockchain technology represents a revolutionary tool in the transformation of healthcare systems. As a distributed digital ledger, it enables secure, transparent, and decentralized storage of health data. Its application in healthcare encompasses a wide range of activities, including tracking the pharmaceutical supply chain, ensuring transparency in clinical trials, improving the efficiency of health insurance systems, and enhancing patients' control over their own data. Decentralization reduces the risk of fraud, improves system interoperability, and accelerates administrative processes. Despite its vast potential, blockchain faces challenges such as scalability, high implementation costs, and complex regulatory frameworks. However, technological innovations, such as off-chain storage and global efforts to harmonize legal regulations, can significantly advance its adoption. The application of blockchain is particularly beneficial in areas such as personalized medicine and pandemic management, where it enables secure data exchange and greater efficiency in healthcare interventions. This paper analyses key applications of blockchain in healthcare, explores its advantages and challenges, and proposes concrete measures for future implementation, including the development of technological solutions, alignment of legal frameworks, and education of healthcare professionals. Blockchain technology offers significant opportunities to enhance data security, optimize resources, and increase trust in healthcare systems, positioning itself as a key tool in the modernization of global healthcare.

Keywords: *blockchain; healthcare; data security; clinical trials; supply chain management*