

Tehnologija block chain u pomorskom lancu opskrbe

Sikimić, Roko

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split, Faculty of Maritime Studies / Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:164:911757>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-02**

Repository / Repozitorij:

[Repository - Faculty of Maritime Studies - Split -
Repository - Faculty of Maritime Studies Split for
permanent storage and preservation of digital
resources of the institution](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



**SVEUČILIŠTE U SPLITU
POMORSKI FAKULTET**

ROKO SIKIMIĆ

**TEHNOLOGIJA BLOCKCHAIN U
POMORSKOM LANCU OPSKRBE**

DIPLOMSKI RAD

SPLIT, 2024.

**SVEUČILIŠTE U SPLITU
POMORSKI FAKULTET**

**STUDIJ: POMORSKE ELEKTROTEHNIČKE I INFORMATIČKE
TEHNOLOGIJE**

**TEHNOLOGIJA BLOCKCHAIN U
POMORSKOM LANCU OPSKRBE**

DIPLOMSKI RAD

MENTOR:

doc. dr. sc. Ivan Pavić

STUDENT:

Roko Sikimić (MB: 0171277868)

SPLIT, 2024.

SAŽETAK

Blockchain tehnologija je moderna i inovativna tehnologija koja je dobila naziv po blokovima podataka koji predstavljaju srž ove tehnologije. Ova tehnologija povezuje blokove podataka temeljene na vremenskoj sekvenci, da bi se formirala lančana struktura podataka, što objašnjava naziv blockchaine, tj. ulančanih blokova. Osim blokova podataka, ova tehnologija se bazira na P2P sustavima i mrežama, tj. ravnopravnim članovima ili čvorovima unutar sustava ili mreža.

Ova tehnologija je isprva postala popularna kao alat za trgovanje kriptovalutama, ali se razvila u platformu za pružanje pouzdanih usluga. Neke od poznatijih primjena su upravljanje vlasništvom te stvaranje ili prijenos digitalnih fiat valuta, kriptovaluta, digitalne imovine, usluge povezane s digitalnim identitetom, notarske usluge, revizijske usluge, porezne usluge, upravljanje procesom glasanja, upravljanje raznom dokumentacijom itd.

Pomorski lanci opskrbe su također veoma kompleksni u današnje vrijeme te se suočavaju s mnogim izazovima. Blockchain tehnologija nudi rješenje za neke od tih izazova. Radi digitalne, transparentne i sljedeve prirode ove tehnologije, ona se može iskoristiti za npr. bolje upravljanje teretom kako bi bilo manje praznih pošiljki, praćenje i provjeru kontejnera te praćenje, snimanje i mjerenje raznih podataka kako bi se npr. poboljšala ekološka održivost pomoću praćenja ispuštanja otpada s brodova.

Cilj ovog diplomskog rada je detaljna obrada blockchain tehnologije i pomorskih lanaca opskrbe, uz analizu prednosti, nedostataka i primjera primjene blockchain tehnologije u pomorskim lancima opskrbe. Napravljen je pregled literature o načinima korištenja blockchain tehnologije i primjene unutar pomorskih lanaca opskrbe. Zaključeno je da primjena blockchain tehnologije u pomorskih lancima opskrbe predstavlja težak i kompleksan zadatak te da bi se puni potencijal ove tehnologije realizirao, potrebno je razriješiti razne tehničke i netehničke izazove. Nadalje, neke primjene ove tehnologije se uspješno koriste te donose značajan napredak pomorskoj industriji, koji je u skladu s zahtjevima današnjeg vremena koje industrija mora ispuniti.

Ključne riječi: *blockchain, pomorska industrija, lanci opskrbe, primjene, izazovi*

ABSTRACT

Blockchain technology is a modern and innovative technology that takes its name from the data blocks that form the core of this technology. This technology links data blocks based on a temporal sequence to form a chain structure of data, which explains the name blockchain, i.e. chained blocks. In addition to data blocks, this technology is based on P2P systems and networks, i.e. peer members or nodes within systems or networks.

This technology initially became popular as a tool for trading cryptocurrencies, but has evolved into a platform for providing reliable services. Some of the most prominent applications are property management and the creation or transfer of digital fiat currencies, cryptocurrencies, digital assets, digital identity services, notary services, auditing services, tax services, voting process management, document management, etc.

Maritime supply chains are also very complex today and face many challenges. Blockchain technology offers a solution to some of these challenges. Due to the digital, transparent and traceable nature of this technology, it can be used, for example, for better cargo management to reduce empty shipments, to track and control containers and to track, record and measure various data, for example, to improve environmental sustainability by monitoring waste from ships.

The aim of this thesis is to provide a detailed treatment of blockchain technology and maritime supply chains with an analysis of the advantages and disadvantages as well as examples of the application of blockchain technology in maritime supply chains. A literature review was conducted on the possibilities of using blockchain technology and its application in maritime supply chains. It was found that the application of blockchain technology in maritime supply chains is a difficult and complex task. To realize the full potential of this technology, various technical and non-technical challenges need to be solved. In addition, some applications of this technology are being used successfully and are bringing significant progress to the maritime industry, which is in line with the demands of today's times that the industry must meet.

Keywords: *blockchain, maritime industry, supply chains, applications, challenges*

SADRŽAJ

UVOD	1
1. TEHNOLOGIJA BLOCKCHAIN.....	6
1.1. <i>HASH</i> FUNKCIJA	8
1.2. ASIMETRIČNA KRIPTOGRAFIJA	11
1.3. MATEMATIČKA POZADINA BLOCKCHAIN TEHNOLOGIJE	13
1.4. STRUKTURA BLOCKCHAIN TEHNOLOGIJE	15
1.5. ALGORITAM BLOCKCHAIN TEHNOLOGIJE.....	18
1.6. VRSTE BLOCKCHAIN TEHNOLOGIJE.....	22
1.7. NEDOSTATCI I OGRANIČENJA BLOCKCHAIN TEHNOLOGIJE	24
1.8. PRIMJENE BLOCKCHAIN TEHNOLOGIJE	27
2. TEHNOLOGIJA BLOCKCHAIN U POMORSKIM LANCIMA OPSKRBE	30
2.1. LANCI OPSKRBE	30
2.2. POMORSKI LANCI OPSKRBE	31
2.3. IZAZOVI POMORSKIH LANACA OPSKRBE.....	34
2.4. KORIŠTENJE BLOCKCHAIN TEHNOLOGIJE U POMORSKIM LANCIMA OPSKBE	38
2.5. PRIMJERI PRIMJENE BLOCKCHAIN TEHNOLOGIJE U POMORSKIM LANCIMA OPSKRBE.....	46
2.6. NEDOSTATCI BLOCKCHAIN TEHNOLOGIJE U POMORSKIM LANCIMA OPSKRBE.....	54
3. ZAKLJUČAK	60
LITERATURA	62
POPIS SLIKA.....	76
POPIS KRATICA	77

UVOD

Tehnologija temeljena na ulančanim blokovima (engl. *blockchain*) potječe od protokola nalik protokolu blockchaina, koji je isprva predložen od strane kriptografa Davida Chauma u njegovoj disertaciji *Computer Systems Established, Maintained, and Trusted by Mutually Suspicious Groups* iz 1982. [107]. Rad na kriptografski osiguranom lancu blokova je nastavljen u radu *How to Time-Stamp a Digital Document* iz 1991., od Stuarta Habera i Scotta Stornette [53]. Međutim, ova tehnologija nije postala popularna sve do 2008., kada je individua ili skupina pod nazivom ili pseudonimom Satoshi Nakamoto objavila rad *Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system* [86], gdje su spomenuti Haber i Stornetta najcitiraniji autori. Osim rada, Satoshi Nakamoto je objavio i softver, tj. softverski klijent za *Bitcoin*, koji koristi blockchain tehnologiju i pomoću kojeg se stvorio *Bitcoin* kao kriptovaluta (engl. *cryptocurrency*). Izravni "potomak" originalnog softverskog klijenta postoji danas kao projekt otvorenog koda (engl. *open source*), zvan *Bitcoin Core*, s kodom koji je većinom izmijenjen [10].

Otkada je ova tehnologija predložena u radu Satoshi Nakamotoa njena se primjena postepeno mijenjala te se iz alata za korištenje šifriranih digitalnih valuta pretvorila u platformu za pružanje pouzdanih usluga. S perspektive podataka blockchain predstavlja distribuiranu bazu podataka, što podrazumijeva velik broj čvorova (engl. *node*) i *peerova*, koji su povezani u mrežu bez centralizirane kontrole. Blockchain je također mreža *istih s istima* (engl. *Peer to Peer, P2P*) tj. *P2P* mreža ili mreža ravnopravnih računala. S perspektive računovodstva blockchain predstavlja tehnologiju distribuiranog računovodstva ili tehnologiju distribuirane glavne knjige (engl. *Distributed Ledger Technology, DLT*), tj. blockchain predstavlja glavnu knjigu, dok svaki blok predstavlja stranicu knjige. Svaki čvor ima ulogu knjigovođe, dok je glavna knjiga nalik bazi podataka ili *Microsoft Excel* tablice.

Blockchain povezuje blokove podataka bazirane na vremenskoj sekvenci, kako bi se stvorila lančana struktura podataka, tj. ulančani blokovi, što objašnjava naziv samog blockchaina. Ova tehnologija posjeduje karakteristike decentralizacije, transparentnosti, distribuirane pohrane, sljedivosti, provjerljivosti i nepromjenljivosti, tj. skoro je nemoguće izmijeniti već pohranjene podatke na blockchainu. Međutim, neke od karakteristika ovise i o vrsti korištenog blockchaina.

Često nazvana novom i inovativnom tehnologijom, blockchain zapravo nije jedinstvena tehnologija. Stvaranje blockchaina zahtijeva novi način spajanja niza postojećih i isprobanih tehnologija, metoda, okvira i protokola u zatvorenu, tj. privatnu ili otvorenu, tj. javnu mrežu za podjelu podataka i obradu transakcija. Među najvažnijim metodama i tehnologijama koje se zajedno koriste kako bi blockchain funkcionirao su: već spomenute javne i privatne komunikacijske mreže (npr. *peer-to-peer* mreža), distribuirane baze podataka, automati stanja, tj. konačni automati, replikacija dnevnika (engl. *log replication*), kriptografija, konsenzusni algoritmi, kontrola konkurencije (engl. *concurrency control*) itd. [91].

Blockchain mreža sadrži P2P čvorove, među kojima svaki čvor ima jednaka prava i obaveze, bez najčešće ikakve vrste samostalnog kontrolnog centra treće strane, ali mogu postojati razlike ovisno o vrsti korištenog blockchaina. Svaki čvor u P2P mreži posjeduje potpuni *backup* cjelokupnog sustava, tj. sigurnosnu kopiju svih podataka sustava te ikakvo oštećenje podataka na pojedinom čvoru ne može utjecati na funkciju cijele mreže. Potpuno decentralizirana struktura sustava omogućava snimanje podataka u stvarnom vremenu te ažuriranje na svakom čvoru u mreži koji sudjeluje u pohrani podataka. *Bitnodes* predstavlja digitalnu kartu svijeta, ažuriranu u stvarnom vremenu, koja prikazuje sve dostupne čvorove unutar *Bitcoin* mreže [11]. Ova karta može poslužiti kao dobar vizualni primjer rasprostranjenosti i povezanosti čvorova unutar blockchain mreže. *Bitnodes* funkcionira pomoću korištenja protokola za slanje poruka svim dostupnim čvorovima, a u svrhu dobivanja procijenjene relativne veličine *Bitcoinove* P2P mreže.

Blockchain je tehnologija otvorenog koda, što je razlog njegove visoke transparentnosti [38]. Visoka sigurnost baze podataka blockchain sustava je rezultat visoke tolerancije kvarova podataka. Također, sigurnost blockchaina je ishod njegove specifične strukture. Svaki blok sadrži svoj jedinstveni identifikacijski kod te *hash* prethodnog bloka, što osigurava sigurnost transakcija. Nakon što blok dobije vremensku oznaku, stvara se vremenski redosljed blokova te se podatci u bazi podataka blockchaina mogu označiti kroz vrijeme. Na ovaj način se može snimiti cijela povijest podataka jednog blockchaina te se stvara mogućnost praćenja podataka [4][14]. Svi podatci imaju sekvencu i vremensku oznaku.

Kontinuirana i kompletna baza podataka se formira kroz tehnologiju vremenskih oznaka kako bi se spriječilo petljanje s podacima i krivotvorenje podataka te dodatno osigurala sigurnost podataka [5][139]. Transakcije koje se dogode u blockchainu ne mogu se izmijeniti ili izbrisati i što je "lanac" transakcija, tj. blokova duži teže je utjecati na njega te je veća razina sigurnosti. Stoga, sigurnost blockchaina se može održati [112]. Da bi se moglo utjecati na postojeći blok, potrebno je natjecati se sa svim korisnicima, tj. čvorovima tog blockchaina, u vidu konstruiranja dužeg lanca blokova. Sustav blockchaina odabire najduži lanac blokova kao onaj istiniti te podatke i transakcije u tom lancu kao one koje su se zapravo dogodile, dok ostale lance odbacuje.

Sustav je dizajniran na ovakav način iz razloga što je najčešće veoma teško da napadač na jedan blockchain uspije oformiti duži lanac blokova od svih ostalih prisutnih korisnika, tj. čvorova. Stvaranje lanca dužeg od onog koji stvaraju ostali (ne napadački) čvorovi zahtjeva, ovisno o blockchainu, ogromnu računalnu snagu koju je jako teško postići te je kod popularnih blockchainova s mnogo korisnika skoro nemoguće. Iz ovog razloga povijesni podatci blockchaina su veoma dobro zaštićeni. Jedna od najbitnijih funkcionalnosti blockchaina, koje ga čine povjerljivim, sigurnim i transparentnim, je takozvani konsenzusni mehanizam. Evidencija transakcija te ostalih vrsta podataka je ugrađena u same blokove, koji su povezani pomoću *hash* vrijednosti te odluka o dodavanju novog bloka u sustav se šalje kroz konsenzusni mehanizam.

U današnje vrijeme su svi globalni sektori sve kompleksniji te ova tehnologija predstavlja inovaciju koja može poslužiti kao alat za rješavanje raznih izazova prisutnih unutar ovih sektora. Primjene blockchaina su sve naprednije te i tehnologije u usponu, poput Internet stvari (engl. *Internet of Things, IoT*) [134], računarstva u oblaku (engl. *cloud computing*) [77][45] i radio-frekvencijske identifikacije (engl. *Radio-Frequency Identification, RFID*) uspješno integrirane u blockchain aplikacije.

Također postoje i razni alati poput tokena i pametnih ugovora (engl. *smart contract*), pomoću kojih je moguć daljnji razvoj i širi raspon primjene ove tehnologije. Blockchain tehnologija se smatra ključnom komponentom *Industrije 4.0* te potpuno integrirane proizvodnje [21][121] i kroz prošlo desetljeće je primjetan visok porast u broju recenziranih članaka vezanih za blockchain. Slika 1. prikazuje broj članaka vezanih za blockchain, između siječnja 2015. i prosinca 2018.

	2015	2016	2017	2018	Total by database
Scopus	5	31	139	482	657
Web of Science	1	28	157	447	633
Inspec	9	40	120	299	468
Compendex	4	17	92	308	421
IEEE Xplore	5	9	42	161	217
EBSCO	3	16	64	109	192
ProQuest	0	7	44	89	140
Total by year	27	148	658	1895	2728



Slika 1. Članci vezani za blockchain [76]

Primjena blockchain tehnologije je moguća s lancima opskrbe, tj. s pomorskim lancima opskrbe, što je tema ovog rada. Pomorski lanac opskrbe je definiran kao kretanje tereta i povezanih usluga podrške između dvije značajne lokacije, korištenjem pomorskog i kopnenog prijevoza. Lanci opskrbe su generalno bili jednostavnije građe prije procesa globalizacije, što je dovelo do veoma kompleksne strukture lanaca opskrbe i raznih izazova. Osim izazova prisutnih u lancima opskrbe, globalni izazovi, poput očuvanja okoliša i pojave inovativnih tehnologija i koncepata, znatno utječu na lance opskrbe. Postoje neetičke prakse i manjak transparentnosti unutar raznih lanaca opskrbe preko cijelog svijeta, a potrošači su pokazali potrebu za metodom ili alatom kojim se može provjeriti i potvrditi kupnja, uz mogućnosti praćenja proizvoda i pristupa podacima o utjecaju na okoliš, duž toka opskrbnog lanca. Također postoji potreba za *business to business* integracijom unutar lanaca opskrbe, koja se odnosi na prijenos elektronskih podataka putem interneta između poslovnih partnera i pružatelja usluga [69].

Isto se može primijeniti na pomorske lance opskrbe, koji sadrže brojne izazove. Pomorski prijevoz je ključni dio globalnog sektora prodaje i procijenjen je na 1.8 milijardi američkih dolara (engl. *United States Dollar, USD*) godišnje te se više od 90 posto globalne prodaje vrši preko pomorske industrije. Uz sve izazove s kojima se suočava pomorska industrija, također se zahtijevaju visoki standardi za zaštitu okoliša, proračun isplativosti te efikasno i sigurno prevoženje dobara preko svijeta [108].

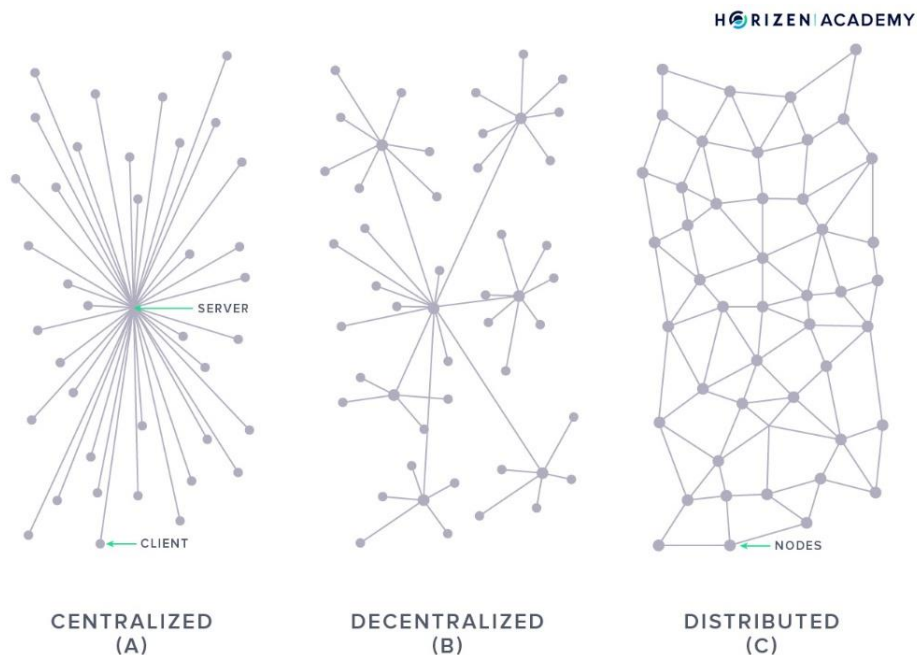
Primjena blockchain tehnologije s pomorskim lancima opskrbe sadrži potencijal za rekonstrukciju raznih aspekata pomorskih tvrtki te realizaciju organske integracije pomorstva i informatičkih tehnologija (engl. *Information Technology, IT*), prave i digitalne ekonomije te tradicionalnih usluga i visoke tehnologije. Ovakva integracija bi promovirala razvoj pomorske industrije. Međutim, postoje brojni izazovi koji moraju biti riješeni unutar pomorske industrije, kako bi integracija s ovom tehnologijom bila uspješna. Među ključnim izazovima su standardizirana i raširena uporaba fizičke dokumentacije, kompleksnost prisutna u lučkim operacijama, ogromna količina zagađenja te manjak suradnje među različitim sudionicima pomorskih lanaca opskrbe. Također, blockchain sadrži brojne izazove, poput ograničene primjene u velikim sustavima te potrebe za velikom količinom energije, uz ostale tehničke izazove. Postoje i razni netehnički izazovi, poput manjka općeg obrazovanja o ovoj tehnologiji te manjka regulacija i standarda.

Cilj ovog diplomskog rada je detaljna obrada blockchain tehnologije i pomorskih lanaca opskrbe, uz analizu prednosti, nedostataka i primjera primjene ove tehnologije s pomorskim lancima opskrbe te se sastoji od tri poglavlja. U prvom poglavlju su obrađeni P2P sustavi, način funkcioniranja blockchaine, *hash* funkcija, asimetrična kriptografija, matematička pozadina blockchaine, struktura i algoritam blockchain sustava, vrste blockchain sustava, nedostaci i ograničenja blockchaine te primjena blockchaine i primjeri primjene. Nadalje, trećem poglavlju su obrađeni lanci opskrbe te specifično pomorski lanci opskrbe, njihova ograničenja i izazovi, uz analizu korištenja blockchaine u pomorskim lancima opskrbe, prednosti i nedostataka istoga te analizu pravih primjera primjene blockchaine u pomorskim lancima opskrbe. Zaključak ovog rada napisan je u četvrtom poglavlju.

1. TEHNOLOGIJA BLOCKCHAIN

The blockchain is a purely distributed peer-to-peer system of ledgers that utilizes a software unit that consist of an algorithm, which negotiates the informational content of ordered and connected blocks of data together with cryptographic and security technologies in order to achieve and maintain its integrity. [39].

P2P sustavi se sastoje od računala koja svoje računalne resurse čine izravno dostupnima ostalima. Prednost ovih sustava leži u njihovoj sposobnosti direktnog spajanja korisnika, tj. stvaranja direktne komunikacije među njima, za razliku od indirektna komunikacije ostvarene preko posrednika. Ukidanje posrednika u P2P sustavima utječe na povećanje brzine rada i smanjenje troškova. Ovi sustavi mogu biti centralizirani, decentralizirani ili čisto distribuirani. Slika 2. prikazuje spomenute vrste P2P sustava. Čisto distribuirani P2P sustavi stvaraju mrežu jednakih članova koji su u direktnoj komunikaciji, bez potrebe za ikakvom centralnom koordinacijom. *Napster* je demonstrirao snagu P2P sustava kada je njegov sustav za dijeljenje podataka započeo novu eru za poslovni model tradicionalne glazbene industrije, koja je većinom djelovala kao posrednik između umjetnika i potrošača [122].



Slika 2. Vrste P2P sustava [59]

Za svaku industriju, koja većinski djeluje kao posrednik između proizvođača i potrošača nematerijalnih ili digitalnih dobara i usluga, moguće je da bude zamijenjena s P2P sustavima. Kako se proces digitalizacije nastavlja, sve više aspekata ljudskog svakodnevnog života i sve veći broj dobara i usluga postat će nematerijalni te će imati koristi od P2P sustava. Šanse dostizanja integriteta u distribuiranim P2P sustavima su više ako je broj čvorova, uz njihovu pouzdanost, poznat. Problem koji je blockchain morao riješiti je postizanje i održavanje integriteta u čisto distribuiranom P2P sustavu, koji se sastoji od nepoznatog broja čvorova s nepoznatom pouzdanošću i povjerenjem.

Ovo je poznati problem u računalnoj znanosti koji se često naziva bizantskom greškom (*engl. Byzantine fault*) ili problemom bizantskih generala [47]. Bez rješavanja ovog problema, blockchain ne bi bio siguran za korištenje jer postoje, kao i u ostalim P2P sustavima, dvije velike prijetnje integritetu sustava: tehničke pogreške i zlonamjerni *peerovi*. Iako ove prijetnje postoje te blockchain posjeduje i druge mane koje ga čine nesavršenim sustavom, svejedno postoje algoritmi i metode pomoću kojih blockchain rješava spomenute prijetnje te ostaje siguran sustav za korištenje [39].

Jedna od ranjivosti blockchaine leži u manipulaciji podacima o vlasništvu određenog dobra. Individualna glavna knjiga se koristi za održavanje podataka o vlasništvu te su ove glavne knjige pohranjene na računalima, tj. čvorovima P2P sustava. Algoritam blockchaine je strukturiran na način da dopušta pojedinim čvorovima sustava da kolektivno dođu do jedne dosljedne verzije stanja vlasništva, na osnovu kojeg se temelji konačna presuda o stanju vlasništva u sustavu. Blockchain na ovaj način rješava jedan od problema P2P sustava koji se zove dvostruka potrošnja ili dvostruka transakcija. Dvostruka transakcija se može odnositi na problem uzrokovan kopiranjem digitalnih dobara ili na problem prekršenog integriteta u čisto distribuiranom P2P sustavu.

Ključna stavka za rješavanje ovog, a i drugih problema leži u dokumentiranju vlasništva, koje blockchain rješava pomoću opisivanja prijenosa vlasništva i održavanja povijesti vlasništva. Blockchain održava cijelu povijest svih transakcija koje su se ikada dogodila pomoću pohrane podataka tih transakcija u strukturu blockchaine, redom kojim su se dogodile. Za transakciju koja nije dio te povijesti smatra se da se nije dogodila.

Dodavanje podataka o transakciji blockchainu znači zapravo realizirati tu transakciju i dopustiti da na rezultat transakcije utječe povijest svih transakcija, a u svrhu identifikacije trenutnog vlasnika [39]. Svaki čvor pohranjuje cijelu povijest svih transakcija te je potrebna komunikacija među čvorovima. Komunikacija među čvorovima je bazirana na porukama koje su poslone u stilu traćanja. Svaki čvor koji primi poruku je prosljeđuje *peerovima* s kojima komunicira, koji će poruku proslijediti na isti način. U porukama su duplikati transakcija ili blokova identificirani i filtrirani na osnovu njihovih kriptografskih *hash* vrijednosti. Svaki čvor može posložiti primljene podatke u pravom redoslijedu jer podatci transakcija i zaglavlja blokova sadrže vremenske oznake. Prosljeđivanje podataka vezanih za vlasništvo se događa u tri prigode:

- Na kontinuiran način prosljeđivanja novih transakcijskih podataka i novih blokova svim čvorovima koji su spojeni na sustav.
- Kao ažuriranje za čvorove koji se ponovo povezuju na sustav, nakon što su odvojeni neko vrijeme.
- Kao dio postupka uključivanja koji prenosi kopiju cijele ažurne verzije podatkovne strukture blockchaina novim čvorovima, kako bi se osiguralo da postanu punopravni čvorovi nakon pridruživanja sustavu [39].

1.1. HASH FUNKCIJA

Hash funkcija predstavlja funkciju koja se može iskoristiti za kartiranje digitalnih podataka arbitrarne veličine, u digitalne podatke fiksne veličine. Vrijednosti koje *hash* funkcija vraća, tj. stvara se nazivaju *hash* vrijednosti, *hash* kodovi, *hash* sume ili samo *hash*. Postoje razne i veoma različite *hash* funkcija te se međusobno razlikuju po dužini *hash* vrijednosti koju stvaraju. Veoma korištena i ključna za blockchain grupa *hash* funkcija su kriptografske *hash* funkcije ili "slagalice", koje stvaraju digitalni otisak za bilo koju vrstu podataka. Neke od češće korištenih funkcija su *MD5*, *SHA1* i *SHA256*. Podatci bilo koje veličine uvijek daju *hash* iste veličine, dok mala promjena ulaznih podataka rezultira u potpuno drukčijim *hashevima*. *Hashevi* imaju sljedeća svojstva: otpornost na koliziju, jednosmjerno korištenje, pseudo-nasumičnost, determinističnost i brzo pružanje *hash* vrijednosti za bilo koju vrstu podataka [39]. Elementi kriptografske *hash* slagalice su:

- Dani podatci koji moraju ostati nepromijenjeni.
- Podatci koji se mogu mijenjati, tj. takozvani jednokratni niz.

- *Hash* funkcija koja se mora primijeniti.
- Zabrane za *hash* vrijednost kombiniranog *hashinga*, takozvana razina težine *hash* slagalice [6].

Hash slagalice se jedino mogu riješiti metodom pokušaja i pogreške. Ova metoda zahtijeva pogađanje jednokratnog niza, kalkuliranje vrijednosti *hasheva* kombiniranih podataka, uz potrebnu *hash* funkciju i evaluaciju rezultirajuće *hash* vrijednosti bazirane na danim zabranama. Ako vrijednost *hasheva* zadovoljava dane zabrane, slagalica je riješena. Nasuprot tome, rad se nastavlja sa sljedećim jednokratnim nizom, dok se eventualno slagalica ne riješi. Jednokratni niz koji, kombiniran s danim podacima, daje *hash* vrijednost koja zadovoljava zabrane zove se rješenje. Kada netko tvrdi da je riješio *hash* slagalicu, potrebno je da prikaže rješenje, tj. jednokratni niz specifično za tu slagalicu. Čest naziv za ovaj proces je *mining*, tj. rudarenje.

Rudarenje se populariziralo u kontekstu rudarenja kriptovaluta poput *Bitcoina*, gdje softver za rudarenje na računalu koristi računalne resurse za rješavanje jednokratnih nizova, u vidu rješavanja same *hash* slagalice. Nadalje, onaj koji riješi slagalicu dobiva pravo stvaranja novog, tj. sljedećeg bloka podataka u strukturi blockchaina, kojeg svi ostali čvorovi u tom sustavu moraju prihvatiti. Prihvaćanjem novog bloka čvorovi ga zapisuju u svoje glavne knjige i na taj način se lanac blokova nastavlja. Motivacija za potrošnju računalnih resursa za rješavanje slagalice leži u dobivenoj nagradi. Na primjeru *Bitcoina*, tko riješi slagalicu dobiva određenu količinu *Bitcoina*. Iz razloga što *hash* slagalice jedino mogu biti riješene metodom pokušaja i pogreški, velika količina računalne snage je potrošena, tj. velika količina vremena i energije. U slučaju *Bitcoina*, preko cijele mreže se pogađaju jednokratni nizovi po stopi od otprilike 600 milijuna *terahasheva* po sekundi (lipanj, 2024.) [12]. *Hash* vrijednosti se mogu iskoristiti za:

- Uspoređivanje podataka.
- Otkrivanje jesu li su podatci, koji moraju ostati neizmijenjeni, bili izmijenjeni.
- Referiranje na podatke na način osjetljiv na promjene.
- Pohranjivanje skupa podataka na način osjetljiv na promjene.
- Stvaranje računalno skupih i zahtjevnih zadataka [39].

Funkcionalnost *hash* slagalica krucijalno ovisi o činjenici da su *hash* funkcije jednosmjernne. Nije moguće riješiti slagalicu pomoću promatranja zabrana koje *hash* vrijednost mora zadovoljiti i potom primijeniti *hash* funkciju u suprotnom smjeru, npr. pokušati doći od željenog rezultata, tj. *outputa*, do obaveznih ulaznih podataka, tj. *inputa*. Razina težine direktno utječe na broj pokušaja prosječno potreban za pronalaženje rješenja, što nadalje utječe na računalne resurse ili vrijeme potrebno za pronalazak rješenja. U kontekstu blockchaina, *hash* slagalice se često nazivaju *dokaz o radu* (engl. *Proof of Work, PoW*), jer njihovo rješavanje dokazuje da je netko obavio rad potreban da ih riješi [39]. PoW koristi *Bitcoin* i ova tehnologija je skupa, nije ekološka i zahtijeva velik broj izračuna.

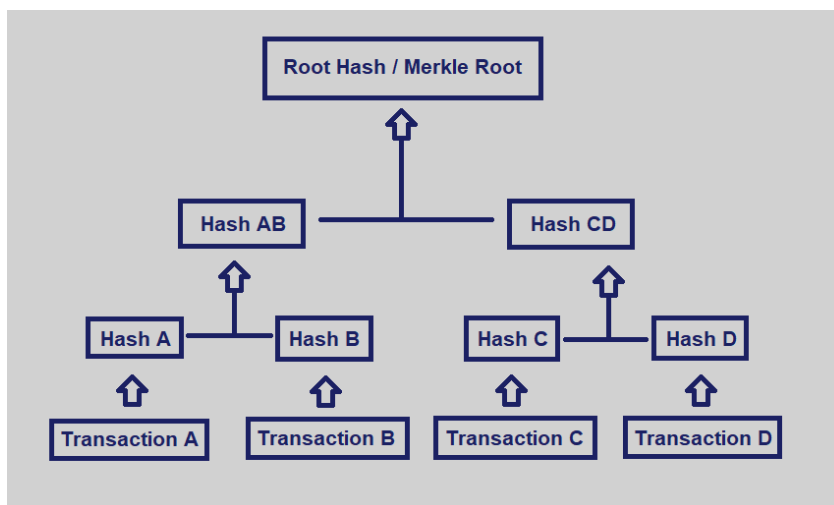
Ostale tehnologije koje se mogu primijeniti su *dokaz o x* (engl. *Proof of X, PoX*) ili *dokaz o udjelu* (engl. *Proof of Stake, PoS*). PoX je probabilistički protokol koji garantira "živost" i otpornost na greške, međutim, nije potpuno siguran iz razloga što čvorovi mogu doći do različitih verzija glavne knjige blockchaina radi latencije pri širenju, tj. dijeljenju podataka [124]. PoS je alat općeg konsenzusa. Kada se PoS primijeni, sudionici će izabrati nove blokove koji su bazirani na količini valute koju imaju u blockchainu. *Ethereum* koristi ovu tehnologiju. Također dostupna metoda je *Practical Byzantine False Tolerance*, tj. PBFT, koji stvara konsenzus jer radi na sustavu s parcijalno sinkroniziranim postavkama [124][79]. *DFINITY* i *Algorand* koriste PBFT.

Također, ključno za pravilan rad *hash* slagalica i samog blockchaina su *hash* stabla ili Merkleova stabla, a to su "stabla" u kojima su svi "listovi", tj. čvorovi označeni s kriptografskom *hash* vrijednošću bloka podataka. Svi čvorovi koji nisu "listovi" se nazivaju granama, unutarnjim čvorovima ili *i-node* i označeni su s kriptografskim *hashem* "listova" te nemaju poveznicu s blokovima podataka. Korijen *hash* stabla, tj. takozvani *root hash* sadrži *hasheve* svih transakcija. *Hash* stablo omogućava efikasnu i sigurnu provjeru sadržaja velike podatkovne strukture te je zapravo generalizacija *hash* liste [131] i *hash* lanca [130].

Ova struktura se zove Merkleovo stablo jer ju je računalni znanstvenik Ralph C. Merkle predložio i sama struktura izgleda kao stablo okrenuto naopako [132]. Veoma je korisna za grupiranje mnogo različitih dijelova podataka koji su dostupni istovremeno i za učiniti ih dostupnima preko jedne *hash* reference.

Merkleova stabla pohranjuju podatke na način osjetljiv na promjene jer ona povezuju i kombiniraju podatke s *hash* referencama. Ove reference prestaju funkcionirati kada se podatci, na koje one referiraju, promjene. Stoga je nalazak neispravne reference u takvoj konstrukciji dokaz da su neki podatci izmijenjeni nakon što je struktura stvorena. Suprotno

tome, ako je referenca ispravna, može se zaključiti da struktura nije promijenjena od kada je stvorena. Slika 3. prikazuje jednostavan primjer Merkleovog stabla.



Slika 3. Jednostavan primjer Merkleovog stabla [26]

1.2. ASIMETRIČNA KRIPTOGRAFIJA

Kriptografija je često smatrana kompliciranom i teškom za razumjeti. Asimetrična kriptografija predstavlja temelj identifikacije korisnika unutar blockchaina i zaštite njihovih dobara. Cilj kriptografije je zaštita podataka, a s ciljem da se onemogući pristup korisnicima kojima to nije dopušteno. Ona je digitalni ekvivalent brava na vratima ili bankovnih sefova, koji služe onemogućavanju pristupa osobama kojima on nije dopušten. Poput brava i ključeva u fizičkom svijetu, kriptografija također koristi ključeve u svrhu zaštite podataka [39].

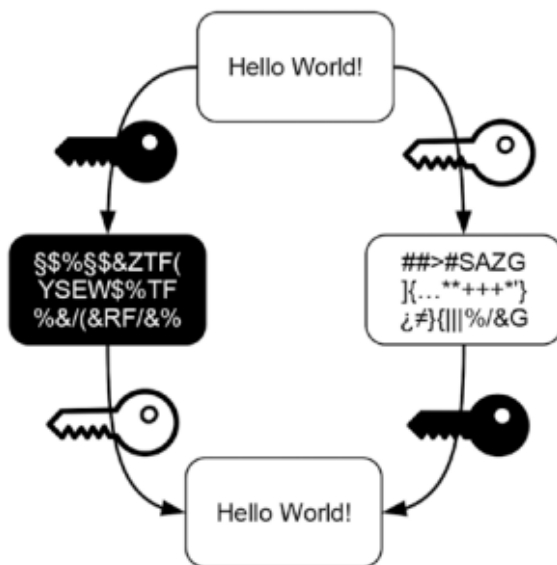
Digitalni ekvivalent zaključavanja brave se zove enkripcija, tj. šifriranje, dok je ekvivalent otključavanja brave zvan dekripcija, tj. dešifriranje. Šifrirani podatci se također nazivaju šifriranim tekstom te izgledaju kao beznačajna skupina slova i brojeva svakome bez znanja kako ih dešifrirati.

Da bi spomenuta slova i brojevi dobili traženo značenje, potrebno je imati pravi ključ za dešifriranje. Dešifrirani podatci izgledaju identično originalnim podatci koji su bili šifrirani. Slika 4. prikazuje grafičku shemu osnovnih kriptografskih koncepata.



Slika 4. Grafička shema osnovnih kriptografskih koncepata [39]

Postoji više vrsta kriptografije. Simetrična kriptografija koristi jedan ključ u svrhu šifriranja i dešifriranja, dok asimetrična kriptografija koristi dva različita ključa te je time i sigurnija. Blockchain ne može funkcionirati bez asimetrične kriptografije. Ona koristi dva komplementarna ključa, što znači da podatci šifrirani s jednim ključem mogu biti dešifrirani samo s drugim ključem te obrnuto. Ovi ključevi se u praksi najčešće nazivaju javni ključ i privatni ključ, kako bi se mogla razumjeti njihova funkcija. Javni ključ vlasnik dijeli sa svima, dok privatni ključ ostaje poznat samo njemu.. Slika 5. prikazuje grafičku shemu asimetrične kriptografije.



Slika 5. Grafička shema asimetrične kriptografije [39]

Blockchain koristi asimetričnu kriptografiju u svrhu ispunjenja dva cilja:

- Identifikacija računa: korisnički računi su javni ključevi.
- Autorizacija transakcija: vlasnik računa koji kupcu predaje vlasništvo stvara za njega šifrirani tekst s odgovarajućim privatnim ključem koji kupac mora posjedovati.

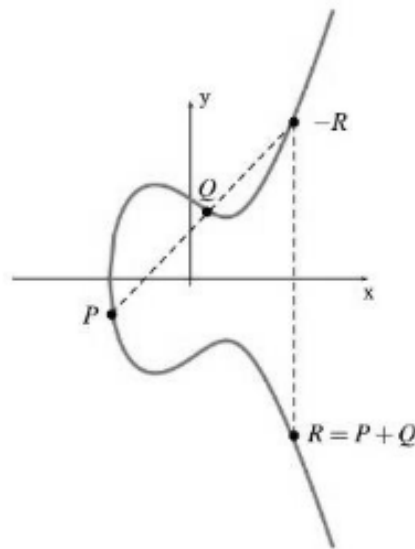
Šifrirani tekst se provjerava korištenjem odgovarajućeg javnog ključa, koji predstavlja broj računa koji predaje vlasništvo [39]. Digitalni potpisi su ekvivalenti vlastoručnih potpisa. Oni koriste kriptografski *hashing* i "privatno-u-javno" podatkovni tok asimetrične kriptografije. Uporaba digitalnih potpisa se sastoji od stvaranja potpisa, provjeru podataka korištenjem potpisa te pronalazak prevara korištenjem potpisa. Svrha digitalnog potpisa je jedinstvena identifikacija tvorca određenog vlasništva te mogućnost izražavanja suglasnosti tvorca sa sadržajem ili stanjem određenog dobra i odobrenja njegovog izvršenja. Digitalne potpise u blockchainu je moguće pratiti do jednog određenog privatnog ključa i do jedne određene transakcije, unutar jednog procesa [39].

1.3. MATEMATIČKA POZADINA BLOCKCHAIN TEHNOLOGIJE

Eliptične krivulje su krucijalne za pravilnu funkciju blockchaina te su korištene i u kriptografiji, tj. u kriptografiji eliptičnih krivulja (engl. *Elliptic Curve Cryptography, ECC*) i pri provjeri digitalnih potpisa. Eliptična krivulja [128] je jednačba poput $y^2 = x^3 + a * x + b$. U *Bitcoinu* i većini drugih implementacija blockchaina, $a = 0$ i $b = 7$, tako da spomenuta jednačba postaje $y^2 = x^3 + 7$ [36]. Sve koordinatne točke u eliptičnoj krivulju čine aditivnu Abelovu grupu [129]. Ako je $E = \{(x, y) \text{ na eliptičnoj krivulji}\}$ onda je adicija dobro definirana ako je $P = (p_1, p_2)$ i $Q = (q_1, q_2) \in E$. Tada je $P + Q$ točka na eliptičnoj krivulji, koja je refleksija x osi točke gdje se sijeku spojne linije P i Q [36]. ECC je zapravo algebarska kriptografija u konačnom polju F_p [9]. Sve operacije u algebarskom polju (zbrajanja i množenja) od dvije točke u eliptičnoj krivulji, rezultiraju u drugoj točki na istoj krivulji. Ovaj proces se izvršava s modularnom aritmetikom u obliku $y^2 = x^3 + a * x + b \pmod{p}$ [36]. ECC se sastoji od:

- Eliptične krivulje u konačnom polju F_p .
- G - generatorska točka (stalna konstanta, bazna točka na eliptičnoj krivulji).
- K - privatni ključ (cijeli broj).
- $P = k * G$ - javni ključ (točka).

Koristeći dobro poznate ECC metode množenja u vremenu $\log_2 * k$, poput *double-and-add algoritma*, brzo se može izračunati $P = k * G$. Za 256-bitne krivulje potrebno je nekoliko stotina izravnih operacija s eliptičnim krivuljama [36]. Izračunavanje $k = P / G$ je iznimno dugotrajno i smatra se nemogućim za veliku vrijednost k [36]. ECC, često zvana i diskretni logaritamski problem eliptične krivulje (engl. *Elliptic Curve Discrete Logarithmic Problem, ECDLP*) [56] se bazira na prikazanoj asimetriji (brzo množenje i nepraktična spora suprotna operacija). Slika 6. prikazuje primjer eliptične krivulje.



Slika 6. Eliptična krivulja s P i Q točkama [36]

Također, za funkciju blockchaina ključan je i digitalni algoritam potpisa eliptične krivulje (engl. *Elliptic Curve Digital Signature Algorithm, ECDSA*), koji uzima poruku msg i privatni ključ $PrivKey$ kao ulazne podatke i stvara potpis $\{r, s\}$, pomoću sljedećeg algoritma:

- Odrediti $h = hash(msg)$.
- Generirati nasumični broj k (privatni ključ) sigurno u dometu $[1, \dots n]$.
- Odrediti $R = k * G$ i uzeti njegovu x -koordinatu r .
- Stvoriti potpis $s = k^{-1} * (h + r * PrivKey) \pmod{n}$.
- Vratiti potpis $\{r, s\}$ [36].

Za provjeru ECDSA potpisa potrebno je uzeti potpisanu poruku msg i potpis $\{r, s\}$ stvoren od algoritma za potpisivanje te javni ključ $PubKey$, koji odgovara privatnom ključu potpisatelja, $PrivKey$. Rezultat je Booleova vrijednost, tj. točan ili netočan potpis [36]. Algoritam za provjeru ECDSA potpisa se sastoji od sljedećih radnji:

- Odrediti $h = hash(msg)$.
- Odrediti $R' = (h * s_1) * G + (r * s_1) * PubKey$, gdje je $s_1 = s_{-1} \pmod{n}$.
- Uzeti njegovu x-koordinatu r' od R' .
- Izračunati rezultat provjere potpisa pomoću uspoređivanja da li je $r' == r$ [36].

Osnovni princip provjere potpisa leži u korištenju javnog ključa za dohvat točke R' i potvrđivanju da je to točka koju je R stvorilo nasumično tijekom procesa potpisivanja.

1.4. STRUKTURA BLOCKCHAIN TEHNOLOGIJE

Blockchain posjeduje specifičnu vrstu podatkovne strukture koja se sastoji od uređenih jedinica koje se nazivaju blokovi. Blockchain struktura se sastoji od dvije glavne podatkovne strukture: uređenog lanca zaglavlja blokova i Merkleovih stabala. Zaglavlje svakog bloka referira zaglavlje prošlog bloka, što održava redoslijed individualnih zaglavlja blokova i samih blokova koji čine strukturu blockchaina. Svako zaglavlje bloka je identificirano pomoću svoje kriptografske $hash$ vrijednosti i sadrži $hash$ referencu za prethodno zaglavlje bloka i $hash$ referencu za podatke (specifične za taj sustav) čiji redoslijed održava. $Hash$ referenca za spomenute podatke je tipično korijen Merkleovog stabla koje održava $hash$ reference za te podatke. Koraci potrebni za dodavanje novih transakcijskih podataka u Blockchain strukturu su:

- Stvaranje novog Merkleovog stabla koje sadrži nove transakcijske podatke koji će se dodati.
- Stvaranje novog zaglavlja bloka koje sadrži $hash$ referencu prethodnog zaglavlja i korijen Merkleovog stabla koje sadrži nove podatke.
- Stvaranje $hash$ reference za novo zaglavlje bloka, koje je trenutno "glava" blockchain strukture [39].

Promjena podataka u blockchain strukturi zahtijeva obnavljanje svih *hash* referenci, počevši s onom koja direktno ukazuje na manipulirane podatke i završavajući "glavom" cijele strukture, uz sve *hash* reference između njih. Cijela struktura prati pristup "sve ili ništa" u vidu promjene svojih podataka. Ili se promjeni cijela podatkovna struktura, počevši od točke koja uzrokuje promjenu do "glave" cijelog lanca ili je bolje ostaviti cijelu strukturu netaknutu. Visoka osjetljivost blockchain strukture u vidu promjena je posljedica svojstava *hash* referenci.

Veoma je važno da cijela povijest transakcijskih podataka, održavanih sa strane blockchaine, uvijek prezentira istinu i to je čini pouzdanim izvorom i alatom za razrješavanje stavki vezanih s vlasništvom. Blockchain je čisto distribuiran P2P sustav koji je generalno otvoren svima (ovisno o primjeni). Iz tog razloga postoji rizik da nepouzdana *peerovi* mogu manipulirati ili krivotvoriti povijest transakcijskih podataka u svoju korist. Glavni koncept koji koristi blockchain, a da bi održao povijest transakcija nepromjenjivom, je da čini njenu promjenu pretjerano skupom te da takvi troškovi odvrate svakoga od pokušaja promjene povijesti. Da bi povijest transakcijskih podataka bila nepromjenjiva potrebna su tri elementa:

- Pohranjivanje povijesti transakcijskih podataka na način da se i najmanja manipulacija njenog sadržaja istakne i postane uočljiva.
- Osiguravanje da proces ubacivanja manipulacije u povijest zahtijeva izmjenjivanje velikog dijela nje.
- Činjenje procesa dodavanja, pisanja ili izmjenjivanja podataka u povijesti računalno skupim [39].

Spomenuti elementi se mogu realizirati u blockchain strukturi samo radi kompleksne strukture samih blokova. Proces stvaranja novog bloka zahtijeva sljedeće korake:

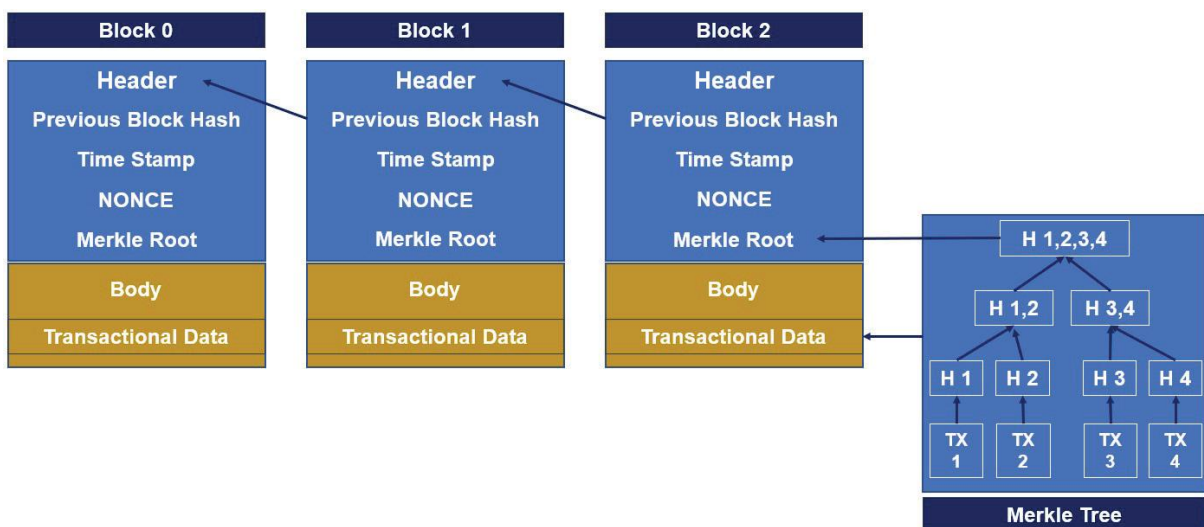
- Dobivanje korijena Merkleovog stabla koje sadrži transakcijske podatke koji će biti dodani u strukturu.
- Stvaranje *hash* reference za zaglavlje bloka koje će biti prethodnik iz perspektive novog zaglavlja bloka.
- Dobivanje potrebne razine težine.
- Dobivanje trenutnog vremena.
- Stvaranje preliminarnog zaglavlja bloka koje sadrži sve spomenute podatke.
- Rješavanje *hash* slagalice za preliminarno zaglavlje bloka.

- Dodavanje jednokratnog niza koji rješava *hash* slagalicu za preliminarno zaglavlje [39].

Također, svako zaglavlje bloka mora ispuniti sljedeća pravila:

- Mora sadržavati pravilnu *hash* referencu za prijašnji blok.
- Mora imati pravilni korijen Merkleovog stabla koje sadrži transakcijske podatke.
- Mora sadržavati pravilnu razinu težine.
- Vremenska oznaka mora biti nakon vremenske oznake prethodnog zaglavlja bloka,
- Mora sadržavati jednokratni niz.
- *Hash* vrijednost svih spomenutih pet dijelova podataka, kombiniranih zajedno, ispunjava razinu težine [39].

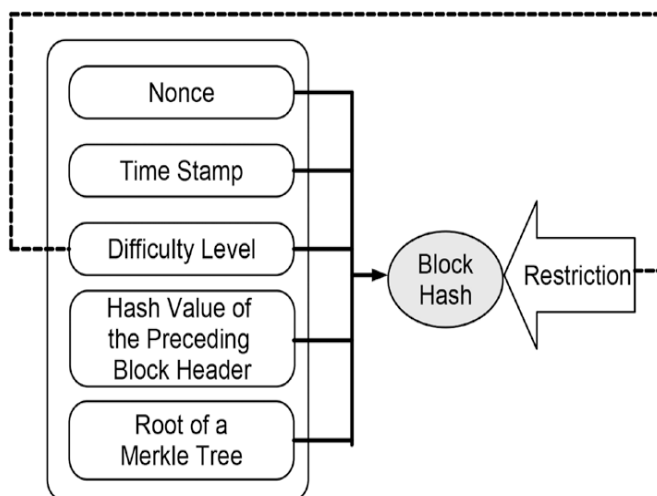
Slika 7. prikazuje sastav blokova, međusobnu povezanost blokova i vezu s Merkleovim stablom.



Slika 7. Sastav blokova i Merkleovog stabla (uz međusobnu povezanost) [93]

Primjene blockchaina u pravom svijetu rijetko imaju konstantnu razinu težine za sve blokove. Umjesto toga često se koristi dinamička razina težine, bazirana na brzini kojom se dodaju, tj. stvaraju novi blokovi. Ovakav pristup osigurava da vrijeme potrebno za rješavanje *hash* slagalice ostaje na razini na kojoj čvorovi ne mogu manipulirati poviješću transakcijskih podataka, dok se stvarni računalni napor može i povećati.

Slika 8. prikazuje shematsku ilustraciju *hash* slagalice koja se mora riješiti pri dodavanju novog bloka u strukturu blockchaina.



Slika 8. Shema *hash* slagalice [39]

1.5. ALGORITAM BLOCKCHAIN TEHNOLOGIJE

Blockchain algoritam se sastoji od pravila i instrukcija koja upravljaju načinom na koji se transakcijski podatci procesiraju i dodaju u sustav. Glavna ideja blockchain algoritma je da dopusti svim čvorovima u sustavu da djeluju kao nadzornici svojih *peerova* te da ih nagradi za dodavanje ispravnih i autoriziranih transakcija i pronalaženje grešaka u radu drugih. Radi pravila algoritma, svi čvorovi u sustavu imaju poticaj da procesiraju transakcije pravilno te nadgledaju i ukazuju na moguće pogreške počinjene od strane drugih *peerova*. Blockchain algoritam se bazira na sljedećim konceptima:

- Pravila za provjeru transakcijskih podataka i zaglavlja blokova.
- Nagrade za podnošenje pravilnih blokova.
- Kazne za narušavanje integriteta sustava.
- Kompetitivnost među *peerovima* za dobivanje nagrada baziranim na brzini i kvaliteti procesiranja.
- Kontrola *peerova* [39].

Pravila natjecanja stvaraju ritam izmjene dva stanja koji upravlja rad svakog čvora u mreži. U bilo kojem trenutku svi čvorovi sustava su u jednom od ta dva stanja.

Dva moguća stanja su stanje evaluacije novog bloka kojeg su drugi stvorili ili stanje jakog rada kako bi se postiglo biti sljedeći čvor, koji će stvoriti novi blok kojeg svi ostali moraju evaluirati. Radni ritam je nametnut sa strane dolaska poruka na individualne čvorove. Većina poštenih čvorova i njihov rad i trud prema dostizanju nagrade prevagnuti će nad nepoštenim čvorovima koji pokušavaju narušiti integritet sustava. Kolektivno građenje podatkovne strukture blockchaina je poput sudjelovanja u kontinuiranoj shemi glasanja. Svaki čvor ima mali utjecaj na kolektivno glasanje o tome koja bi se povijest transakcija trebala odabrati, ali svi čvorovi zajedno formiraju moćnu zajednicu koja konzistentno odabire svoju povijest.

Ovakav pristup funkcionira jer sudjelovanje u glasanju ima svoju cijenu. Sudjelovanje u glasanju zahtijeva pružanje nužnog rada za rješavanje *hash* slagalice te podnošenjem novog bloka čvor se posveti njemu u svrhu dobivanja nagrade. Iz razloga što svi čvorovi nezavisno koriste identičan kriterij za odabir povijesti transakcija, eventualno svi čvorovi postignu konsenzus. Kašnjenja pri slanju novih blokova preko mreže ili u slučaju kada dva čvora stvaraju nove blokove u skoro isto vrijeme uzrokuju da podatkovna struktura blockchaina poprimi oblik stabla gdje različite grane predstavljaju različite verzije povijesti transakcija. Odabir identične verzije povijesti transakcija je problem pri kolektivnom donošenju odluka. Spomenuti problem je karakteriziran sljedećim stavkama:

- Svi čvorovi funkcioniraju u identičnom okruženju koje se sastoji od mreže čvorova koji održavaju svoje individualne kopije podatkovne strukture i blockchain algoritma koji upravlja ponašanjem čvorova.
- Problem pri donošenju odluka leži u odabiru identične povijesti transakcija preko svih čvorova.
- Svi čvorovi nastoje maksimizirati individualni prihod koji je zaslužen kao nagrada za dodavanje novih pravilnih blokova u podatkovnu strukturu blockchaina.
- Da bi ostvarili svoje ciljeve, svi čvorovi šalju svoje nove blokove svim svojim *peerovima* kako bi ih pregledali i prihvatili. Kao rezultat, svaki čvor ostavlja svoj individualni trag u okruženju koje je zapravo kolektivno održavana podatkovna struktura.
- Svi čvorovi koriste iste kriterije za odabir povijesti transakcijskih podataka [39].

Kriterij najdužeg lanca blokova navodi da svaki čvor nezavisno odabire put u podatkovnoj strukturi blockchaina koji sadrži najviše blokova. Kriterij najtežeg lanca blokova navodi da svaki blok nezavisno odabire put u podatkovnoj strukturi blockchaina koji ima najveću ukupnu težinu. Kolektivno odabrana verzija povijesti transakcija se često naziva autoritativnim lancem. Što je blok stariji, tj. što je dublje u autoritativnom lancu znači da posjeduje sljedeće karakteristike:

- Manje je podložan nasumičnim promjenama blokova koji pripadaju najdužem lancu.
- Manje su šanse da bude odbačen.
- Više je prihvaćen sa strane čvorova sustava.
- Više je "usidren" u generalnu povijest čvorova.

Međutim, postoje određeni napadi koji mogu ispravne blokove izbaciti iz autoritativnog lanca i na taj način promijeniti povijest transakcija u svoju korist. Jedan od poznatih i opasnih vrsta napada je 51% napad. Uspješno provede napad može rezultirati u milijunima ukradenih USD. On predstavlja pokušaj da se manipulira i kontrolira većina glasačke snage u kolektivnom procesu glasanja, s ciljem da se blokovi koji su dio autoritativnog lanca pretvore u napuštene blokove. Svi blokovi u podatkovnoj strukturi koji nisu dio autoritativnog lanca su napušteni sa strane čvorova i nazivaju se napuštenim blokovima [54].

Ovi blokovi mogu, uz pomoć napadača, oformiti novi autoritativni lanac koji sadrži povijest transakcija koja je pogodnija ciljevima napadača. Ovaj napad je veoma teško izvesti jer zahtijeva ogromnu računalnu snagu, koju je skoro nemoguće dostići, za napad na velike blockchain sustave. Napad na manje sustave je lakše izvesti, ali bi svejedno zahtijevalo trošak radi kojeg se u većini slučajeva ne isplati napadati manje sustave, jer je prihod od napada na manji sustav znatno manji od npr. napada na sustav poput *Bitcoin*a ili *Ethereuma* [39].

Natjecanje za nagradu i opasnost od kažnjavanja su dvije sile koje održavaju pravilan rad *peerova* sustava, da se transakcije uredno provjeravaju i da se odabire povijest transakcija koja ujedinjuje najveći kolektivni napor.

Ako čvor stvori novi blok koji kasnije bude napušten od strane ostalih čvorova, oduzima mu se i nagrada koju je dobio za stvaranje bloka pa se na taj način ostvaruje opasnost od kažnjavanja.

Nagrade i kazne su generalno implementirane s nagradama baziranim na transakcijskim naknadama i PoW-u. Ovakav način rada je univerzalan u svim primjenama blockchaina, neovisno o njihovoj specifičnoj primjeni. Međutim, izbor instrumenta plaćanja koji služi za kompenzaciju održavatelja sustava nije identičan pri svim primjenama blockchaina. Definiranje i korištenje instrumenta plaćanja, koji će biti dan svim *peerovima* za provjeru i dodavanje novih blokova, jedan je od izazova pri stvaranju blockchain aplikacije. Pri odabiru instrumenta plaćanja treba se uzeti u obzir utjecaj na integritet sustava, na otvorenost sustava, na distribuiranu prirodu sustava i utjecaj na filozofiju sustava. Poželjna svojstva instrumenta plaćanja su sljedeća:

- Dostupnost u digitalnom obliku.
- Prihvaćenost u pravom svijetu.
- Prihvaćenost u svim zemljama.
- Neovisnost o ograničenjima kretanja kapitala.
- Odsutnost kontrole od strane centralne organizacije ili države.
- Pouzdanost [39].

Najčešći naziv za instrumente plaćanja za kompenzaciju *peerova* koji održavaju sustav je kriptovaluta, koja predstavlja nezavisnu digitalnu valutu čije je vlasništvo održavano sa strane blockchaina u kojem se koristi. Osim kriptovaluta, koje su popularizirale ovu tehnologiju, također se koriste i tokeni.

Tokeni su isprva predstavljali udjele određenog projekta (slično dionicama) i istovremeno imali ulogu "radnih jedinica" koje su potrebne da bi sustav ostao funkcionalan. U početku zamišljeni kao alat za praćenje vlasništva dobara i prikupljanje sredstava za projekte, kasnije su se razvili u "monopol tokena", što podrazumijeva sustav koji nije funkcionalan osim ako transakcije nisu podržane određenom količinom tokena. Posljedica korištenja tokena je stvaranje ovisnosti o jedinicama koje postanu nepotreban dodatak za algoritme određenog projekta [70].

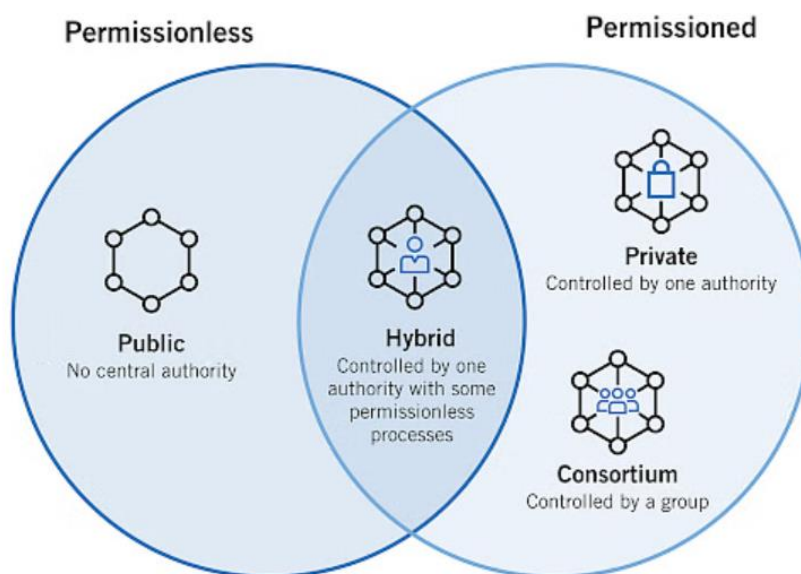
1.6. VRSTE BLOCKCHAIN TEHNOLOGIJE

Postoje razne vrste blockchainova, ovisno o potrebama i mogućnostima onih koji ih stvaraju i koriste. Javni blockchainovi (*Bitcoin, Ethereum, Cardano*, itd.) dodjeljuju pravo čitanja i stvaranja novih transakcija svim korisnicima ili čvorovima. Privatni blockchainovi (*Hyperledger Fabric, IBM Blockchain, Ripple* i razni interni sustavi brojnih tvrtki) ograničavaju pravo čitanja i stvaranja novih transakcija na samo izabranu skupinu korisnika ili čvorova. Blockchain kao svaki sustav ima svoje mane te postoje određeni konflikti između karakteristika blockchaina koji su doveli do stvaranja različitih vrsta blockchainova koji mogu ispuniti potrebe svih koji ih koriste [115]. Glavna dva konflikta između svojstava blockchaina su:

- **Transparentnost i privatnost:** transparentnost je potrebna za razrješavanje vlasništva i sprječavanje dvostruke potrošnje, ali korisnici također zahtijevaju privatnost. Ovaj konflikt ima korijen u dodjeljivanju prava čitanja podatkovne strukture blockchaina. Rješavanje ovog konflikta je dovelo do javne i privatne verzije blockchaina.
- **Sigurnost i brzina:** jasno je da je povijest transakcijskih podataka najvažniji dio blockchaina. Ona je zaštićena od manipulacije i krivotvorenja pomoću pohrane u nepromjenjivu podatkovnu strukturu, koja zahtijeva rješenje *hash* slagalice za svaki blok podataka koji se dodaje. Ovaj proces čini pretjerano skupim proces manipulacije ili krivotvorenja povijesti transakcija, ali također usporava brzinu kojom se novi transakcijski podatci mogu dodati u strukturu. Ovo je u kontrastu s zahtjevima brzine i skalabilnosti koji su prisutni u mnogo komercijalnih aplikacija. Posljedica ovoga je konflikt između osiguravanja povijesti transakcijskih podataka preko dugotrajnog PoW procesa te, s druge strane, korisničkih zahtjeva za brzinom i skalabilnošću sustava.
- **Konflikt brzine i sigurnosti** ima korijen u dodjeljivanju prava pisanja, tj. dodavanja u blockchain podatkovnu strukturu. Rješavanje ovog konflikta je rezultiralo u stvaranju hibridnih blockchainova, tj. otvorene (engl. *permissionless*) i zatvorene (engl. *permissioned*) vrste blockchaina.

Otvoreni blockchainovi pružaju pravo pisanja svima. Svaki korisnik ili čvor može provjeravati transakcije te stvarati i dodavati nove blokove u podatkovnu strukturu blockchaina. Zatvoreni blockchainovi pružaju pravo pisanja samo ograničenoj skupini odabranih čvorova ili korisnika koji su identificirani kao pouzdani kroz proces uključivanja. Kao rezultat, samo skupini čvorova koji posjeduju pravo pisanja je dopušteno provjeravati transakcije i sudjelovati u procesu distribuiranog konsenzusa [39].

Također postoji i *federated* ili *consortium* blockchain (*R3 Corda, Airbus Industrie GIE, EEA*), koji služi kao zajednički cilj organizacija uključenih u njega. Obično se sastoji od više organizacija i sudionika. Srodne organizacije se mogu pridružiti u *consortium* blockchain pomoću zajedničkih dogovora. Predviđa se da bi ova vrsta blockchaina mogla biti vodeća, tj. najraširenija vrsta među budućim blockchainovima [51][13]. Slika 9. prikazuje spomenute vrste blockchaina.



Slika 9. Vrste blockchain sustava [140]

1.7. NEDOSTATCI I OGRANIČENJA BLOCKCHAIN TEHNOLOGIJE

Blockchain, kao svaka tehnologija i sustav sadrži razne nedostatke i ograničenja. Nedostatci i ograničenja blockchaina mogu se podijeliti na tehničke i netehničke. Glavna tehnička ograničenja i nedostatci blockchaina su:

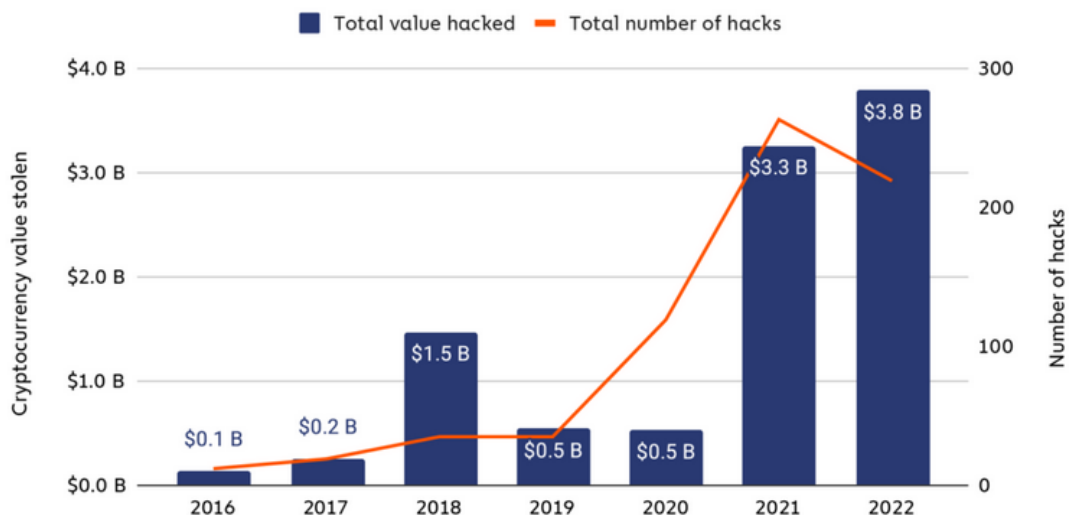
- Manjak privatnosti – radi transparentnosti samog sustava, blockchain pruža pseudo-anonimnost korisnicima, umjesto potpune anonimnosti. Ovo je više prisutno kod javnih blockchainova, dok privatni ipak nude veću privatnost.
- Ograničena skalabilnost – jedno od ograničenja tradicionalnih blockchain modela leži u tome da radi postizanja skalabilnosti se najčešće zahtijeva žrtvovanje decentralizacije, sigurnosti ili obje stavke do neke razine. Za primjer, skalabilna i decentralizirana mreža trebati će postići velik broj aktivnih sudionika da bi postigla visoku sigurnost.
- Skalabilna i sigurna mreža će generalno povećati troškove rada čvorova, nauštrb decentralizacije. Nadalje, decentralizirane i sigurne mreže drže zahtjeve čvorova niskima i troškove napada visokima, ali svejedno zadržavaju limitiranu skalabilnost.
- Sigurnosni model – sigurnost korisnika pri korištenju blockchaina ovisi o sigurnosti njegovog privatnog ključa. Kao što je ranije spomenuto u ovom radu, privatni ključ je ključna stavka za izvođenje transakcija. Ako korisniku procuri privatni ključ drugima, može mu se preuzeti identitet i dobra koja posjeduje u sustavu.
- Skrivena centralnost – manji blockchain sustavi su više ranjivi na 51-postotne napade jer je prisutna manja količina računalne snage te ako napadač ima dovoljno računalne snage za uspješno izvođenje napada, može potajno upravljati integritetom sustava. Napadači mogu biti razne pozadine, dizajneri protokola, programeri i sami *peerovi* sustava, tj. svi mogu biti dio manjih, skrivenih centralizacija. Na ovaj način mali broj korisnika sustava postaje autoritet cijelog sustava.

- Visoki troškovi – Ova tehnologija ima mogućnost smanjiti razne troškove poduzeća i institucija koja ih primjenjuju, ali svejedno nije jeftina tehnologija za primijeniti. Troškove netrivialnih operacija i implementacije blockchain sustava ne smije se podcijeniti. Samo *Bitcoin* ima potrošnju od otprilike 127 teravat-sati (engl. *terawatt-hours, TWh*) godišnje [105], što predstavlja veću potrošnju od brojnih država. Korištenja kriptovaluta u SAD-u emitira otprilike 25 do 50 milijuna tona CO_2 godišnje, što je jednako otprilike godišnjim emisijama dizela kojeg koriste željeznice u SAD-u [61].
- Nepromjenjivost (manjak fleksibilnosti) – nepromjenjivost predstavlja jednu od ključnih karakteristika blockchaine. Nakon unosa podataka ili izvršenja transakcija, nemoguće ih je izmijeniti, osim u slučaju uspješnog napada na sustav. Međutim, ako korisnik npr. pogrešnom korisniku pošalje važnu dokumentaciju ili neku količinu novca, on te dokumente i novac gubi, bez ikakve mogućnosti poništavanja procesa.

Tehnički nedostaci i ograničenja blockchaine se mogu razriješiti poboljšavanjem postojeće tehnologije ili dodavanjem konceptualnih promjena. Najvažniji netehnički nedostaci i ograničenja blockchaine su:

- Nedostatak korisničkog prihvaćanja – skoro 1 od 20 ljudi globalno koristi ovu tehnologiju, što je veoma nizak broj uspoređen s brojem ljudi koji su svjesni postojanja ove tehnologije i još popularnijeg tržišta kriptovalutama.
- Nedostatak pravnog prihvaćanja – od kada se blockchain popularizirao, njegova pravna pozadina se znatno poboljšala, ali svejedno je prisutan manjak globalne regulacije i standardizacije.
- Mnogo država radi na stvaranju regulacija i standarda. U travnju 2016. *Standards Australia* je predala zahtjev Međunarodnoj organizaciji za standardizaciju (engl. *International Organization for Standardization, ISO*) da razmotre razvoj standarda za podršku blockchain tehnologije.

- Rezultat ovog zahtjeva je stvaranje ISO tehničkog komiteta 307, koji se temelji na blockchainu i DLT-u. Osim ISO-a, preko 50 država sudjeluje u procesu standardizacije ove tehnologije, preko raznih organizacija poput Društva za svjetske međubankarske financijske telekomunikacije (engl. *Society for Worldwide Interbank Financial Telecommunication, SWIFT*), Europske komisije, Međunarodne federacije geodeta (engl. *International Federation of Surveyors*), Međunarodne telekomunikacijske unije (engl. *International Telecommunication Union, ITU*) i Ekonomske komisije Ujedinjenih naroda za Europu (engl. *United Nations Economic Commission for Europe, UNECE*), uz brojne ostale nacionalne organizacije za standardizaciju i srodne institucije [35][65].
- Regulacija i standardizacija kriptovaluta (i tokena), koja predstavlja najpopularniju primjenu blockchain tehnologije, je kompleksnija. Iako je popularnost kriptovaluta počela znatno rasti od 2009., vlade i regulatori još uvijek rade na načinima upravljanja uporabe ove tehnologije. Potrošači i poduzeća moraju biti zaštićena od prevara koje su nerijedak slučaj na tržištu kriptovaluta te je potrebna implementacija preventivnih mjera kako bi se spriječila nezakonita upotreba. Mnoge zemlje napreduju, ali je to spor i kontroverzan proces. Razvijenije zemlje svijeta su razvile osnovne standarde i regulacije te će se u 2024. godini regulacije daljnje nastaviti razvijati u Europskoj uniji [48][88]. Vrsta prevara u kriptovalutama je mnogo i sve češće se događaju [58]. Slika 10. prikazuje ukupnu količinu novaca ukradenu u *crypto*-hakerskim napadima te broj samih napada u rasponu od 2016.-2022. Situacija će se pogoršati ako razvoj regulacija i zaštite korisnika kriptovaluta ne prati razvoj blockchain tehnologije.



Slika 10. Ukupna vrijednost ukradena u *kripto-napadima* i broj napada, 2016.-2022. [24]

Netehnički nedostaci i ograničenja blockchaina se mogu nadići edukacijskim i pravnim inicijativama.

1.8. PRIMJENE BLOCKCHAIN TEHNOLOGIJE

Rastuća popularnost i broj primjena u raznim globalnim sektorima je dovela do priznanja određenih dugoročnih postignuća blockchaina, među kojima su disintermedijacija, automatizacija, standardizacija, pojednostavljenje procesa, povećanje brzine procesiranja, smanjenje troškova, povećanje povjerenja u protokole i tehnologiju, pretvaranje povjerenja u vrijedan alat te povećavanje svjesnosti o tehnologiji [39].

Također je uloženi financijski budžet sve veći. Veličina globalnog tržišta ove tehnologije je dostigla oko 10 milijardi USD do 2021. te se pretpostavlja da će tržište doseći 1.431,54 milijardi USD do 2030. [50]. Sve veća ulaganja stvaraju sve veći broj primjena. Već postoje brojni načini primjene ove tehnologije te uz globalno educiranje, regulaciju i standardizaciju, kao što je ranije spomenuto, povećat će se broj primjena. Generalni načini primjene ove tehnologije su:

- Plaćanje – upravljanje vlasništvom i prijenos digitalnih fiat valuta.
- Kriptovalute – upravljanje vlasništvom i stvaranje digitalnih alata za plaćanje koji ne ovise o ijednoj vladi, centralnoj banci ili nekoj centralnoj instituciji.

- Mikro-plaćanje – prijenos manje količine novca koji je količinski preskup pri korištenju tradicionalnih metoda prijenosa.
- Digitalna imovina – upravljanje stvaranjem, vlasništvom i prijenosom digitalnih dobara koja imaju vlastitu vrijednost ili predstavljaju vrijedno dobro u stvarnom svijetu.
- Digitalni identitet –način za dokazivanje identiteta i autentifikaciju baziranu na jedinstvenim digitalnim stavkama.
- Notarske usluge – digitalizacija, pohrana i provjera dokumenata, ugovora, dokaza o vlasništvu i prijenosa.
- Sukladnost i revizija – revizija poslovnih aktivnosti ljudi ili organizacija u reguliranim industrijama u revizijskom zapisu.
- Porez – obračun i naplata poreza na temelju transakcija ili vlasništva, smanjenje izbjegavanja plaćanja poreza ili dvostrukog oporezivanja.
- Glasanje – stvaranje, distribucija i brojanje digitalnih glasačkih listića.
- Upravljanje zapisima – stvaranje i pohrana dokumentacije, npr. zdravstvene [39].

Radi korijena u polju financija i popularnosti kriptovaluta, blockchain tehnologija se znatno primjenjuje u financijskom sektoru. To uključuje djelatnosti poput korporativnih financija, maloprodajnih financija, tržišta kapitala i burze, investicijskih i osiguravajućih djelatnosti te vladinih i regulatornih tijela [23].

Naravno, financijski sektor je samo jedan od mnogih. Nabrojana je primjena blockchaina u raznim organizacijama i institucijama svih ključnih globalnih sektora i industrija:

- Energetski sektor – *LO3 Energy, Korea Electric Power Corporation, Innogy.*
- Zdravstveni sektor - *Estonian e-Health, MediLedger Project, Center Point Clinical Services, MedVault, MedRec, BitHealth.*
- Tehnološki sektor: *Everledger, Deloitte, IBM, R3, OpenXcell, Intel, Red Hat.*
- Proizvodni sektor: *Skuchain, Genesis of Things, Hijro, Xage, Filament, Factor Iris, IBM-Watson IoT Platform.*
- Agrikulturni i prehrambeni sektor: *Etherisc, Walmart, Alibaba, Ripe, AgriDigital, AgriLedger, Ambrosus, UPS, Lokaal.*
- Državni sektor: Estonija, Danska, Australija, Singapur i Rusija.

- Obrazovni sektor: *RecordsKeeper, LearningMachine, Blockcerts, Open Source University, LiveEdu, Lipscomb University.*
- Automobilaska industrija: *Ford, Volkswagen, Hyundai, MOBI.*
- Avioindustrija: *Singapore Airlines, Norwegian Airways, Cathay Pacific, Webjet,* infrastruktura talijanskih aerodroma.
- Građevinska industrija: *HerenBouw, Briq.*
- Elektronička trgovina: *Amazon, Alibaba, AORA, Expedia, Overstock, Sweetbridge, Zeex.*
- Sektor zabave i turizma: *BitSong, PeerTracks, SingularDTV, Winding Tree.*
- Sektor mode i modnih dodataka: *Everledger, Levi Strauss & Co., TrustChain* [41].

Fokus ovog rada, lanci opskrbe, su ogroman sektor i baza svake industrije [62]. U sljedećem poglavlju je obrađena primjena blockchain tehnologije u pomorskim lancima opskrbe.

2. TEHNOLOGIJA BLOCKCHAIN U POMORSKIM LANCIMA OPSKRBE

2.1. LANCI OPSKRBE

Lanci opskrbe predstavljaju mrežu raznih organizacija, ljudi, aktivnosti i resursa koji u jednom smjeru prenose proizvod ili uslugu, od dobavljača do kupca, a u drugom smjeru prenose podatke od kupca do dobavljača. Cijeli "životni ciklus" jednog proizvoda, prije nego stigne do kupca, je unutar lanca opskrbe. Lanci opskrbe su bili relativno jednostavne građe prije globalizacije. Od tada je došlo do inovacija u svakom dijelu lanaca opskrbe, što je dovelo do komplikacija i težine pri praćenju proizvoda [83].

Postoje neetičke prakse i manjak transparentnosti unutar raznih lanaca opskrbe preko cijelog svijeta. Krivotvoreni proizvodi su uzrok gubitaka u tržišnim udjelima i smanjenja povjerenja među sudionicima lanaca opskrbe [27]. Povlačenja proizvoda narušavaju povjerenje potrošača i stvaraju ogromne nepotrebne troškove u lancima opskrbe. Potrošači su pokazali potrebu za provjerom i potvrdom kupljenog proizvoda, uz mogućnost praćenja proizvoda i pristupa podacima o utjecaju na okoliš, kroz cijeli opskrbni lanac. Potreba za transparentnim lancima opskrbe i društvenom odgovornošću je znatno porasla u današnje vrijeme. Također postoji potreba za *business to business* integracijom unutar lanaca opskrbe, koja se odnosi na podjelu elektronskih podataka preko interneta između poslovnih partnera i pružatelja usluga [69]. Kao rezultat, brojne tvrtke su razvile vlastite informatičke sustave, kako bi efikasno pratili i upravljali lancima opskrbe.

Međutim, čak i najvećim organizacijama nedostaje znanja i mogućnosti kako bi sami dizajnirali i implementirali *end-to-end* integraciju podataka, kroz cijelu mrežu opskrbe. Različiti sudionici unutar opskrbnih lanaca, s nepovezanim i često nekompatibilnim administrativnim procedurama, zastarjelim metodama rada s papirologijom te suprotstavljenim interesima, znatno povećavaju troškove i vrijeme rada za izvoznike i uvoznike [110]. Iz tog razloga su tvrtke surađivale, kako bi ubrzale integraciju u okviru koncepta digitalnog lanca opskrbe.

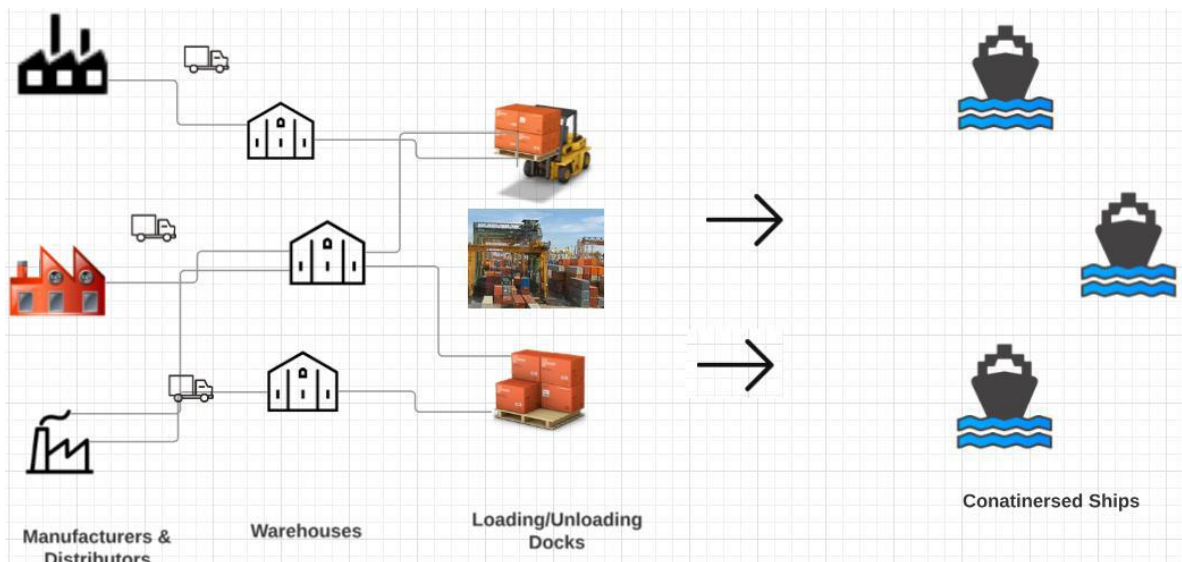
Među najdominantnijim modernim poslovnim strategijama od velike važnosti je potreba za potpunim, jedinstvenim, javno provjerljivim [85] i neosporivim poslovnim podacima i metapodacima, koji vode do pouzdanih upravljačkih odluka i zadovoljenja želja mušterija [94]. Iste potrebe su prisutne u pomorskoj industriji.

2.2. POMORSKI LANCI OPSKRBE

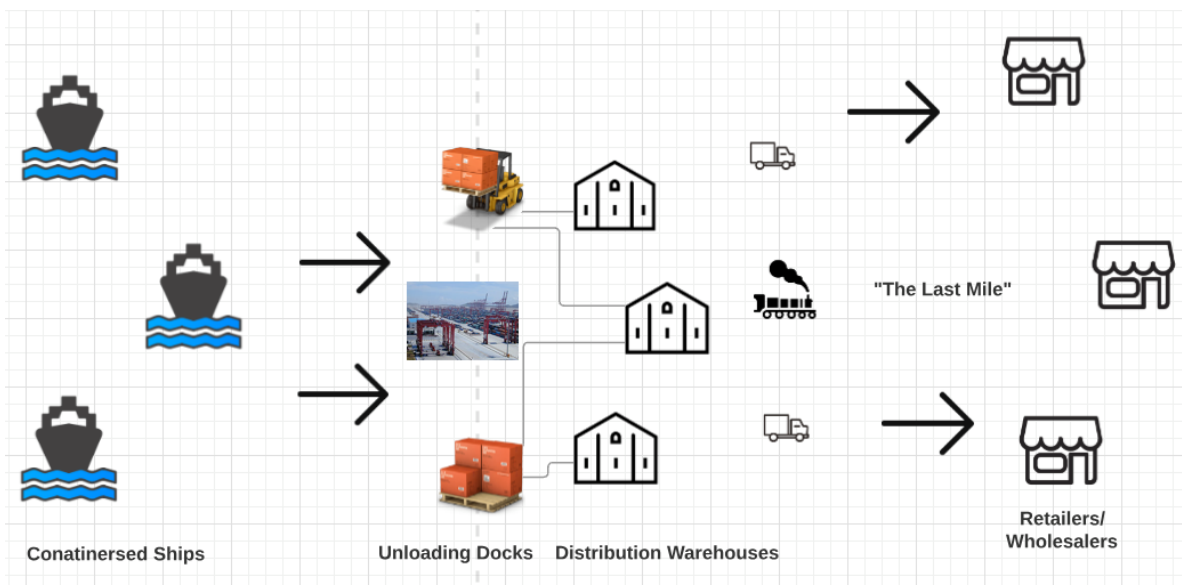
Pomorski lanac opskrbe se definira kao kretanje tereta i povezanih usluga podrške između dvije važne lokacije, korištenjem pomorskog i/ili kopnenog prijevoza. Pomorski prijevoz je ključan dio globalnog sektora prodaje i procijenjen je na 1.8 milijardi USD godišnje te se više od 90 posto globalne prodaje vrši preko pomorske industrije. Pomorski prijevoz je među najjeftinijim načinima prijevoza, s perspektive cijene po toni prenesenog tereta. U današnje vrijeme pomorska industrija je suočena s mnogo različitih izazova, uz to što se za zaštitu okoliša, proračun isplativosti te efikasno i sigurno prevoženje dobara preko svijeta zahtijevaju vrlo visoki standardi pri radu [108].

Jedan od većih izazova pomorskog prijevoza je ekstremno zagađivanje okoliša. Na primjer, jedan brod prosječno proizvede količinu ugljikovog dioksida (CO_2) i dušikovog oksida (NO_x) kao 70 tisuća automobila. Stvorena su različita pravila i mjere kako bi se zagađenje smanjilo i industrija bila prihvatljivija za okoliš, ali svejedno je zagađenje ogromnih razmjera [33].

Nadalje, problem industrije leži u fragmentiranoj strukturi. Opskrbni lanac kontejnerskog prijevoza je veoma fragmentiran. Osim pomorskog prijevoza, spomenuti opskrbni lanac sadrži brojne igrače u svakom koraku procesa prijevoza i opskrbe. Lanac opskrbe sadrži i kopneni prijevoz, tj. prijevoz cestom i željeznicom te zračni prijevoz, gdje se nalaze brojni špediteri. Osim špeditera, postoje vlasnici i operateri skladišta i dokova te lučke vlasti i često se svi spomenuti razlikuju po politikama i političkim nadležnostima [110]. Slika 11. i Slika 12. prikazuju sve segmente logistike u lancu opskrbe kontejnerskih brodova.



Slika 11. Izlazni segment logistike kontejnerskih brodova [110]



Slika 12. Ulazni segment logistike kontejnerskih brodova [110]

Također, budući da su lanci opskrbe međunarodni i često uključuju brojne dionike s kompleksnim odnosima, mnogo izazova se stvara radi manjka vjerodostojnih podataka [63]. Međutim, radi svojih značajki, blockchain tehnologija može pružiti rješenja za spomenute izazove. Ova tehnologija privukla je pozornost pomorske industrije i postepeno je primjenjivana u globalnom pomorskom lancu opskrbe te stvara mogućnost za znatan razvoj industrije uz rješavanje mnogo problema [78].

Ova tehnologija može na razne načine pridonijeti pomorskom lancu opskrbe. Na primjer, može se iskoristiti za prikupljanje podataka i poboljšavanje prijevoznih operacija pomoću ubrzavanja ključnih procesa, što dovodi do toga da su podaci preneseni svim zainteresiranima, konzistentno, pravilno i uz eliminaciju potrebe za ispunjavanjem raznih papirnatih obrazaca i dnevnika. Također, rad postaje sigurniji i znatno ekološki prihvatljiviji [135].

Primjene sustava pomorskog lanca opskrbe baziranog na blockchainu (engl. *Blockchain based Maritime Supply Chain System, BMSCS*) su razne i najčešće počinju s nalaženjem izvora samih dobara te kasnije stvaranja sigurne i integrirane servisne platforme za pomorske kompanije, luke i carine. Svaki dio transakcijskih podataka se može pratiti do izvora pomoću lančane strukture blockchaina. Ključni podatci poput teretnog lista, tj. teretnice (engl. *Bill of Lading, BoL*), brodskog manifesta, računa i ostalih dokumenata su osigurani pomoću šifriranja.

Nadalje, mehanizam povjerenja svojstven blockchainu će utjecati na stvaranje novog poretka ekoloških saveza u području pomorskih lanaca opskrbe, uz konsenzus o pravilima, sigurnosti, zajedničkom upravljanju i dijeljenju stečene vrijednosti [78]. Također, optimizacijom poslovnih procesa pomorskih lanaca opskrbe integriraju se i koordiniraju ključni poslovni procesi u prijevozu tereta, poslovanju agencija i ostalim stavkama pomorskih logističkih usluga, uz pomoć modernog upravljanja, blockchain tehnologija i IT-a. Pomoću spomenutih procesa moguće je spojiti luke, pomorske tvrtke i logističke tvrtke trećih strana u usko povezanu mrežu lančane strukture, sa specifičnim funkcijama za poboljšanje poslovnih procesa.

Ukratko, za primjenu ove tehnologije se očekuje da će rekonstruirati sve aspekte pomorskih kompanija i realizirati organsku integraciju pomorstva i IT-a, prave i digitalne ekonomije te tradicionalnih usluga i visoke tehnologije. Spomenuta integracija bi popravila stabilnost BMSCS-a i promovirala razvoj pomorske industrije. Međutim, postoje razni problemi. Implementacija pomorske digitalizacije uključuje koordinaciju sustava državnog nadzora, a posebno carinjenja i upravljanja, koji također zahtijevaju podršku državnog sustava. U vidu optimizacije procesa, pomorska industrija mora optimizirati svoje poslovne procese, nadograditi temeljnu tehnologiju i poboljšati sposobnost stvaranja dodane vrijednosti u kontekstu blockchain tehnologije.

Izazovi pomorske industrije su brojni te prije detaljne obrade također brojnih prednosti i primjena ove tehnologije u pomorskim lancima opskrbe, potrebno je detaljno obraditi kompleksne i ozbiljne izazove same industrije.

2.3. IZAZOVI POMORSKIH LANACA OPSKRBE

Moderni lanci opskrbe suočavaju se s raznim izazovima. Na njih utječu različiti globalni trendovi koji također utječu na globalnu prodaju i ekonomiju. Stalno promjenjivi ekonomski uvjeti ili trendovi na koje utječe razvoj e-trgovina, društveno-političkih problema ili prirodnih katastrofa (npr. sve viša stopa klimatskih promjena i katastrofa [32][133], prenapučenost, nepredvidljive pandemije poput *COVID-19*) te promjene u navikama potrošača su neke od općih vanjskih faktora ovih izazova [90]. Neki od unutarnjih faktora ovih izazova su dostupnost kapaciteta i resursa, upravljanje osobljem, nedostatak stručnosti, složenost koja proizlazi iz proliferacije proizvoda koji se proizvode ili upravljaju te nedostatak u kontinuitetu poslovanja i dijeljenju podataka pri razvoju proizvoda, što dovodi do lošije i skuplje proizvodnje i marketinških procesa [103].

Ovi izazovi su prisutni i u pomorskoj industriji i njihovi uzroci su različiti. Među uzrocima je i standardizirana raširena uporaba papirnate, tj. fizičke dokumentacije. Iako je fizička dokumentacija i dalje najsigurniji način za sprječavanje prevarnih aktivnosti, svejedno postoje mnogi problemi vrijedni pažnje. Dugotrajno praćenje dobara samo kroz određeni autoritet rezultira u maloj razini transparentnosti i dodatnim transakcijskim troškovima među sudionicima. Prema *A.P. Moller – Maersku (Maersk)*, samo jedan kontejner u prijevozu može zahtijevati pečate i dozvole od 30 osoba, uključujući carinu, porezne službenike i zdravstvene autoritete, kako bi se otpremio od polazne luke do odredišne [97]. Postoji 10 vrsta dokumenata koje stvaraju prijevozne službe, poput teretnog lista, trgovačkih faktura i potvrda o osiguranju.

Nadalje, vremenski odmak papirologije dovodi do velikog rasipanja resursa i manjka povjerenja između uključenih strana, što dovodi do troškova koordinacije u međunarodnoj trgovini, ometa globalnu prodaju te pridodaje ukupnim troškovima i odgodama za uvoznike, izvoznike i pomorske tvrtke. Također, troškovi papirologije se procjenjuju da su između 15% i 50% ukupnih troškova prevoženja kontejnera preko svijeta [97].

Radi velikih troškova i niskih profitnih marži nekoliko manjih kontejnerskih pomorskih kompanija su napustili posao, konsolidirali se ili su ih kupile veće kompanije tijekom prošlog desetljeća. Iako su ukrcaj i iskrcaj među primarnim aktivnostima u lukama, nepotrebno čekanje tereta, radi neefikasne i zastarjele razmjene dokumenata, uzrokuje ekološke probleme poput povećanih CO_2 emisija. Papirnati dokumenti izmijenjeni između dionika morske luke usporavaju poslovne procese (npr. radi ljudskih grešaka) i stvaraju veće troškove, utječući na ekonomske i društvene aspekte održivosti.

Lučke operacije su zahtjevne iz razloga što imaju ekstremno kompleksna vremenska i prostorna ograničenja, radi potrebe za upravljanjem širokim rasponom i ogromnom količinom tereta svaki dan, svaki sa svojim specifičnim zahtjevima za rukovanje, skladištenje i rokove. Luke su uzrok zastoja pri svakodnevnim pomorskim operacijama radi drastično rastuće količine tereta. Procjenjuje se da će broj kontejnera koji prolazi kroz luku u Hamburgu porasti s 9 milijuna u 2013. godini, na 25 milijuna u 2025. godini [72]. Bolja optimizacija lučkih operacija je hitan problem koji zahtijeva hitno rješenje, dok se pomorske i ostale logističke tvrtke natječu za lučki prostor i resurse. Međutim, podatci lučkih operacija su razbacani i nisu efikasno podijeljeni među sudionicima. Iz tog razloga je veoma zahtjevna optimizacija uporabe dostupnih logističkih resursa, kako bi se mogla poboljšati efikasnost lučkih operacija [75].

Veoma zabrinjavajući problem je zagađenje. Kao što je ranije spomenuto, pomorska industrija je jedna od najzagađujućih globalno [33]. Onečišćenje koje najviše utječe na okoliš ima dva glavna izvora: zagađenje zraka uzrokovano dizel motorima te nezakonito ili nepravilno odbacivanje otpada s brodova u more. Pomorske štetne emisije čine otprilike 3% globalne emisije ugljičnog dioksida (otprilike isto kao i zrakoplovna industrija). Brodovi ispuštaju milijune tona stakleničkih plinova, poput sumpornog dioksida, ugljičnog dioksida i metana. Kako bi se povećala održivost okoliša i industrije te poboljšali ekološki uvjeti, prema propisima za prekoceanske brodove, od siječnja 2020. se zahtijeva korištenje goriva više kvalitete s nižim sumpornim emisijama. Cilj ovih propisa je smanjiti sumporne emisije za preko 80%. Međutim, gorivo više kvalitete ima višu cijenu te se procjenjuje da će takvo gorivo stvoriti troškove od 50 milijardi USD, od 2020. do 2024 [84].

Nadalje, pomorski lanci opskrbe se suočavaju s brojnim izazovima pri koordinaciji sudionika i (fizičkih, informacijskih i financijskih) tokova. Na primjer, podatci su često nekonzistentni između izlaznog i ulaznog segmenta lanaca opskrbe, iz razloga što lučke službe moraju predvidjeti upravljanje brodovima na temelju nepotpunih podataka. Također, postoji manjak interoperabilnih informacijskih sustava. Ovi faktori povećavaju cijene logistike i uzrokuju da lanci opskrbe postaju fragmentirani i netransparentni. Također, faktor koji dodaje niskoj razini transparentnosti industrije je ogroman broj sudionika. Kada se ovi faktori spoje, stvaraju se uvjeti koji dovode do "silosa podataka", tj. podataka izoliranih od ostatka neke organizacije, te u vrlo konkurentnom i dinamičkom poslovnom okruženju mogu negativno utjecati na performanse opskrbnih lanaca [74].

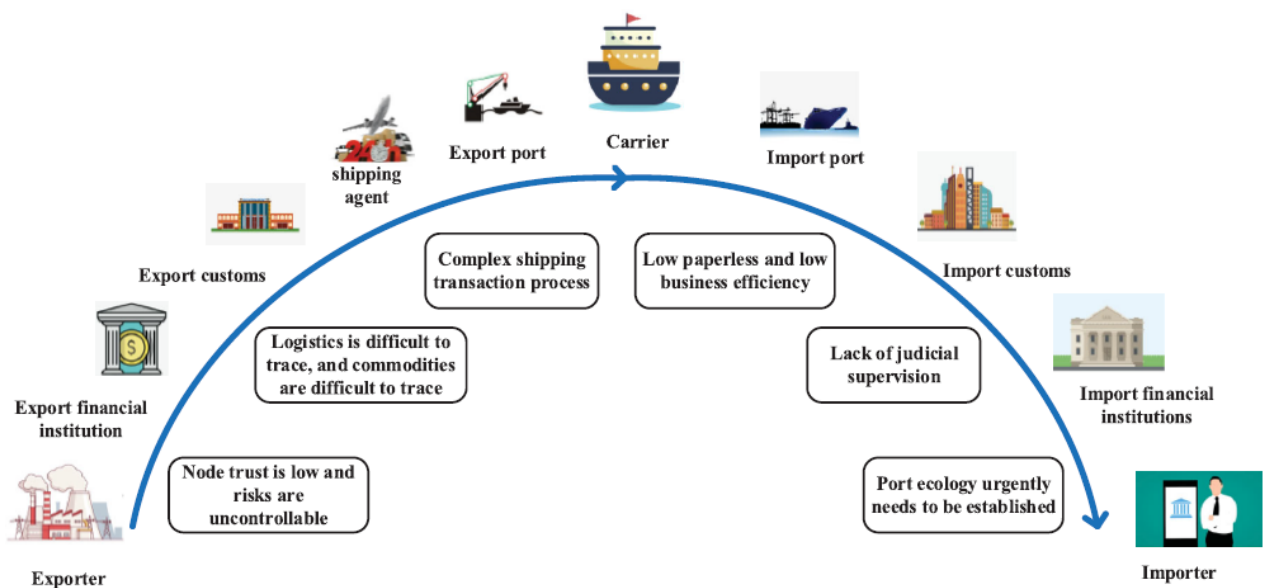
Nadalje, jedan od većih izazova današnjih pomorskih lanaca opskrbe je postizanje efikasne i efektivne integracije narodnih i međunarodnih "ekosustava" i sudionika. Kako interakcije među sudionicima pomorskih lanaca opskrbe postaju kompleksnije i dinamičnije, efikasnost samog lanca pati od manjka transparentnosti i fleksibilnosti u operacijama lanca opskrbe. Posljedica ovoga je produženo vrijeme prijevoza, lošija razina usluge, neučinkovito korištenje resursa i viši troškovi [75].

Nadalje, da bi se izgradio tradicionalni integrirani informacijski sustav, uprave svih uključenih moraju znatno uložiti da bi se sustav mogao razvijati i održavati. Ovaj proces je kompleksan radi opće netransparentnosti informacija, glomaznih poslovnih procesa te činjenice da jednosmjerni način prijenosa podataka, pri prijenosu podataka od točke do točke, može lako uzrokovati "silose podataka" i transakcijske sporove. Za pomorski lanac opskrbe pitanje izgradnje digitalnog lanca opskrbe i kooperacije s globalnom pomorskom mrežom poduzeća i raznih saveza je postalo glavni izazov.

Problem također leži u odgađanju usvajanja digitalnih inovacija. Pomorska industrija je tehnički sektor na koji direktno utječe *Industrija 4.0*, ali svejedno se odgađa usvajanje digitalnih inovacija. Uzrok ovoga leži u manjku educiranja o tehnologiji, otpornosti na promjene, strahu od nepoznatih, novih tehnologija te kibernetičkim napadima koji dolaze s njima [138].

Iako je korištenje *big data*, Internet stvari i drugih naprednih i inovativnih tehnologija dovelo do značajnog napretka pri nalaženju inovativnih rješenja za pomorsku digitalizaciju, industrija se svejedno oslanja na velik broj ljudskih resursa za upravljanje i organizaciju poslovnih procesa te provjeru poslovnih odgovornosti. Istovremeno, podjela podataka, koordinacija, komunikacija, donošenje odluka i upravljanje vremenom povećava radno opterećenje svih uključenih, što dovodi do ljudskih grešaka i opće zbunjenosti. Krajnja posljedica ovoga je znatno smanjenje radne efikasnosti.

Može se reći da su izazovi i mane pomorskih lanaca opskrbe većinom posljedica nepovjerenja među čvorovima lanca opskrbe, komplikacija pri praćenju proizvoda, manjka optimizacije procesa i velike količine papirologije. Suočavajući se s ovim izazovima, globalne pomorske tvrtke teže pronalasku što efikasnijih tehničkih procedura. Slika 13. prikazuje neke od nedostataka pomorskih lanaca opskrbe.



Slika 13. Nedostaci pomorskih lanaca opskrbe [78]

2.4. KORIŠTENJE BLOCKCHAIN TEHNOLOGIJE U POMORSKIM LANCIMA OPSKBE

Blockchain ima potencijal za transformaciju aktivnosti lanaca opskrbe te utjecaj na ključne ciljeve upravljanja lancima opskrbe, poput troškova, brzine rada, pouzdanosti, smanjenja rizika, održivosti i fleksibilnosti [71]. Postojeća i dostupna literatura o korištenju blockchaine u pomorskim lancima opskrbe je većinom podijeljena na četiri dijela: digitalno upravljanje, praćenje dobara, optimizaciju procesa i pametne ugovore [78].

Najznačajniji utjecaj ove tehnologije na pomorske lance opskrbe leži u svojstvu praćenja podataka, tj. sljedivosti. U [68] je korištena blockchain tehnologija za rješavanje problema sljedivosti u pomorskim lancima opskrbe. U [8] je prikazana efektivnost ove tehnologije pri praćenju izvora proizvoda, kroz provođenje eksperimentalnog istraživanja u industriji. U isto vrijeme, istraživanje u [71] je prezentiralo rane dokaze koji povezuju korištenje blockchaine u aktivnostima lanaca opskrbe s povećanom transparentnošću i odgovornošću. U [60] je istraženo kako se ova tehnologija može iskoristiti za poboljšanje očuvanja mora i upravljanje lancima opskrbe na globalnoj razini.

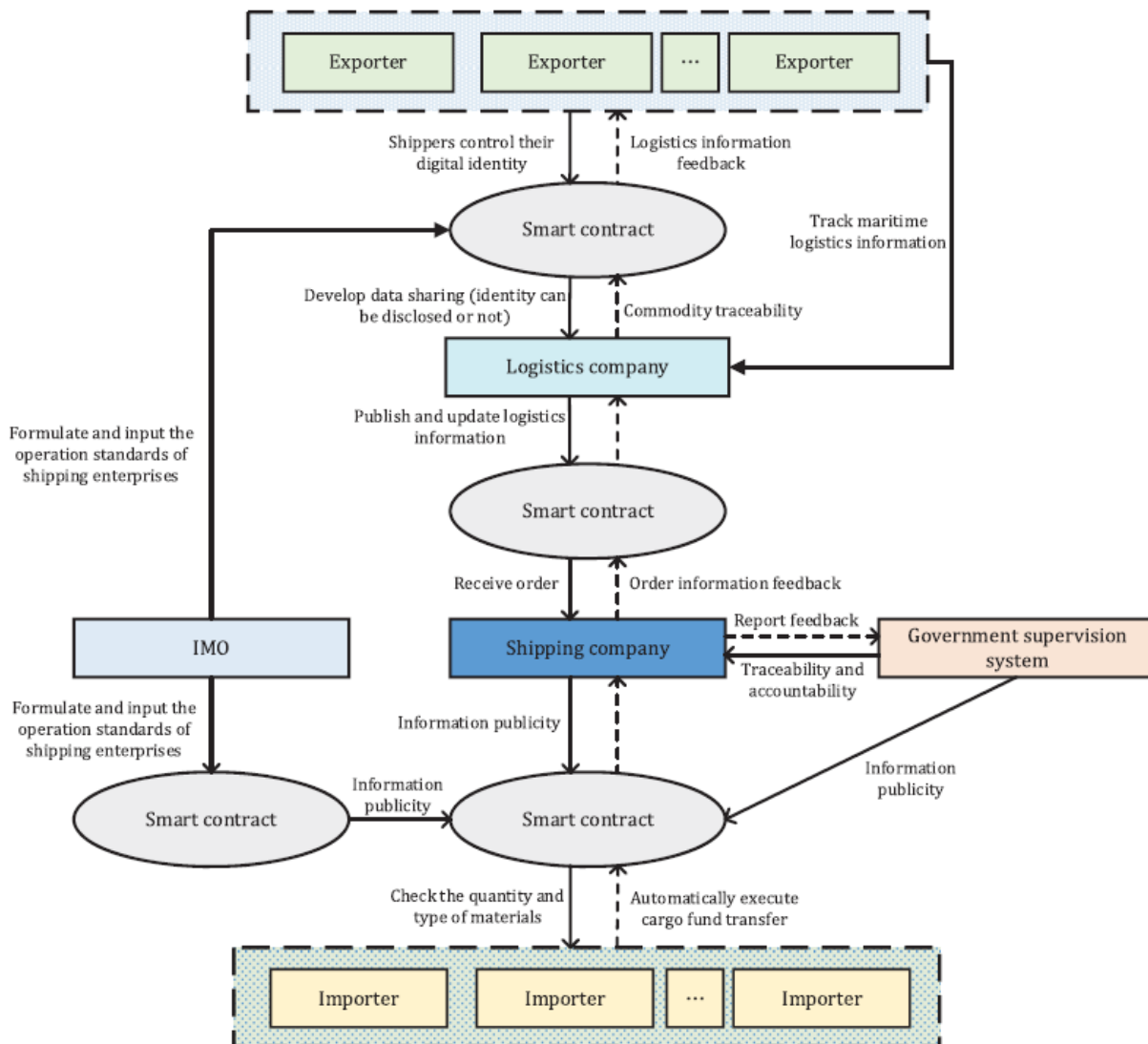
Ova tehnologija se može iskoristiti za sprječavanje nezakonitih radnji i krivotvorenja dokumenata te se također se može iskoristiti za pravilno praćenje, snimanje i mjerenje podataka, a kako bi se poboljšala ekološka održivost. Također, blockchain podržava očuvanje mora pomoću smanjenja raznih troškova u industriji, kako bi se balansirali skupi troškovi spomenutog visokokvalitetnog goriva.

Nadalje, mnoge pošiljke nakupljaju visoke naknade radi prekovremenog boravka u skladištu, zbog nedostatka sljedivosti i vidljivosti pošiljki. S blockchainom, sudionici lanaca opskrbe mogu pratiti i provjeravati kretanje tereta. Također, manje praznih pošiljki se može postići koristeći blockchain za bolje upravljanje teretom. Skupo je i ekološki nepogodno prevoziti prazne kontejnere preko svijeta [84]. Blockchain također ima potencijalnu primjenu kao pomoć pri kontroliranju ispuštanja otpada s komercijalnih brodova. U [125] je prikazano da blockchain može pomoći pri zaštiti okoliša slanjem nepromijenjenih podataka o ispuštanju otpada svim zainteresiranim stranama, u stvarnom vremenu. Podatci se mogu iskoristiti za dobivanje podataka o najboljih lokacijama za ispuštanje otpada.

Blockchain tehnologija također ima potencijal za sprječavanje ikakvog kršenja propisa i falsificiranja dokumenata, kako bi se mogla osigurati ekološka održivost [75]. Moguće je i učiniti praćenje proizvoda i transakcija u pomorskim lancima opskrbe znatno bržim i jednostavnijim te se administrativni i logistički rokovi unutar industrije mogu smanjiti za preko 85% [34]. Također, je moguća primjena s IoT tehnologijom, u svrhu stvaranja pametnih kontejnera i pametnih ugovora s kojima se može upravljati pošiljkama, automatizirati plaćanja, pratiti prekršaje te povećati efikasnost cijelog lanca opskrbe [29].

Nadalje, pametni ugovori su od velikog značaja za pomorske lance opskrbe. Oni su mali računalni programi koji služe za izvršavanje ugovora, zamjenu potrebe za tipičnim papirnatim ugovorima te pružanje veće sigurnosti i nižih troškova transakcija. Također pružaju funkciju digitalnog i automatskog čitanja i izvršavanja ugovora, što stvara val suradnje u cijelom "ekosustavu" pomorske industrije [78]. Bez uključivanja posrednika, pametni ugovori imaju potencijal za smanjiti procese obrade i pripreme koji su prisutni u papirnatim ugovorima te mogu pomoći pri praćenju izvora proizvoda, pohrane podataka i upravljanja s IoT uređajima na blockchain sustavu [3]. Nadalje, smanjenje u broju posrednika je pogodno pogotovo za manje i poduzetničke dionike jer ojačava njihovu kompetitivnost i efikasnost, zbog manjih transakcijskih troškova i prepreka pri ulazu u sustav [94].

U [104] je izvršeno kritično istraživanje na ovoj tehnologiji i pametnim ugovorima te su razrađeni potencijalni načini primjene u procesu upravljanja pomorskim lancima opskrbe. U [55] je predložen pametni ugovor temeljen na blockchainu, uz univerzalni softverski okvir za blockchain platformu koja omogućava efikasno i efektivno izvršavanje transakcija s više sudionika. Slika 14. prikazuje ulogu pametnih ugovora u procesu upravljanja sustavima pomorskih lanaca opskrbe baziranih na blockchainu, tj. *BMSCS*. Trenutačno, najviše prihvaćena platforma za izvršavanje pametnih ugovora je *Ethereum*, iako i *Solana*, *Binance Smart Chain*, *Cardano*, *Tezos*, *Polkadot*, *Avalanche* i *EOSIO* nude slične mogućnosti [3].



Slika 14. Pametni ugovori u sveukupnom procesu upravljanja B2B-a [78]

Nadalje, korištenje blockchain tehnologije će izravno skratiti ciklus isporuke namire te spojiti ili otkazati nepotrebne korake uključene u proces namire [67]. Također će poboljšati efikasnost poslovanja smanjenjem vremena transakcija [136]. Istovremeno, optimizacija poslovnih procesa će dovesti do šireg sudjelovanja dionika, manjih transakcijskih troškova i kraćih ciklusa isporuke kako bi se poboljšala efikasnost [126]. Razna istraživanja su prikazala efikasnost i efektivnost blockchaina u smanjivanju vremena transakcija u pomorskoj industriji. U jednom od eksperimenata koje su proveli *Maersk* i *IBM* pokazalo se da blockchain može smanjiti vrijeme prijevoza pošiljke materijala do proizvodne linije u SAD-u za 40% te izbjeći troškove u tisućama USD [99].

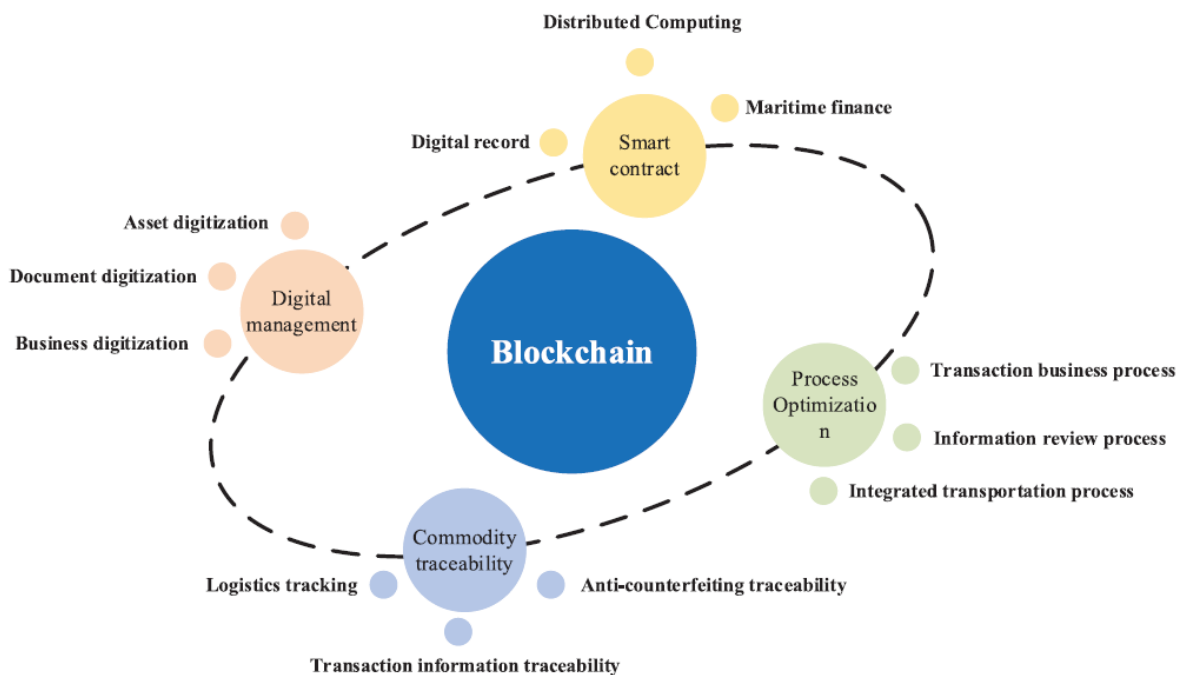
Također, blockchain nudi bolju vidljivost i efikasnije načine komuniciranja, što može smanjiti broj koraka potrebnih za rješavanje osnovnih operacijskih pitanja poput "gdje je moj kontejner" i to s 10 koraka i 5 ljudi na 1 korak i 1 osobu [99]. Ova tehnologija može pomoći i u smanjenju kašnjenja pri carinjenju u luci, budući da su potrebni carinski dokumenti dostupni digitalno na zajedničkoj glavnoj knjizi. Carinski službenik može lako pristupiti dokumentima do tri tjedna prije dolaska broda, za razliku od trenutanih dva, tri dana [127] [75].

Nadalje, rašireno korištenje papirnatih dokumenata u industriji ima za posljedice nedostatak odgovornosti među uključenima i vodi do krađe, mita i gubitka tereta, za što se procjenjuje da stvara trošak za industriju u vrijednosti višoj od 50 milijardi USD godišnje. Blockchain tehnologija, kao što je ranije spomenuto, se koristi za digitalizaciju pomorskih dokumenata. Otprilike 80% pomorske dokumentacije je još u papirnatom obliku [113]. Pomorske tvrtke koriste ovu tehnologiju u svrhu učitavanja i podjele dokumenata trenutačno i sigurno. Na ovaj način, svaki sudionik ima mogućnost praćenja pošiljke i upravljanja s njezinom dokumentacijom, od početka do kraja, što povećava efikasnost i transparentnost te istovremeno smanjuje troškove i rizike od kašnjenja, gubljenja ili neovlaštene promjene dokumenata [71].

Digitalizacija papirologije je moguća u različitim dijelovima pomorske industrije, npr. za brodski registar, klasifikacijske jednadžbe teretnice, izdavanje svjedodžbi pomorcima i brodarske ugovore. Poboljšavanje podjele podataka pomoću digitalizacije se može primijeniti na cjelokupni pomorski lanac opskrbe, jer pomorski prijevoz i ostale ključne pomorske usluge se oslanjaju na međusobno dijeljene podatke, kako bi se mogla uspostaviti koordinacija unutar lanca opskrbe.

Enkripcijski proces blockchaine povezuje sve sudionike, poput operatera luka i terminala, vlasnike tereta, carinske službenike, špeditere, brokere i pomorske tvrtke, u besprijekoran digitalni proces [96]. Na ovaj se način eliminira potreba za beskonačnim provjerama papirnatih dokumenata i smanjuju se visoki troškovi povezani s papirnatim i ručnim sustavima [75]. Digitalizirani podatci se kreću od komercijalnih podataka, poput kretanja tereta, do tehničkih podataka, kao što su podatci o brodskom motoru. Nadalje, postoji potencijal za postizanje određene razine automatizacije u pomorskim lancima opskrbe.

Na primjer, kroz korištenje pametnih ugovora, prijenos plaćanja vozarine i premije osiguranja se može automatizirati između dvije uključene strane. Dok su neke od spomenutih područja primjene digitalizacije, poput elektronskih teretnih listova (engl. *electronic Bill of Lading, eBL*) i procesa digitalizacije brodskog registra testirane u industriji, ostale primjene se još moraju istražiti u budućim istraživanjima [101]. Slika 15. prikazuje neke od primjera primjene blockchain tehnologija u BMSCS-u.



Slika 15. Primjene blockchain tehnologije u BMSCS-u [78]

Spomenuta teretnica predstavlja ugovor o prijevozu i ispravu o vlasništvu te, prema pomorskom zakonu, primatelj mora predložiti originalnu verziju dokumenta kako bi se omogućila isporuka tereta. Ovaj dokument često kasni radi banaka i drugih problema koji dovode do toga da teret često stigne u luku prije originalne teretnice ili se dogode različitih prevare oko teretnice. Prevare uključuju to da je teretnica stvorena i potpisana prije nego se teret uopće ukrca na brod ili da se teretnica izmjenjuje nakon primitka tereta, pomoću krivotvorenih potpisa, bankovnih garancija i krivih opisa tereta [123].

Primjena blockchain tehnologije s teretnicama je jedna od prvih istraženih primjena ove tehnologije unutar pomorske industrije i najvjerojatnije jedna od najnaprednijih, uz primjenu s kontejnerskim prijevozom, koja već ima osnovu i modele za usvajanje ove tehnologije [33].

Teretnica izdana s ovom tehnologijom, *CargoX Smart Bill of Lading*TM, je prva prikazala prednosti blockchaina u smanjivanju papirologije i povezanih troškova. Projekt *CargoX* je obrađen u sljedećem poglavlju [75].

Također, brodari koji su članovi *Digital Container Shipping Association (DCSA)* su se obvezali na potpuno standardiziranu, elektroničku teretnicu do 2030. Ti brodari, koji su zapravo devet najvećih prekoceanskih brodara (*Maersk, MSC, CMA CGM, Evergreen, itd.*), su se obvezali da će pretvoriti 50% tradicionalnih papirnatih teretnica u digitalne u roku od 5 godina i 100 % do 2030., kako bi se ubrzao proces digitalizacije kontejnerske industrije i poboljšala zaštita okoliša [37]. Po [20], univerzalno prihvaćanje eBL-a bi moglo realizirati sljedeće:

- Uštedu 6,5 milijardi USD u pomorskoj industriji u troškovima izrade dokumentacije.
- Stvaranje preko 7 milijardi USD profita smanjivanjem zaliha i troškova financiranja te omogućavanjem novih poslovnih modela.
- Stvaranje 30-40 milijardi USD u globalnoj prodaji smanjivanjem "trenja" pri prodaji, pogotovo za rastuća tržišta.
- Stvaranje preko 15,5 milijardi USD izravne koristi za pomorski ekosustav.
- Očuvanje 27 tisuća stabala godišnje te znatno smanjivanje ugljičnih emisija, pomoću eliminacije korištenja papira.

Uz sve spomenute prednosti, globalna primjena eBL-a je u 2024. dosegla tek 3.7% [109].

Nadalje, snimljeni i standardizirani podatci su ključni za mnogo blockchain primjena u lancima opskrbe. *Oracle* korporacija navodi: *So IoT feels. And AI and machine learning think. Blockchain, meanwhile, can be said to remember* [92]. Stoga, pamćenje standardiziranih podataka pri zahtjevnim operacijama u ključnim industrijama, poput pomorske industrije, je budućnost lanaca opskrbe i nudi nužnu otpornost za učinkovito usvajanje novih tehnologija, suočavanje s fluktuirajućim trendovima globalnih tržišta i pomoć brodarskim tvrtkama u njihovim strategijama digitalne transformacije [94]. Standardizirani podatci se mogu snimiti i pohraniti pomoću raznih inovativnih tehnologija (IoT, senzori, bespilotne letjelice, RFID, itd.).

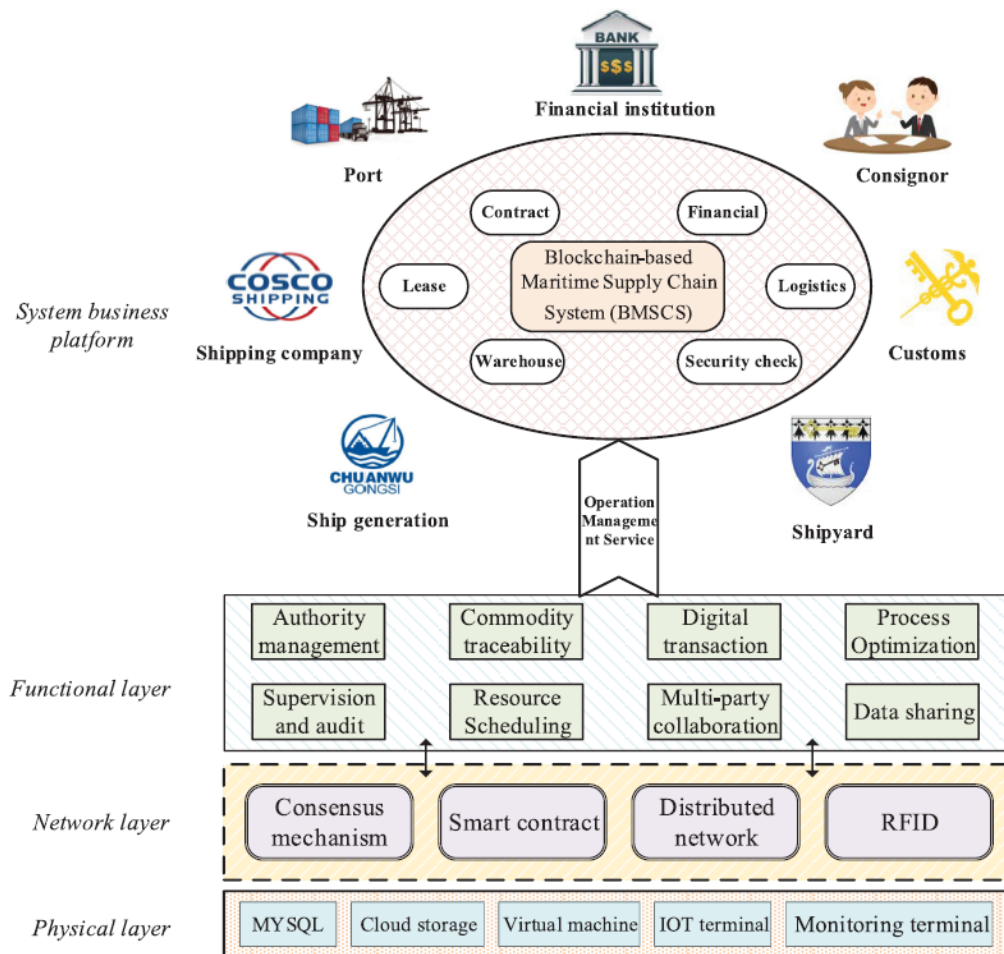
Snimanje se može obavljati na odabranim kritičnim kontrolnim točkama (npr. vezovi, sidrišta, skladišta, terminali za utovar/istovar, unutar "pametno" povezane luke), a podatci se mogu pojedinačno označiti pomoću provjerenih vremenskih oznaka. Zatim, mogu se pohraniti kao blokovi u blockchain sustavu koji su nepromjenjive strukture i povezuju se s prijašnjim blokovima u mreži, kao što je opisano u prošlom poglavlju te se na taj način ostvaruje koncept sljediivog sustava baziranog na blockchainu, koji može znatno pridonijeti pomorskim lancima opskrbe. Standardizirani skupovi podataka u pomorskim blockchain mrežama omogućavaju autenticirane dokaze operativnih radnji, koji su od znatne zajedničke vrijednosti za pomorske dionike [94].

Nadalje, blockchain omogućava pomorskim tvrtkama diferenciranje usluga i smanjenje troškova u isto vrijeme, što je najpoželjniji hibridni poslovni model za takve tvrtke [73]. Radi brojnih prednosti blockchaina u pomorskoj industriji, stalno je rastući broj tvrtki koje koriste ovu tehnologiju ili ju počinju implementirati.

Također su stvoreni savezi pomorskih tvrtki i raznih drugih organizacija, poput *Global Shipping Business Network (GSBN)*, kako bi se daljnje otkrio i razvio potencijal ove tehnologije u industriji. Na primjer, *GSBN* obuhvaća 24 luke i preko 20 tisuća organizacija te su u 2023. korištenjem preko 120 tisuća elektronskih teretnica uštedjeli do 3348 metričkih tona ekvivalenta CO_2 (engl. *carbon dioxide equivalent, CO_{2e}*). Također su korištenjem potpuno digitalnog (bez papirologije) rješenja *Cargo Release* za dijeljenje dokumenata za iskrcaj tereta, poslali preko milijun pošiljki i uštedili do 16 900 metričkih tona CO_2e [111]. Također, korištenjem ove tehnologije su razvili proizvod s *COSCO* grupom koji podržava proces dekarbonizacije, koji je ključan za daljnji razvoj i opstanak industrije [49].

Unutar ovakvih tvrtki je ključno da su svi, od najvišeg menadžmenta do dnevnih operatera, pozitivno uključeni u implementaciju interoperabilnih i inovativnih pomorskih operacija putem standarda i blockchain tehnologije. Interoperabilnost je sve više popularna te se istražuje kako bi se mogla što više primijeniti u budućim blockchain aplikacijama. Interoperabilnost u ovom kontekstu podrazumijeva sposobnost dijeljenja podataka i djelovanja preko različitih blockchain platformi [94].

Sve u svemu, korištenje blockchain sustava u pomorskom lancima opskrbe, tj. BMSCS je bazirano na jedinstveno distribuiranoj podatkovnoj strukturi blockchaine. Koriste se vlasnici tereta, luke, pomorske tvrtke, carina, regulatorna tijela, financijske institucije i špediteri kao čvorovi blockchain sustava, kako bi se mogla izgraditi pomorska mreža za prijenos podataka, od točke do točke. Cilj je stvoriti kooperativnu, pametnu, digitalnu, ekološki integriranu mrežu u BMSCS-u, a za realizaciju prilagođenog, vizualiziranog, sigurnog, pouzdanog, kompetentnog i učinkovitog upravljanja pomorskim lancima opskrbe. Slika 16. prikazuje strukturu BMSCS-a.



Slika 16. Struktura BMSCS-a [78]

2.5. PRIMJERI PRIMJENE BLOCKCHAIN TEHNOLOGIJE U POMORSKIM LANCIMA OPSKRBE

Od 2015., pomorska industrija testira primjenu blockchaina u lancima opskrbe [57]. *Maersk* i *IBM* su zajedno razvili blockchain platformu 2016., kako bi se digitalizirala globalna trgovina i nazvali su ju *TradeLens*. Zajednička blockchain inicijativa može znatno smanjiti troškove i kompleksnost prodaje. *CMA CGM* i *MSC* su prepoznali važnost blockchaina i pridružili su se *TradeLensu*. Po [81], *TradeLens* omogućava povezivanje sudionika, razmjenu podataka i surađivanje u pomorskim opskrbnim lancima. Članovi dobivaju sveobuhvatni uvid u svoje podatke i mogu digitalno surađivati, dok se teret globalno premješta, što pomaže ostvariti sigurni, transparentni i nepromjenjivi transakcijski zapis. Cilj *TradeLensa* je ubrzati procese lanaca opskrbe i papirologije, pomoću efikasnijeg praćenja tereta i smanjivanja volumena sveukupne komunikacije.

Sustav ima digitalizirani tijek rada te može pratiti pošiljke od kraja do kraja, uz eliminaciju nesigurnosti u stvarnom vremenu. Na primjer, nakon što carina potpiše potrebne dokumente, oni se prenose u bazu podataka s njihovim digitalnim potpisima. Planira se da digitalni potpisi potpuno zamjene fizičke. U ožujku 2017. *Maersk* je najavio završetak prvih proba *TradeLensa* te su uspješno iskoristili blockchain tehnologiju za praćenje prijevoza tereta.

Po [87], *Maersk* je uspio uštedjeti milijarde USD korištenjem *TradeLensa*. Istraživanje provedeno u Nhava Sheva, jednoj od najvećih indijskih luka, je pokazalo da korištenje ove tehnologije može uštedjeti oko 860 milijuna USD, pomoću digitaliziranja procesa korištenjem *TradeLensa*. Također, ova platforma je pomogla uvoznicima uštedjeti otprilike 220 milijuna USD i izvoznicima oko 40 milijuna USD, pomoću smanjenja troškova prijevoza i logistike, te kraća vremena isporuke i manja zakašnjenja [127] [75].

Dvije glavne značajke ove platforme su podjela podataka u stvarnom vremenu kroz cijeli pomorski opskrbni lanac i pretvorba trgovinskih dokumenata u pametne ugovore. S podrškom blockchain tehnologije, ova platforma poboljšava dijeljenje podataka u opskrbnom lancu. Budući da svaki sudionik u pomorskom "ekosustavu" ima pristup ažuriranim podacima i može razlučiti što se događa, niti jedan od sudionika ne može sam izmijeniti podatke.

Na primjer, svi sudionici u lancu opskrbe pomoću ove platforme mogu jednostavno pratiti podatke ažurirane u stvarnom vremenu, poput kašnjenja i otpuštanja. Zajednička glavna knjiga, koja je dostupna svima, garantira sigurne i pouzdane zapise u pomorskim procesima.

Na ovaj način, rizik od prevare je znatno manji nego pri radu s papirnatom dokumentacijom. Pametni ugovori su omogućeni kroz integraciju podataka dobivenih od senzora i digitalnih potpisa ključnih sudionika. Umjesto čekanja dolaska dokumenata i obrađivanja papirologije, jednom kada je signal iz senzora primljen i digitalni potpis pohranjen u blockchain, transakcija se automatski izvrši kroz pametne ugovore na blockchain sustavu. Ova platforma omogućava veću preciznost, efikasnost, pouzdanost i ekonomičnost procesa otpreme u industriji.

Svi sudionici u "ekosustavu" lanca opskrbe mogu imati koristi od toga [76]. Međutim, uz sve spomenute prednosti *TradeLensa*, 2022. je *Maersk* odlučio ugasiti ovu platformu. Rotem Hershko, voditelj poslovnih platformi u *Maersku*, je izjavio da iako je *TradeLens* održiva platforma potreba za potpunom suradnjom u industriji, na globalnoj razini, nije postignuta. Kao rezultat toga, *TradeLens* nije postigao razinu komercijalne održivosti potrebne za nastavak rada i ispunjavanje financijskih očekivanja [80]. Manjak suradnje između pomorskih tvrtki je jedan od izazova primjene blockchaina u pomorskim lancima opskrbe te je obrađeno u sljedećem poglavlju.

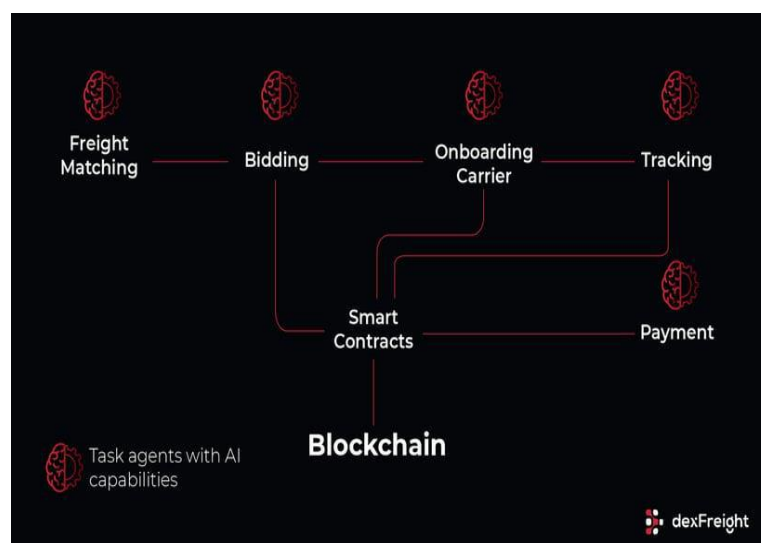
Iako po [22], manjak suradnje nije jedini razlog gašenja *TradeLensa*. Navodi se da *IBM* i *Maersk*, gigantske organizacije koje posluju zajedno te imaju potrebne financijske resurse i moć, se nisu dovoljno posvetili blockchain inovaciji u pomorskim lancima opskrbe (kroz projekt *TradeLensa*), jer ona zahtijeva predanost prema izgradnji sustava nove generacije i fokus na dugoročnu korist, umjesto kratkoročne koristi.

Gašenje *TradeLensa* je unazadilo industriju po pitanju prihvaćanja disruptivnih tehnologija poput blockchaina te prikazuje koliko teško može biti uspješno primijeniti ovu tehnologiju u industriji, ako to ne uspijevaju ni gigantske organizacije poput *Maerska* i *IBM*-a. Ovaj izazov je također moguće riješiti te je obrađen u sljedećem poglavlju.

Nadalje, luka Rotterdama je uključena u razne blockchain projekte, od kojih je jedan bio *TradeLens*. Također je luka Rotterdama prezentirala projekt baziran na blockchainu s ciljem sigurnijeg i efikasnijeg upravljanja kontejnerima pomoću eliminacije korištenja lozinki [98]. Moguć pozitivan efekt blockchaine je vidljiv i u primjeni blockchaine sa sustavima lučke zajednice (engl. *Port Community System, PCS*). Luka Veracruz u Meksiku je sklopila ugovor s blockchain logističkom tvrtkom *dexFreight*, kako bi razvili projekt za blockchain PCS-om [116]. Cilj je poboljšanje efikasnosti pri radu s teretom te poboljšanje logističkih operacija u luci, uz optimizaciju i pojednostavljenje procesa pri ukrcanju.

DexFreight predstavlja decentraliziranu logističku platformu temeljenu na blockchainu koja prijevoznim tvrtkama, pošiljateljima i ostalim članovima lanca opskrbe omogućava sigurnije, učinkovitije i transparentnije transakcije te suradnju. *DexFreight* integrira blockchain, pametne ugovore i umjetnu inteligenciju s modernim tehnologijama, što rezultira u vrijednom alatu za pomorsku industriju.

Ova platforma nudi mogućnosti nepromjenjivog identiteta, digitaliziranih transakcija, plaćanja pomoću tokena, interakciju u stvarnom vremenu, automatizirano usklađivanje opterećenja i kapaciteta, sprječavanje prevara i razna financijska rješenja [120]. *dexFreight* će u konačnici omogućiti kraće vrijeme obrade podataka i cjelokupnog procesa nabave te niže troškove, kako bi proizvodi dospjeli u ruke krajnjeg potrošača. Slika 17. prikazuje različite funkcije i alate potrebne za ispravan rad ove platforme.



Slika 17. Princip rada *dexFreight*a [102]

Sličan *dexFreightu* je blockchain sustav teretne zajednice (engl. *Cargo Community System, CCS*) u luci Marseille-Fos. Podatci CCS-a su prikupljeni s različitih izvora, npr. od špeditera, pošiljatelja, carine, lučkih agenata i cestovnih prijevoznika. Cilj je pojednostavniti i ubrzati razmjenu podataka o teretu među svim uključenim dionicima (javnim i privatnim) [118]. Po [95], implementacija blockchaine i pametnih ugovora razgrađuje arhitekturu središnjih upravljačkih i informacijskih sustava te se na taj način, u vidu lučkih logističkih procesa, potiču postojeće i nove poduzetničke suradnje različitih aktera u sveobuhvatnom lučkom okruženju i duž lanca opskrbe. Ovo je veoma značajno i pogodno za mala i srednja poduzeća radi niskih troškova sudjelovanja [66].

Nadalje, *T-Mining* je *startup* u Antverpu koji je stvorio platformu baziranu na blockchainu za izvršavanje sigurnih i efikasnih operacija pripreme kontejnera za otpremu i pojednostavljivanja protoka dokumenata, pomoću pametnih ugovora [25]. Uključeni su brojni dionici u pomorskoj industriji, špediter (*Belfruco*), belgijski uvoznik (*Enzafruit*), *PortApp* (front-end programiranje), *I-Stop* (trgovanje automobilima) i proizvođač hrane (*T&G Global*). Ova blockchain platforma je iskorištena za izradu fitosanitarnih certifikata, kako bi se osigurala sigurnost voća i povrća. Prijašnje inspekcije i certifikati prehrambenih proizvoda su se bazirali na dugotrajnim prijenosima papirnatih dokumenata, dok ova platforma omogućava svakom sudioniku praćenje ključnih dokumenata na tržištu, u stvarnom vremenu.

Na ovaj način se ažurirani podatci fluentno dijele među svim sudionicima, kako bi provjere bile transparentnije i brže, a najvažnije, budući da se izvor dokumenata može pratiti u stvarnom vremenu, certifikat nije lako izmijeniti. Tijekom pilot-projekta, voće prevezeno iz Novog Zelanda i dostavljeno na europsko tržište je podržano s digitalnim fitosanitarnim certifikatima. Nakon analize povratnih informacija pilot-projekta, luka Antverpa aktivno surađuje na inovativnim rješenjima kako bi se dodatno osigurao prehrambeni lanac opskrbe, uz automatizaciju procesa otpreme tereta [31].

Nadalje, *Pacific International Lines (PIL)*, *PSA International Pte Ltd* i *IBM Singapore* su se 2017. udružili, kako bi razvili mrežu pomorskih lanaca opskrbe baziranu na blockchain tehnologiji. Ove tri tvrtke su izmislile *dokaz o konceptu* (engl. *Proof of Concept, PoC*), tj. program koji je izgrađen na *IBM*-ovoj blockchain platformi [100].

Blockchain platforma s PoC programom je testirana s ciljem praćenja kretanja tereta iz Chongqinga, jednog od najvećih gradova Kine, do Singapura, kroz *Southern Transport Corridor (STC)* [100]. Korišteno je više vrsta prijevoza, uključujući kamione, željeznicu i brodove te bez ikakvog rukovanja samim teretom pri promjeni načina prijevoza. Nabrojano je nekoliko postignutih ciljeva:

- Transparentno i pouzdano izvršavanje multimodalnih logističkih operacija.
- Izvršavanje multimodalnih logističkih operacija u skladu s propisima.
- Praćenje u stvarnom vremenu.
- Dozvola kontrole pristupa za sudionike "ekosustava".

Dobiveni dokazi iz ovog testiranja potiču tvrtke da dovedu primjenu ove tehnologije na višu razinu. U sljedećoj fazi, opseg PoC platforme se namjerava proširiti na globalnu logističku i pomorsku mrežu kako bi se postigla viša razina operativne efikasnosti, sigurnosti i transparentnosti [76].

Nadalje, 2017. je *NTT Data* oformio konzorcij 14 japanskih tvrtki, uključujući brodare *Mitsui O.S.K. Lines (MOL)*, *Nippon Yusen Kabushiki Kaisha (NYK Line)* i *Kawasaki Kisen Kaisha, Ltd. (K-Line)* u svrhu povećanja razine pogodnosti za korisnike korištenjem blockchaina, kako bi se omogućio lakši protok podataka kroz razne tvrtke i korporacije te kako bi uredske procedure vezanu za trgovinu bile brže i učinkovitije. Izmislili su PoC koji su iskoristili s platformom za podjelu trgovinskih podataka te su postigli do 60% smanjenja u operativnim troškovima za sve vrste procesa. Stvoreni alat donosi razne pogodnosti za uvoznike, izvoznike, brodare i carinu. Među većim pogodnostima su pojednostavljenje rada s teretnicama, poboljšanje točnosti podataka, smanjenje vremena trajanja raznih procesa, smanjenje rizika gubitka, krađe i krivotvorenja te podizanje razine sljedivosti i mogućnosti praćenja tereta [89]. Ovaj konzorcij predstavlja prvu inicijativu Japana pri korištenju blockchain tehnologija za operacije povezane s prodajom.

Nadalje, ranije spomenuta *DCSA* je realizirala velike profite korištenjem eBL-ova. *DCSA* je neutralna, neprofitna grupacija oformljena s ciljem povećanja digitalizacije i standardizacije kontejnerskog prijevoza.

Oformili su eBL platformu uz pomoć PoC-a te smatraju da bi univerzalno prihvaćanje eBL-a u industriji kontejnerskog prijevoza pridonijelo globalnoj ekonomiji i očuvanju planeta [37]. U prošlom potpoglavlju su opisana brojna postignuća, realizirana i potencijalna, dobivena korištenjem eBL-ova.

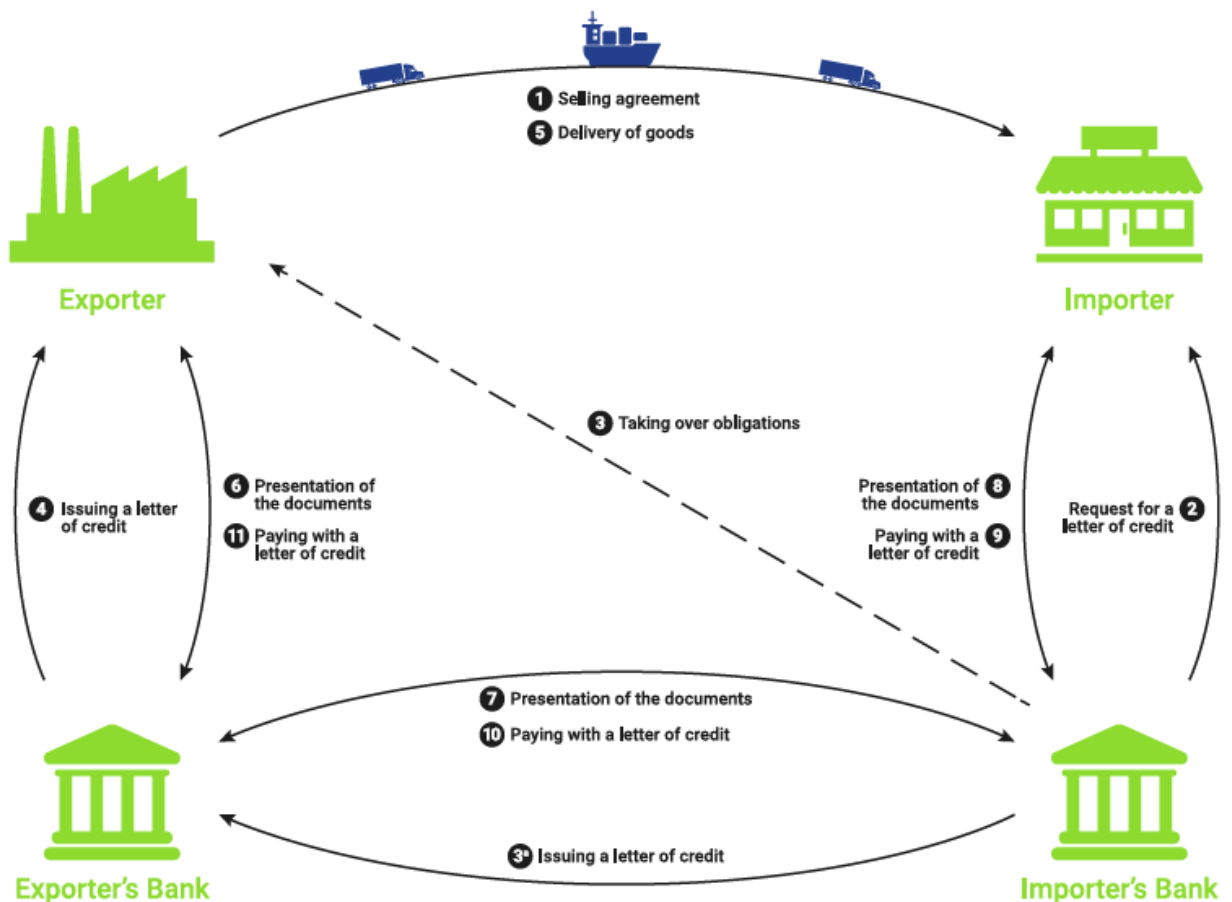
Savez *FIT Alliance*, u kojem je *DCSA* član, je stvoren s ciljem realizacije univerzalnog eBL-a pomoću podizanja svjesnosti i ubrzanja prihvaćanja eBL-a sa strane svih uključenih u pomorsku industriju. *DCSA* je stvorila razne alate i podupire razne inicijative s ciljem stvaranja što veće razine transparentnosti, pouzdanosti, jednostavnosti korištenja, sigurnosti i zaštite okoliša u kontejnerskom prijevozu.

Nadalje, 2018. je *Maqta Gateway*, podružnica *AD Ports Group* (Abu Dabi), postala prva tvrtka u Abu Dabiju koja je razvila i pokrenula blockchain alat zvan *Silsal*. *Maqta Gateway* je osnovan 2017. s ciljem redefinicije međunarodnih pomorskih usluga i globalnih prodajnih usluga *Abu Dhabija*. Cilj *Silsala* je stvaranje besprijekorne i sigurne pomorske mreže za sve uključene u globalnoj trgovačkoj zajednici [1]. *Silsal* je interno stvoren u *Digital Innovation Lab* te kombinira otvoreni digitalni *ledger* i jedinstvene digitalne identitete korisnika, a kako bi se komplementirao s već postojećim u *Maqta's Port Community System* (mPCS). Ovaj blockchain alat je testiran s ključnim mušterijama u *Abu Dhabi Ports*. Poslovni procesi i razmjena podataka su prošli kroz unificirano sučelje koje povezuje razne sudionike tržišnog društva, kako bi se osiguralo da se sustav povezuje s mrežom pomorskih lanaca opskrbe, lokalno i međunarodno [1].

Nadalje, već spomenuti, *CargoX* je nezavisni dobavljač sustava za prijenos dokumenata koji pružaju brz, siguran, pouzdan i ekonomičan način za obradu pomorskih dokumenata, globalno. Ovaj sustav može izdati eBL i prenijeti ga putem veoma sigurnog i pouzdanog javnog blockchaine, u minutama umjesto danima ili duže, te su mogućnosti krađe, oštećenosti ili gubitka eBL-a skoro nepostojeće [17]. Cijena eBL-a je procijenjena na otprilike 15% standardne cijene za prijenos papirnato dokumenata kroz mrežu globalne pomorske trgovine [15]. Pilot-projekt je uključivao uvoznika *Metro d.d.*, poznatijeg po njihovoj mreži *MANA* dućana s odjećom kroz regiju centralne i istočne Europe (engl. *Central and Eastern Europe, CEE*) te izvoznika *Hangzhou Doko Garments Co. Ltd.* u Kini.

Godine 2018 u luci Kopra u Sloveniji obrađen je prvi kontejner blockchain tehnologijom *CargoXa, Smart Bill of Lading™*, te je iskrcan prema planu. Menadžer logistike u *Metro d.d.*, Miloš Košir, komentirao je da tvrtka uvozi stotine jedinica ekvivalentnih dvadeset stopa (engl. *twenty-foot equivalent unit, TEU*) s Bliskog istoka te da eBL povećava sigurnost i pouzdanost prijenosa dokumenata i dodaje vrijednost tvrtki pomoću znatnog snižavanja troškova uvoženja dobara [15]. Indijsko Ministarstvo pomorstva je odobrilo testiranje pošiljki s tereticama izdanimi pomoću *CargoX* tehnologije na PCS-u u državi [18]. *CargoX* tvrdi da predstavlja globalno najveću i najbrže rastuću platformu za stvaranje i razmjenu elektroničkih trgovinskih dokumenata te da ju koristi preko 120 tisuća kompanija [17].

CargoX je također jedna od rijetkih eBL platformi odobrenih sa strane *International Group of P&I Clubs* (IGP&I) [19] te posjeduje ISO 27001 certifikat za sustave upravljanja informacijskom sigurnošću [16][44]. Slika 18. prikazuje proces prijenosa dokumenata putem *CargoX* platforme.



Slika 18. Vizualizacija prijena dokumenata putem *CargoX* platforme [82]

Postoje i druge platforme za razmjenu eBL-ova poput *Bolero*, *WaveBL*, *ICE CargoDocs*, *edoxOnline*, *IQAX* itd. [7].

Nadalje, *OriginTrail* protokol omogućava pouzdano dijeljenje podataka u globalnim opskrbnim lancima korištenjem blockchain tehnologije. Decentralizirana mreža *OriginTraila* je izgrađena za integritet podataka i provjeru ispravnosti u među organizacijskim okruženjima na temelju globalno priznatih standarda i snažnih struktura podataka s grafova. *OriginTrail* sadrži osnovu za sljedeću generaciju poslovnih alata [52].

Finalno, *Marine Transport International Limited (MTI)* je špediter koji je također primijenio blockchain u pomorskoj industriji. Godine 2016 je *MTI* počeo koristiti javni blockchain zvan *TrustMe™*, kako bi se uskladio s novim zahtjevima za verificiranu bruto masu (engl. *Verified Gross Mass, VGM*) za kontejnere.

Ovi zahtjevi su došli na snagu 2016. radi konvencije Međunarodne pomorske organizacije (engl. *International Maritime Organization, IMO*) zvane Međunarodna konvencija o zaštiti ljudskih života na moru (engl. *International Convention for the Safety of Life at Sea, SOLAS*). Ova nova regulativa prenosi brodarima odgovornost osiguranja pravilnog VGM-a, pri prijenosu dokumenta terminalu ili prijevozniku, prije ukrcaja na plovilo. *MTI* također koristi *TrustMe*TM u svrhu pružanja trajnog i vidljivog zapisa za lučke službenike, brodare i vlasnike tereta.

MTI je bio zadovoljan rezultatima, eliminirana je potreba za posrednicima pri slanju podataka te za privatnim bazama podataka, dnevniciima i proračunskim tablicama [33]. Moguće su i druge primjene u pomorskoj industriji, uglavnom kako bi se riješio problem usklađenosti s propisima, problemi s dokumentima, osiguranje podrijetla dobara te kao podrška komunikaciji i automatizaciji [76].

2.6. NEDOSTATCI BLOCKCHAIN TEHNOLOGIJE U POMORSKIM LANCIMA OPSKRBE

Tehnički nedostaci BMSCS-a se uglavnom odražavaju na tri načina:

- skalabilnost
- neizvjesnost transakcija
- visoki troškovi održivosti

Problem skalabilnosti ograničava blockchain sustave u veličini. Čvorovi sustava moraju obraditi sve transakcije koje se dogode u sustavu. U globalnim sustavima je ovaj način rada energetski intenzivan i kalkulacije u blokovima sustava će konzumirati značajnu snagu procesora. Štoviše, DLT tehnologija generalno ovisi o veličini blokova koji se koriste za prijenos podataka, brzini prijenosa podataka unutar mreže, temeljnom protokol za dokaz o radu (PoW ili PoS, PoC, itd.) i o provjeri podataka na svakom čvoru. Stoga, BMSCS je ograničen u skalabilnosti. Da bi se povećala brzina transakcija, efikasnost mreže i skalabilnost u velikim sustavima, potrebna su potencijalna rješenja kao što su *sharding* i *layer-two protocols*, na koje bi se trebala fokusirati buduća istraživanja [44].

Nadalje, neizvjesnost transakcija predstavlja izazov za BMSCS pri izvršavanju transakcija kroz mrežu. Nakon što su odobrene i pohranjene, transakcije u blockchain sustavu se veoma teško mogu izmijeniti i dogovori su nepovratni. Stoga, kada sustav ima mogućnost stavljanja transakcije na "crnu listu", tj. neodobravanja transakcije, pošiljatelj se radi neizvjesnosti suočava s rizikom gubitka vrijednosti odrađene transakcije.

Ekološka održivost je također problem. *Sustainable shipping for a sustainable planet* je izjava odabrana za svjetsku pomorsku temu u 2020., od IMO vijeća [117]. Blockchain konzumira više energije od nekoliko manjih država, iako su poslovi koji se danas vode preko blockchaine u malom postotku [75]. Energetska potrošnja uzrokovana konstantnom funkcijom blockchaine može potencijalno daleko nadmašiti njegovu konačnu korist pri rješavanju nedostataka pomorskih lanaca opskrbe te može uzrokovati regulaciju služba za zaštitu okoliša. Potrebna je posvećenost obnovljivim izvorima energije kao pogon i glavni fokus budućih blockchain projekata, kako bi bili energetske isplativi te što manje štetni za okoliš, što je od ključne važnosti za svijet današnjice i budućnosti. Kada se opseg pomorske blockchain mreže poveća i proširi, a troškovi transakcija su skuplji nakon što se dodaju novi blokovi, potrebno je uzeti u obzir trošak uzrokovan velikim brojem potrebnih računalnih resursa. Osim toga, skupo je izgraditi blockchain mrežu i alat te je integracija istoga u postojeću tehnološku infrastrukturu tvrtki također skup proces.

Zahtjevi za velikim financijskim ulaganjima predstavljaju jedan od najvećih izazova pri građenju digitalnih operativnih mogućnosti u prijevoznim i logističkim tvrtkama, po [119]. Intervjui s predstavnicima norveških pomorskih tvrtki ukazuju na to da troškovi predstavljaju glavnu prepreku pri implementaciji blockchaine te su brojni, uključujući troškove za razvoj blockchain alata, konzultiranje, uvježbavanje, specifično osoblje, integraciju s postojećim tehnologijama itd. [33]. Tvrtke s kvalitetnim i adekvatnim IT kapacitetom i financijskim sredstvima su bolje pripremljene za implementaciju blockchaine, po [46]. Usprkos tome, globalno najvećoj brodograditeljskoj tvrtki, *Hyundai Heavy Industries*, je bila potrebna državna podrška u obliku kapitala te istraživanja i razvoja (engl. *Research and Development, R&D*), kako bi bili u mogućnosti razviti što bolju blockchain platformu i integrirali ju u trenutnu tehnološku infrastrukturu.

Jedan od nedostataka blockchaina predstavlja i gubitak kriptografskih ključeva. Ako korisnik izgubi svoje javne ili privatne ključeve, njegov korisnički podatkovni blok će također biti nepovratno izgubljen. Iako ključevi mogu fizički postojati u BMSCS mreži, ne mogu se više vratiti korisniku ili rudarenjem dobiti nazad. Ovo je primjer jednog tehničkog izazova s kojim se blockchain suočava, dok tradicionalni softverski alati i operativni sustavi nisu [78].

Također, ova tehnologija je još u razvojnoj fazi snimanja i obrade podataka u sektoru pomorske logistike i lanaca opskrbe [40]. U lancu opskrbe se implementiraju brojne tehnologije, poput RFID-a, telematike, barkodova i 2D kodova, senzora, IoT-a itd., u svrhu lakšeg praćenja proizvoda i podataka. Rezultat ovoga je ogromna količina podataka koja može usporiti blockchain mrežu i smanjiti efikasnost.

Blockchain se također suočava s tehničkim izazovima integracije različitih sustava, koji uključuju različit softver, aplikacije i blockchain platforme. Kao prvo, potrebno je da blockchain platforma posjeduje mogućnost prilagodbe i integracije s brojnim različitim softverom i aplikacijama, poput upravljanja resursima poduzeća (engl. *Enterprise Resource Planning, ERP*) ili bilo kojim internim sustavom svakog sudionika. Kao drugo, interoperabilnost blockchaina može predstavljati veoma zahtjevna tehnički izazov, iako se brojna rješenja istražuju i razvijaju. Interoperabilni sustavi su sve više popularni u današnje vrijeme te neki od poznatijih su *Polkadot (DOT)*, *Cardano (ADA)* i *Cosmos (ATOM)* [42].

Postoje također razni netehnički problemi i nedostaci BMSCS-a. Jedan netehnički problem leži u nevoljkosti tvrtki da implementiraju ovu tehnologiju. Specifično, implementacija blockchaina je još pri početnoj fazi u pomorskoj industriji. U brojnim tvrtkama je prisutan nedostatak znanja o ovoj tehnologiji te se suočavaju s raznim izazovima. Manjak digitalne kulture i uvježbavanja je najveći izazov u prijevoznim i logističkim poduzećima, po [119].

U [33] su prikazani provedeni intervjui s predstavnicima pomorskih tvrtki, kako bi se saznalo jesu li norveške pomorske tvrtke spremne za prihvaćanje ove tehnologije. Četiri intervjua su provedena s *offshore* operaterima, a tri s dobavljačima. Rezultati prikazuju to da prihvaćanje blockchaina u pomorskoj industriji nije sigurno i očekivano da će se dogoditi, a zbog manjka znanja o tehnologiji i kulturnoj barijeri prema inovaciji u pomorskim tvrtkama.

Rezultati također predstavljaju dva ključna faktora koja mogu povećati vjerojatnosti i voljnost prihvaćanja ove tehnologije unutar industriji. Prvi faktor je uspješna primjena blockchaina u drugim industrijama, a drugi je primjena blockchaina kroz treće strane, koje su specijalizirane za implementaciju blockchaina [75].

Nadalje, *The Nautical Institute*, u partnerstvu s *Navozymeom*, je razvio edukacijski program specifično za pomorsku industriju po nazivu *Blockchain for Maritime Decisionmakers (BMD)*, za IMO zemlje članice i međunarodne organizacije [64]. Cilj *BMD* programa je podizanje svjesnosti najvažnijih figura u pomorstvu, u vidu izazova digitalne transformacije i specifično oko primjene blockchain tehnologije u pomorskoj industriji. Glavni cilj ovog programa je opremanje globalnog društva pomorskih donositelja odluka i promjena s znanjem, samopouzdanosću, vještinama i perspektivama koje mogu ubrzati transformaciju industrije i pripremiti ju za buduće izazove [64]. Ekstenzivno istraživanje je potrebno za razvoj i primjenu ove tehnologije, a prije široke primjene u industriji.

Nadalje, pomorska industrija ima dugu povijest s nekoliko gigantskih tvrtki. Takav lanac opskrbe je otporan na bilo kakvu promjenu i inovaciju, što je posljedica samozadovoljstva i individualizma [137]. Za ovakvo ponašanje se smatra da je glavni razlog neuspjeha integracije pomorskih opskrbnih lanaca. U [106] se smatra da iako integracija pomorskih lanaca opskrbe može poboljšati kompetitivnost pomorski tvrtki dugoročno, one nisu voljne sudjelovati u integracijskim praksama poput cijena baziranih na određenom čimbeniku (engl. *based pricing*) i centraliziranih informacijskih sustava. Stoga, blockchain tehnologija se suočava s velikim preprekama radi spomenutog, jer njena integracija dolazi s brojnim promjenama.

U slučaju *TradeLens* se može vidjeti nekoliko izazova primjene blockchaina u pomorskim lancima opskrbe. Da je postignuta veća razina educiranja o ovoj tehnologiji u pomorskoj industriji te veća motivacija za implementaciju promjena i koncepata koje ta tehnologija donosi u industriju, možda bi *TradeLens* ostao funkcionalna platforma. Da je postignuto spomenuto, veće su šanse da bi *IBM* i *Maersk* uložili više financijskih resursa, vremena i pažnje za razvoj i održavanje *TradeLens*, koji bi dugoročno najvjerojatnije pokazao korist za globalnu pomorsku industriju, te su veće šanse da bi ista prihvatila tu platformu u svrhu podizanja razine veoma potrebne međusobne suradnje, digitalizacije i interoperabilnih sustava u industriji.

Nadalje, netehnički problem BMSCS-a je također manjak konsenzusa i standarda. Pomorska industrija je jedna od onih na koju znatno utječu konstantna nova pravila i legislative [114]. Legislative se konstantno ažuriraju na sve više i strože standarde. Veoma regulirana pomorska industrija može stvoriti prepreke za trenutačno slabo reguliranu blockchain tehnologiju. Brojni standardi su u ranoj fazi razvoja, što ograničava pristup strukturiranog upravljanja. Također, sam princip decentralizacije, što je ključna značajka ove tehnologije, olakšava izbjegavanje vanjske regulacije [30]. Ovo definitivno može biti prepreka za pomorsku industriju, koja ima značajnu pozadinu narodne i međunarodne regulacije [2].

Pomorske tvrtke bolje prihvate disruptivne poslovne koncepte, poput blockchaine, kada im regulacije to nametnu. Velike globalne organizacije (npr. EU, *IMO*, Svjetska trgovinska organizacija (engl. *World Trade Organization, WTO*), Svjetska carinska organizacija (engl. *World Customs Organization, WCO*), Međunarodna asocijacija luka i pristaništa (engl. *International Association of Ports and Harbors, IAPH*) itd.) koje pokušavaju riješiti izazove poput krivotvorenja, digitalne transformacije, ekološke održivosti, itd., mogu iskoristiti takav koncept kako bi se ubrzao proces implementacije blockchaine u industriji [94].

Standarde trenutačno stvaraju institucije poput *Blockchain in Transport Alliance (BiTA)* [28]. *BiTA* je osnovana s ciljem ubrzanja procesa prihvaćanja ove tehnologije unutar prijevozne industrije, u koju spada i pomorska industrija. Također, kao što je spomenuto u drugom poglavlju, pri procesu standardizacije blockchaine *ISO* je 2016. uspostavio tehnički komitet za razvoj standarda blockchain tehnologije te prilagođavanje ove tehnologije, kako bi se kroz interoperabilnost olakšala globalna primjena. Institut inženjera elektrotehnike i elektronike (engl. *Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE*) sadrži odsjek za postavljanje standarda, *IEEE Standards Association*, koji također aktivno prati i radi na procesima standardizacije ove tehnologije, kroz brojne aktivnosti u raznim industrijama [75]. Međutim, još uvijek postoji manjak literature o primjeni ove tehnologije te manjak poticanja transformacije i nadograđivanja pomorskih lanaca opskrbe i same industrije [78].

Analizom svih obrađenih nedostataka BMSCS-a može se doći do zaključka da je realizacija savršene kombinacije blockchaina i pomorskih lanaca opskrbe jedan ekstremno kompleksan zadatak. Posljedica toga je mali broj praktičnih primjena blockchaina u pomorskim lancima opskrbe te dosta od tih primjena su verifikacijski i istraživački projekti. Može se zaključiti da je bez educiranja, standardiziranja, reguliranja i financijske potpore teško oformiti održivi poslovni model [78].

3. ZAKLJUČAK

Blockchain tehnologija, koja u srži predstavlja jedan inovativan i apstraktan pristup prema raznim stavkama, se suočava s raznim izazovima pri spoju s pomorskom industrijom i njenim lancima opskrbe. Ova tehnologija je sve popularnija te sve više zemalja se fokusira na standardizaciju i regulaciju ove tehnologiju, kako bi se povisila razina primjene ove tehnologije u raznim industrijama. Blockchain nudi rješenja za razne izazove prisutne u današnje vrijeme, poput sve većeg zagađenja okoliša i porasta klimatskih katastrofa, potrebe za pouzdanim, transparentnim i digitalnim sustavima te potrebe za suradnjom i društvenom odgovornošću. Ovi izazovi su globalnim razmjera te utječu i na pomorsku industriju.

Da bi pomorska industrija riješila ove izazove i nastavila se razvijati u skladu s zahtjevima današnjeg vremena, potrebne su korijenite promjene. U srži pomorske industrije je prisutna kompetitivnost i manjak suradnje između različitih sudionika unutar industrije, širok utjecaj nekoliko gigantskih tvrtki, spor razvoj industrije i regulacija unutar nje, fragmentirana i netransparentna struktura industrije te raširena i standardizirana uporaba papirnate, tj. fizičke dokumentacije. Posljedica ovoga je prisutnost raznih veoma kompleksnih procesa i operacija unutar industrije te pogotovo unutar lanaca opskrbe, koji generiraju velike troškove. Također su veliki troškovi generirani radi manjka optimiziranih aktivnosti te manjka povjerenja među raznim sudionicima unutar industrije. Pomorska industrija je među najzagađujućim industrijama globalno, što naravno predstavlja ogroman problem u današnje vrijeme.

Blockchain sadrži potencijal da razriješi brojne izazove unutar industrije. Ova tehnologija ima potencijal za transformaciju aktivnosti unutar industrije i lanaca opskrbe te može utjecati na ključne ciljeve upravljanja lancima opskrbe, među kojima su veliki troškovi, brzina rada, pouzdanost, transparentnost, smanjenje rizika, održivost i fleksibilnost. Najznačajniji utjecaj ove tehnologije na pomorske lance opskrbe leži u mogućnosti praćenja podataka, tj. sljedivosti i značajnom smanjenju troškova, koje je moguće jedino standardiziranom digitalizacijom industrije. Brojna istraživanja su provedena kroz koja se može vidjeti realizacija nekih od spomenutih prednosti primjene ove tehnologije unutar pomorskih lanaca opskrbe. Dok uz korištenje ove tehnologije s ostalim modernim tehnologijama, poput pametnih ugovora i IoT-a, njihova primjena se proširuje.

Da bi se postigle prednosti ove tehnologije unutar pomorskih lanaca opskrbe, potrebno ju je primijeniti na pravilan način.

Blockchain tehnologija se može iskoristiti za digitalizaciju papirologije te specifično važnih dokumenata (poput elektronskih teretnica), praćenje izvora proizvoda i tereta, očuvanje mora i okoliša, smanjenje vremena isporuke tereta te troškova i vremena trajanja transakcija te stvaranja sustava i infrastrukture koja potiče povezanost sudionika u industriji i međusobnu suradnju itd. Neke od ovih područja primjena se uspješno primjenjuju u industriji, poput elektronskih teretnica, praćenja kontejnera i ostalih dobara te raznih sustava koji pojednostavljuju, digitaliziraju, ubrzavaju i čine ekonomičnijim procese isporuke, komunikacije, podjele podataka itd. Međutim, razna područja primjene zahtijevaju daljnja istraživanja unutar industrije.

Iako je primjena ove tehnologije uspješna unutar industrije, svejedno je u malom broju te održavanje sustava i daljnji razvoj i nastavak rada, ovisno o primjeni, zna zahtijevati znatne financijske resurse. Osim potrebnih financijskih resursa, blockchain sadrži brojne nedostatke koji koče sudionike unutar industrije pri prihvaćanju ove tehnologije. Iako blockchain ima potencijal za stvaranje pozitivne transformacije i napretka unutar pomorske industrije, potrebno je razriješiti tehničke i netehničke izazove pri primjeni ove tehnologije s pomorskim lancima opskrbe.

Potrebni su financijski resursi te fokus stručnjaka unutar industrije kako bi se mogli razriješiti tehnički izazovi blockchaine, koji predstavljaju problem pri spoju s veličinom, kompleksnosti, kompetitivnom prirodom i načinom funkcioniranja pomorskih lanaca opskrbe. Također, fokusom na regulaciju i standardizaciju ove tehnologije te povećavanjem razine educiranja o ovoj tehnologiji i poticanjem korištenja istih se mogu razriješiti netehnički izazovi ovih tehnologija.

Bez rješavanja ovih izazova je implementacija blockchaine u pomorske lance opskrbe jedan veoma kompleksan zadatak s nepoznatim ishodom. Suprotno tome, rješavanjem ovih izazova pomorska industrija može doživjeti značajan napredak i potreban razvoj u današnje vrijeme sve naprednijih tehnologija budućnosti i sve više rastućih klimatskih katastrofa i konflikata diljem svijeta.

LITERATURA

- [1] Abu Dhabi Ports.: *Abu Dhabi Ports launches blockchain technology for trade community*, lipanj, 2018., https://www.adports.ae/abu-dhabi-ports-launches-blockchain-technology-for-trade-community/?jps=full_post (pristupljeno 8.6.2024.)
- [2] Alderton, T.; Winchester, N.: *Globalisation and De-regulation in the Maritime Industry*, Marine Policy, Elsevier, UK, 26, 1, 2002., str. 35-43.
- [3] Alqarni, M.A.; Alkathairi, M.S.; Chauhdary, S.H.; Saleem, S.; *Use of Blockchain-Based Smart Contracts in Logistics and Supply Chains*, Electronics, MDPI, Švicarska, 12, 6, 2023., članak 1340.
- [4] Appelhanz, S.; Osburg, V.S.; Toporowski, W.; Schumann, M.: *Traceability System for Capturing, Processing and Providing Consumer-Relevant Information About Wood Products: System Solution and its Economic Feasibility.*, Journal of Cleaner Production, Elsevier, Danska, 110, 2016., str. 132–148.
- [5] Azzi, R.; Chamoun, R. K.; Sokhn., M.: *The Power of a Blockchain-Based Supply Chain.*, Computers & Industrial Engineering, Elsevier, Danska, 135, 2019., str. 582–592.
- [6] Back, A.: *Hashcash - a denial of service counter-measure.*, kolovoz, 2002. <http://www.hashcash.org/papers/hashcash.pdf> (pristupljeno 20.3.2024.)
- [7] Baltic and International Maritime Council (BIMCO).: *Complete Guide to Electronic Bill of Lading Adoption for the Bulk Trades*, siječanj, 2024., <https://www.bimco.org/insights-and-information/general-information/20230828-ebi-guide> (pristupljeno 12.5.2024.)
- [8] Behnke, K.; Janssen, M.F.W.H.A.: *Boundary Conditions for Traceability in Food Supply Chains Using Blockchain Technology*. International Journal of Information Management, Elsevier, UK, 52, 2020., članak 101969.
- [9] Bhattacharya, P.B.; Jain, S.K.; Nagpaul, S.R.: *Basic Abstract Algebra*, 2nd ed., Cambridge University Press, 2, SAD, 1994.
- [10] Bitcoin Core.: <https://bitcoincore.org/> (pristupljeno 19.2.2024.)
- [11] Bitnodes.: <https://bitnodes.io/> (pristupljeno 20.2.2024.)
- [12] Blockchain.com, <https://www.blockchain.com/explorer/charts/hash-rate>, (pristupljeno 10.6. 2024.)

- [13] Brousmiche, K.; Heno, T.; Poulain, C.; Dalmieres, A.; Hamida, E.: *Digitalizing, securing and sharing vehicles life-cycle over a consortium blockchain: lessons learned.*, 9th IFIP International Conference on New Technology, Mobility and Security (NTMS), Pariz, Francuska, IEEE, SAD, 2018. str. 1-5.
- [14] Caldarelli, G.; Rossignoli, C.; Zardini, A.: *Overcoming the Blockchain Oracle Problem in the Traceability of Non-Fungible Products.*, Sustainability, MDPI, Švicarska, 12, 6, članak 2391, 2020.
- [15] CargoX.: *A day to remember: The first ever blockchain based CargoX Smart B/L™ has successfully completed its historic mission during a trial shipment from China to Europe*, kolovoz, 2018., <https://cargox.io/content-hub/first-ever-blockchain-based-cargox-smart-bl-has-successfully-completed-its-historic-mission> (pristupljeno 9.6.2024.)
- [16] CargoX.: *CargoX achieves ISO/IEC 27001:2022 Certification*, siječanj, 2024., <https://cargox.io/content-hub/cargox-achieves-iso-iec-27001-2022-certification> (pristupljeno 10.6.2024.)
- [17] CargoX.: *Electronic Bill of Lading software*, <https://cargox.io/electronic-bill-of-lading-software> (pristupljeno 9.6.2024.)
- [18] CargoX.: *Portall and CargoX join forces to help the Government of India digitalize the bill of lading processing and move all trade documents to electronic means of transfer*, lipanj, 2020., <https://cargox.io/content-hub/government-india-drives-digitalization-bill-lading-and-trade-documents-portall-and-cargox> (pristupljeno 9.6.2024.)
- [19] CargoX.: *What are the P&I clubs and what role do they play in the adoption of electronic Bill of Lading*, siječanj, 2022., <https://cargox.io/content-hub/what-are-pi-clubs> (pristupljeno 10.6.2024.)
- [20] Casanova, D.; Dierker, D.; Hausmann, L.; Jensen B.; Stoffels, J.: *The multi-billion-dollar paper jam: Unlocking trade by digitalizing documentation*, McKinsey&Company, listopad, 2022., <https://www.mckinsey.com/industries/travel-logistics-and-infrastructure/our-insights/the-multi-billion-dollar-paper-jam-unlocking-trade-by-digitalizing-documentation#/> (pristupljeno 6.6.2024.)
- [21] Casino, F.; Dasaklis, T.K.; Patsakis, C.: *A systematic literature review of blockchain-based applications: Current status, classification and open issues.*, Telematics and Informatics, Elsevier, Nizozemska, 36, 2019., str. 55-81.

- [22] Cecere, L.: *Tradelens Discontinues Operations. Why You Should Care.*, Forbes, prosinac, 2022., <https://www.forbes.com/sites/loracecere/2022/12/05/tradelens-discontinues-operations-why-you-should-care/> (pristupljeno 4.8.2024.)
- [23] Centre for Finance, Technology and Entrepreneurship (CFTE).: *Blockchain and Digital Asset projects worldwide in 2023*, 2023., <https://courses.cfte.education/blockchain-and-defi-projects/> (pristupljeno 7.3.2024.)
- [24] Chainalysis Team.: *2022 Biggest Year Ever For Crypto Hacking with \$3.8 Billion Stolen, Primarily from DeFi Protocols and by North Korea-linked Attackers.*, Chainalysis, veljača, 2023., <https://www.chainalysis.com/blog/2022-biggest-year-ever-for-crypto-hacking/> (pristupljeno 5.3.2024.)
- [25] Chang, Y.; Iakovou, E.; Shi, W.: *Blockchain in global supply chains and cross border trade: a critical synthesis of the state-of-the-art, challenges and opportunities.*, International Journal of Production Research, Taylor and Francis, UK, 58, 7, 2019., str. 2082-2099.
- [26] ChangellyOfficial.: *Merkle Tree in cryptocurrencies – how does it work?*, Changelly blog, Publish0x, veljača, 2020., <https://www.publish0x.com/changelly-blog/merkle-tree-in-cryptocurrencies-how-does-it-work-xvqvjq> (pristupljeno 2.3.2024.)
- [27] Chen, S.; Shi, R.; Ren, Z.; Yan, J.; Shi, Y.; Zhang, J.: *A Blockchain-based Supply Chain Quality Management Framework*, 2017 14th International Conference on e-Business Engineering (ICEBE), Šangaj, Kina, IEEE, SAD, 2017., str. 172-176.
- [28] Choi, T.M.; Wen, X.; Sun, X.; Chung, S.H.: *The mean-variance approach for global supply chain risk analysis with air logistics in the blockchain technology era.*, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Elsevier, UK 127, str. 178–191.
- [29] Christodoulou, P.; Christodoulou, K.; Andreou, A.: *A decentralized application for logistics: Using blockchain in real-world applications.* Cyprus Review, University of Nicosia, Cipar, 30, 2, 2018., str. 171–183.
- [30] Clott, C.; Hartman, B.; Beidler, B.: *Sustainable Blockchain Technology in the Maritime Shipping Industry*, Maritime Supply Chains, Elsevier B.V., Nizozemska, 2020., str.207-228.
- [31] Container News Team.: *Antwerp blockchain pilot pioneers with secure and efficient document workflow*, Container News, lipanj, 2018., <https://container-news.com/antwerp-blockchain-document-workflow/> (pristupljeno 3.6.2024.)

- [32] Creative Society.: *On the Progression of Climatic Disasters on Earth and Their Catastrophic Consequences*, 2024., <https://be.creativesociety.com/storage/file-manager/climate-model-report-a4/en/Climate%20Report.pdf> (pristupljeno 6.8.2024.)
- [33] Czachorowski, K.; Solesvik, M.; Kondratenko, Y.: *The Application of Blockchain Technology in the Maritime Industry*, Green IT Engineering: Social, Business and Industrial Applications, Studies in Systems, Decision and Control, Springer International, Švicarska, 171, 2019., str. 561-577.
- [34] Deloitte, *Using blockchain to drive supply chain innovation*, 2017., <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/process-and-operations/us-blockchain-to-drive-supply-chain-innovation.pdf> (pristupljeno 28.4.2024.)
- [35] Deshmukh, S.; Boulais, O.; Koens, T.: *Global Standards Mapping Initiative: An overview of blockchain technical standards*, World Economic Forum, listopad, 2020., https://www3.weforum.org/docs/WEF_GSMI_Technical_Standards_2020.pdf (pristupljeno 4.3.2024.)
- [36] Dhor, P.S.: *The Mathematics behind Blockchain*, IEEE Blockchain Technical Briefs – Q3 2022., IEEE Blockchain Technical Community, 2022., <https://blockchain.ieee.org/images/files/pdf/techbriefs-2022-q3/the-mathematics-behind-blockchain.pdf> (pristupljeno 17.3.2024.)
- [37] Digital Container Shipping Association (DCSA):. *Commitment to accelerating digitalization of container trade – the electronic bill of lading*, 2023., https://dcsa-website.cdn.prismic.io/dcsa-website/65c35e239be9a5b998b57c85_100-percent-eb1-by-2030-commitment-statement.pdf (pristupljeno 5.5.2024.)
- [38] Ding, Q.; Gao, S.; Zhu, J.; Yuan, C.: *Permissioned Blockchain-Based Double-Layer Framework for Product Traceability System.*, IEEE Access, SAD, 8, 2020., str. 6209–6225.
- [39] Drescher, D.: *Blockchain Basics, A Non-Technical Introduction in 25 Steps*, Apress Berkeley CA, Germany, 2017.
- [40] Dujak, D.; Sajter, D.: *Blockchain Applications in Supply Chain*, SMART Supply Network, Springer, Cham, 2019., str. 21-46.
- [41] Dutta, P.; Choi, T.M.; Somani, S.; Butala, R.: *Blockchain technology in supply chain operations: Applications, challenges and research opportunities*, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Elsevier, UK, 142, 2020., članak 102067

- [42] EU Blockchain Observatory and Forum.: *The current state of interoperability between blockchain networks*, European Commission's Directorate General for Communications Networks, Content and Technology, 2023., https://blockchain-observatory.ec.europa.eu/system/files/2023-11/EUBOF_Interoperability%2520Report-30112023.pdf (pristupljeno 16.4.2024.)
- [43] Filipović, M.: *Blockchain tehnologija u prometu i pomorstvu*, Završni rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet, Rijeka, 2023.
- [44] Filipović, M.; Tijan, E.; Aksentijević, S.; Filipović, M.: *Blockchain for Secure and Transparent Maritime Supply Chains*, 2024 47th MIPRO ICT and Electronics Convention (MIPRO), Opatija, Hrvatska, IEEE, SAD, 2024., str. 1261-1265.
- [45] Gai, K.; Choo, R.; Zhu, L.: *Blockchain-enabled reengineering of cloud datacenters.*, IEEE Cloud Computing, IEEE, SAD, 5, 6, 2019., 21–25.
- [46] Ganne, E.: *Can Blockchain Revolutionize International Trade?*, World Trade Organization (WTO), Švicarska, 2018.
- [47] GeeksForGeeks.: *Byzantine Generals Problem in Blockchain*, kolovoz, 2022., <https://www.geeksforgeeks.org/byzantine-generals-problem-in-blockchain/> (pristupljeno 31.2.2024.)
- [48] George, K.: *Cryptocurrency regulations around the world*, Investopedia, siječanj, 2024., <https://www.investopedia.com/cryptocurrency-regulations-around-the-world-5202122> (pristupljeno 25.2.2024.)
- [49] Global Shipping Business Network (GSBN), <https://www.gsbn.trade/decarbonization> (pristupljeno 5.5.2024.)
- [50] Grand View Research.: *Blockchain Technology Market To Reach \$1,431.54 Billion By 2030*, siječanj, 2024., <https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-blockchain-technology-market> (pristupljeno 6.3.2024.)
- [51] Gu, J.; Sun, B.; Du, X.; Wang, J.; Zhuang, Y.; Wang, Z.: *Consortium blockchain-based malware detection in mobile devices*. IEEE Access, SAD, 6 2018., str. 12118–12128
- [52] Gurtu, A.; Johnny, J.: *Potential of blockchain technology in supply chain management: a literature review*, International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Emerald Publishing Limited, UK, 49, 9, 2019., str. 881-900.
- [53] Haber, S.; Stornetta, W.S.: *How to time-stamp a digital document.*, Journal of Cryptology, Springer, SAD, 3, 1991., str. 99–111.
- [54] Hacken, Bartosz, B.: *51% Attack: The Concept, Risks&Prevention*, Hacken, veljača, 2024., <https://hacken.io/discover/51-percent-attack/> (pristupljeno 22.6.2024.)

- [55] Han, D.; Zhang, C.; Ping, J.; Yan, Z.: *Smart Contract Architecture for Decentralized Energy Trading and Management Based on Blockchains.*, Energy, Elsevier, UK, 199, 2020., članak 117417.
- [56] Hankerson, D.; Menezes, A.: *Elliptic Curve Discrete Logarithm Problem*, 2nd ed., Encyclopedia of Cryptography and Security, Springer, Boston, MA, 2011, str. 397-400.
- [57] Hasan, H.; AlHadhrami, E.; AlDhaheri, A.; Salah, K.; Jayaraman, R.: *Smart Contract-Based Approach for Efficient Shipment Management.*, Computers & Industrial Engineering, Elsevier, UK, 136, 2019., str. 149–159.
- [58] Hetler, A.: *Cryptocurrency scams: Common types and prevention*, TechTarget, siječanj, 2024., <https://www.techtarget.com/whatis/feature/Common-cryptocurrency-scams> (pristupljeno 5.3.2024.)
- [59] Horizen Contributor.: *What is a P2P Network? Peer-to-Peer Networks*, Horizen Academy, veljača, 2023., <https://www.horizen.io/academy/peer-to-peer-networks-p2p/> (pristupljeno 2.4.2024.)
- [60] Howson, P.: *Building Trust and Equity in Marine Conservation and Fisheries Supply Chain Management with Blockchain.*, Marine Policy, Elsevier, UK, 115, 2020., članak 103873.
- [61] Huestis, S.: *Cryptocurrency's Energy Consumption Problem*, Rocky Mountain Institute, siječanj. 2023., <https://rmi.org/cryptocurrencys-energy-consumption-problem/> (pristupljeno 3.3.2024.)
- [62] Hughes, A.; Park, A.; Kietzmann, J.; Archer-Brown, C.: *Beyond Bitcoin: What blockchain and distributed ledger technologies mean for firms*, Elsevier, UK, Business Horizons, 62, 3, 2019., str. 273-281.
- [63] Humphreys, R.M.; Biju, N.O.; Tan, H.; Zhu, T.; Sargent, S.; Verhoeven, P.J.H.; Ollivier, P.R.G.: *Accelerating Digitalization: Critical Actions to Strengthen the Resilience of the Maritime Supply Chain.*, Mobility and Transport Connectivity (MTC) series, World Bank Group, SAD, 2020., <https://documents1.worldbank.org/curated/en/886091611731721594/pdf/Accelerating-Digitalization-Critical-Actions-to-Strengthen-the-Resilience-of-the-Maritime-Supply-Chain.pdf> (pristupljeno 21.4.2024.)
- [64] International Maritime Organization (IMO), *Blockchain for Maritime Decisionmakers Programme.*, rujanj., 2019., <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/About/Events/Documents/Blockchain%20f>

[or%20Maritime%20Decisionmakers%20Programme%20CL.pdf](#)

(pristupljeno

20.6.2024.)

- [65] International Organization for Standardization (ISO).: *ISO/TC 307 Blockchain and distributed ledger technologies*, 2017, <https://www.iso.org/committee/6266604.html>,. (pristupljeno 3.3.2024.)
- [66] Jović, M.; Tijan, E.; Žgaljić, D.; Aksentijević, S.: *Improving Maritime Transport Sustainability Using Blockchain-Based Information Exchange*, Sustainability, MDPI, Švicarska, 12, 21, 2020., članak 8866.
- [67] Kamble, S.; Gunasekaran, A.; Arha, H.: *Understanding the Blockchain Technology Adoption in Supply Chains-Indian Context.*, International Journal of Production Research, Taylor and Francis, UK, 57, 7, 2019., str. 2009–2033.
- [68] Kamble, S.S., Gunasekaran, A.; Sharma, R.: *Modeling the Blockchain Enabled Traceability in Agriculture Supply Chain.*, International Journal of Information Management, Elsevier, UK, 52, 2023., članak 101967.
- [69] Korpela, K.; Hallikas, J.; Dahlberg, T.: *Digital Supply Chain Transformation toward Blockchain Integration*, Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), Havaji, SAD 2017.
- [70] Kringelum, L. B.; Gjerding, A. N.; Løkke, S.; Pizzol, M.; Tsiulin, S.; Reinau, K. H.; Thygesen, J.; Jøker, L.: *Blockchain in Maritime Industries.*, Center for Logistik og Samarbejde, Aalborg University, Danska, 2021.
- [71] Kshetri, N.: *1 Blockchain's Roles in Meeting key Supply Chain Management Objectives.*, International Journal of Information Management, Elsevier, UK, 39, 2018., str. 80–89.
- [72] Lacey, M.; Lisachuk, H.; Giannopoulos, A.; Ogura, A.: *Shipping Smarter: IoT Opportunities in Transport and Logistics*, Deloitte University Press, rujana, 2015. https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/iot-in-shipping-industry/DUP1271_IoT_Transportation-and-Logistics_MASTER.pdf (pristupljeno 22.4.2024.)
- [73] Lam, J. S. L.; Wong, H.N.: *Analysing Business Models of Liner Shipping Companies.*, International Journal of Shipping and Transport Logistics, Inderscience Enterprises, UK, 10, 2, 2018., str. 237–256.
- [74] Lambourdiere, E.; Corbin, E.: *Blockchain and maritime supply-chain performance: dynamic capabilities perspective*, Worldwide Hospitality and Tourism Themes, Emerald Group Publishing, UK, 12, 1, 2020., str. 24-34.

- [75] Li, K.; Gharehgozli, A.; Ahuja, M.V.; Lee, J.Y.: *Blockchain in Maritime Supply Chain: A Synthesis Analysis of Benefits, Challenges and Limitations*, Journal of Supply Chain and Operations Management, Kalifornija, SAD, 18, 2, prosinac, 2020.
- [76] Li, L; Zhou, H.: *A survey of blockchain with applications in maritime and shipping industry*, Information Systems and e-Business Management, Springer Verlag, Germany 19, 2021., str. 789–807.
- [77] Liang, X.; Shetty, S.; Tosh, D.; Kamhoua, C.; Kwiat, K.; Njilla, L.: *Provchain: a blockchain-based data provenance architecture in cloud environment with enhanced privacy and availability.*, 17th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGRID), Madrid, Španjolska, IEEE Pres, SAD, 2017., str. 468–477.
- [78] Liu, J.; Zhang, H.; Zhen, L.: *Blockchain technology in maritime supply chains: applications, architecture and challenges*, International Journal of Production Research, Taylor and Francis, UK, 61, 11, 2021., str. 3547-3563.
- [79] Lu, Y.: *Blockchain: a survey on functions, applications and open issues.*, Journal of Industrial Integration and Management, World Scientific, Singapur, 3, 4, 2018.
- [80] Maersk.: *A.P. Moller – Maersk and IBM to discontinue TradeLens, a blockchain-enabled global trade platform*, studeni, 2022., <https://www.maersk.com/news/articles/2022/11/29/maersk-and-ibm-to-discontinue-tradelens> (pristupljeno 2.8.2024.)
- [81] Maersk.: *Major Ocean Carriers CMA CGM and MSC to Join TradeLens Blockchain-Enabled Digital Shipping Platform*, svibanj, 2019., <https://www.maersk.com/news/articles/2019/05/28/cma-cgm-and-msc-to-join-tradelens-digital-shipping-platform> (pristupljeno 20.5.2024.)
- [82] Manaadiar, H.: *Product Review: CargoX's Blockchain based Smart Bill of Lading*, Shipping and Freight Resource, listopad., 2018., <https://www.shippingandfreightresource.com/cargox-blockchain-based-smart-bill-of-lading/> (pristupljeno 14.6.2024.)
- [83] Marr, B.: *How Blockchain Will Transform the Supply Chain and Logistics Industry*, Forbes, ožujak, 2018., <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/03/23/how-blockchain-will-transform-the-supply-chain-and-logistics-industry/> (pristupljeno 20.4.2024.)
- [84] Monarch, J.: *Insight: Blockchain Can Ease Costs from New Maritime Fuel Regulations*, Bloomberg Law. veljača, 2020., <https://news.bloomberglaw.com/environment-and->

[energy/insight-blockchain-can-ease-costs-from-new-maritime-fuel-regulations](#)

(pristupljeno 24.4.2024.)

- [85] Morabito, V.: *Business Innovation Through Blockchain The B3 Perspective*, 1st ed., Springer International, Milano, Italija, 2017.
- [86] Nakamoto, S.: *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*, listopad, 2008., <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf> (pristupljeno 24.2.2024.)
- [87] Nayak, G.; Dhaigude, A.S.: *A conceptual model of sustainable supply chain management in small and medium enterprises using blockchain technology.*, Cogent Economics & Finance, Taylor and Francis, UK, 7, 1, 2019., str. 1–23.
- [88] Norton Rose Fulbright.: *2024 FinTech Outlook, Regulation of FinTech and crypto-assets*, veljača, 2024., <https://www.nortonrosefulbright.com/en/knowledge/publications/184ac2f1/2024-fintech-outlook> (pristupljeno 1.3.2024.)
- [89] NTT Data Corporation.: *International Trade Data Sharing Platform using Blockchain Technology*, ožujak, 2019., <https://at.nttdata.com/files/2020-en-broch-international-trade-data-sharing-platform-using-blockchain-technology.pdf> (pristupljeno 12.6.2024.)
- [90] Oláh, J.; Zoltan, Z.; Balogh, I.; Popp, J.: *Future challenges and areas of development for supply chain management*, LogForum, Poznan School of Logistics, Poljska, 14, 1, 2017., str. 127–138.
- [91] Olson, K.; Bowman, M.; Mitchell, J.; Amundson, S.; Middleton, D.; Montgomery, C.: *Sawtooth: An introduction*, Linux Foundation, siječanj, 2018., https://8112310.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/8112310/Hyperledger/Hyperledger_Sawtooth_WhitePaper.pdf (pristupljeno 25.2.2024.)
- [92] ORACLE CORPORATION, *Transformational Technologies: Today*, SAD, 2018., <https://www.oracle.com/us/solutions/cloud/tt-technologies-white-paper-4498079.pdf> (pristupljeno 10.4.2024.)
- [93] Organization for Economic Co-operation and Development (OECD):. *Peer to Peer Networks in OECD Countries*, OECD Digital Economy Papers, OECD Publishing, Francuska, 82, 2004.
- [94] Papadakis, M.; Kopanaki, E.: *Innovative Maritime Operations Management Using Blockchain Technology & Standardization*, Journal of ICT Standardization, River Publishers, Danska 10, 4, 2022., str. 469-508.

- [95] Philipp, R.; Prause, G.; Gerlitz, L.: *Blockchain and Smart Contracts for Entrepreneurial Collaboration in Maritime Supply Chains.*, Transport and Telecommunication, Transport and Telecommunication Institute, Latvija, 20, 4, 2019., str. 365–378.
- [96] Pope, S.: *Blockchain to Be a Gamechanger for Global Shipping*, Forbes, listopad, 2019., <https://www.forbes.com/sites/stephenpope/2019/10/16/blockchain-to-be-a-gamechanger-for-global-shipping/> (pristupljeno 30.4.2024.)
- [97] Popper, N.; Lohr, S.: *Blockchain: A Better Way to Track Pork Chops, Bonds, Bad Peanut Butter*, New York Times, ožujak, 2017., <https://www.nytimes.com/2017/03/04/business/dealbook/blockchain-ibm-bitcoin.html> (pristupljeno 22.4.2024.)
- [98] Port Technology Team.: *Port of Rotterdam Unveils Pin-Free Blockchain Container Handling Pilot*, Port Technology International, srpanj, 2020., <https://www.porttechnology.org/news/port-of-rotterdam-unveils-pin-free-blockchain-container-handling-pilot/> (pristupljeno 25.5.2024.)
- [99] PR Newswire.: *Maersk and IBM Introduce TradeLens Blockchain Shipping Solution*, kolovoz, 2018., <https://www.prnewswire.com/news-releases/maersk-and-ibm-introduce-tradelens-blockchain-shipping-solution-300694642.html> (pristupljeno 28.4.2024.)
- [100] PSA International (PSA), *PSA, PIL And IBM Conclude a Successful Blockchain Trial Along the Southern Trade Corridor (STC)*, veljača, 2018., <https://www.globalpsa.com/wp-content/uploads/nr180223.pdf> (pristupljeno 3.6.2024.)
- [101] Pu, S.; Lam, J.S.L.: *Blockchain adoptions in the maritime industry: a conceptual framework*, Maritime Policy & Management, Taylor and Francis, UK, 48, 6, 2021., str. 777-794
- [102] Rajbhandari, R.: *Future of Logistics Workflow Automation Using AI and Smart Contracts*, dexFreight, rujan, 2021., <https://www.dexfreight.io/future-of-logistics-workflow-automation-using-ai-and-smart-contracts-2/> (pristupljeno 1.6.2024.)
- [103] Rao, S.; Gulley, A.; Russell, .; Patton, J.: *On the quest for supply chain transparency through Blockchain: Lessons learned from two serialized data projects*, Journal of Business Logistics, John Wiley & Sons Inc., SAD, 42, 1, 2021., str. 88–100.
- [104] Saberi, S.; Kouhizadeh, M.; Sarkis, J.; Shen, L.: *Blockchain Technology and its Relationships to Sustainable Supply Chain Management.*, International Journal of Production Research, Taylor and Francis, UK, 57, 7, 2019., str. 2117–2135.

- [105] Schmidt, J.: *Why Does Bitcoin Use so Much Energy?* Forbes Advisor, svibanj, 2022., <https://www.forbes.com/advisor/investing/cryptocurrency/bitcoins-energy-usage-explained/> (15.3.2024.)
- [106] Seo, Y.-J.; Dinwoodie, J.; Roe, M.: *Measures of Supply Chain Collaboration in Container Logistics*, Maritime Economics & Logistics, Palgrave Macmillan, UK, 17, 3, 2015., str. 292-314.
- [107] Sherman, A. T.; Javani, F.; Zhang, H.; Golaszewski, E.: *On the Origins and Variations of Blockchain Technologies.*, IEEE Security Privacy, IEEE, SAD, 17, 1, 2019., str. 72–77.
- [108] Shin, S. H.; Kwon, O.K.; Ruan, X.; Chhetri, P.; Lee, P.T.W.; Shahparvaril, S.: *Analyzing Sustainability Literature in Maritime Studies with Text Mining*, Sustainability, MDPI, Švicarska, 10, 10, 2018., članak 3522.
- [109] ShipTechnology.: *How the eBL is shaping the future of shipping*, lipanj, 2024., <https://www.ship-technology.com/comment/how-the-ubl-is-shaping-the-future-of-shipping/> (pristupljeno 30.6.2024.)
- [110] Shirani, A.: *Blockchain for global maritime logistics*, International Association for Computer Information Systems, Issues in Information Systems, SAD, 19, 3, 2018., str. 175-183.
- [111] Sia Partners, Global Shipping Business Network (GSBN):. *Impact of Digitalization in Driving Decarbonization in the Shipping Industry*, travanj, 2024., https://www.gsbn.trade/files/ugd/ac729f_421e587f04354a2b9ad5d00f1bcc5053.pdf (pristupljeno 1.5.2024.)
- [112] Sidorov, M.; Ong, M.T.; Sridharan, R.V.; Nakamura, J.; Ohmura, R.; Khor, J.H.: *Ultralightweight Mutual Authentication RFID Protocol for Blockchain Enabled Supply Chains*. IEEE Access, SAD, 7, 2019., str. 7273–7285.
- [113] Southurst, J.: *How blockchain contracts and IOT could save global shipping billions.*, Bitcoin.com, studeni, 2016., <https://news.bitcoin.com/blockchain-save-global-shipping-billions/> (pristupljeno 30.4.2024.)
- [114] Stevens, L.; Sys, C.; Vanelslander, T; VanHassel, E.: *Is New Emission Legislation Stimulating the Implementation of Sustainable and Energy-efficient Maritime Technologies?*, Research in Transportation Business & Management, Elsevier B.V., Nizozemska, 17, 1, 2015., str. 14-25.

- [115] Tabatabaei, M.H.; Vitenberg, R.; Veeraragavanm N.R.: *Understanding blockchain: Definitions, architecture, design, and system comparison.*, Computer Science Review, Elsevier Ireland, Irska, 50, 2023., članak 100575.
- [116] Texas A&M Transportation Institute, *The Port Community of Veracruz Launches a Blockchain Initiative to Improve Port Operations*, studeni, 2018., <https://tti.tamu.edu/news/the-port-community-of-veracruz-launches-a-blockchain-initiative-to-improve-port-operations/> (pristupljeno 28.5.2024.)
- [117] The Maritime Executive.: *2020 World Maritime Theme Focuses on Sustainability.*, srpanj, 2019., <https://maritime-executive.com/article/2020-world-maritime-theme-focuses-on-sustainability> (pristupljeno 16.6.2024.)
- [118] The Maritime Executive.: *First Cargo Community System Integration of Blockchain Technology.* lipanj, 2019. <https://maritime-executive.com/article/first-cargo-community-system-integration-of-blockchain-technology> (pristupljeno 1.6.2024.)
- [119] Tipping, A.; Kauschke, P.: *Shifting Patterns, The future of the logistics industry*, PwC, 2016, <https://www.pwc.com/gx/en/transportation-logistics/pdf/the-future-of-the-logistics-industry.pdf> (pristupljeno 18.6.2024.)
- [120] Toti B.: *dexFreight granted patent to bring DeFi to the supply chain*, CoinJournal, travanj, 2023., <https://coinjournal.net/news/dexfreight-granted-patent-to-bring-defi-to-the-supply-chain/> (pristupljeno 30.5.2024.)
- [121] Tsiulin, S.; Reinau, K. H.; Hilmola, O-P.; Goryaev, N.; Mostafa, A.: *Blockchain-based applications in shipping and port management: a literature review towards defining key conceptual frameworks.*, Review of International Business and Strategy, Emerald Group Publishing, UK, 30, 2, 2020., str. 201-224.
- [122] Tyson, J.: *How the Old Napster Worked*, listopad, 2000., <https://computer.howstuffworks.com/napster.htm> (pristupljeno 30.2.2024.)
- [123] United Nations Commission on International Trade Law (UNCITRAL), *Recognizing and Preventing Commercial Fraud: Indicators of Commercial Fraud*, United Nations, Austrija, 2013.
- [124] Viriyasitavat, W.; Danupol, H.: *Blockchain characteristics and consensus in modern business processes.*, Journal of Industrial Information Integration, Elsevier, Danska, 13, 2019., str. 32-39.
- [125] Vujičić, S.; Hasanspahić, N.; Car, M.; Čampara, L.: *Distributed Ledger Technology as a Tool for Environmental Sustainability in the Shipping Industry.*, Journal of Marine Science and Engineering, MDPI, Švicarska, 8, 5, 2020., članak 366.

- [126] Wang, Y.; Han, J.H.; Beynon-Davies, P.: *Understanding Blockchain Technology for Future Supply Chains: A Systematic Literature Review and Research Agenda.*, Supply Chain Management, Emerald Group Publishing, UK, 24, 103, 2019., str. 62–84.
- [127] Westergaard-Kabelmann, T.: *Mumbai Transport Study Highlights TradeLens Value*, Tradelens, studeni, 2019., <https://www.tradelens.com/post/mumbai-transport-study-highlights-tradelensvalue> (pristupljeno 10.4.2024.)
- [128] Wikipedia contributors, *Elliptic-Curve Cryptography*, Wikipedia, The Free Encyclopedia, kolovoz, 2024., https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Elliptic-curve_cryptography&oldid=1238100529 (pristupljeno 5.8.2024.)
- [129] Wikipedia contributors.: *Abelian group*, Wikipedia, The Free Encyclopedia, kolovoz, 2024., https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Abelian_group&oldid=1242435586 (pristupljeno 28.8.2024.)
- [130] Wikipedia contributors.: *Hash chain*, Wikipedia, The Free Encyclopedia, svibanj, 2024., https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Hash_chain&oldid=1223266214 (pristupljeno 25.8.2024.)
- [131] Wikipedia contributors.: *Hash list*, Wikipedia, The Free Encyclopedia, svibanj, 2024. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Hash_list&oldid=1223666485 (pristupljeno 18.8.2024.)
- [132] Wikipedia contributors.: *Merkle tree*, Wikipedia, The Free Encyclopedia, srpanj, 2024., https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Merkle_tree&oldid=1237218566 (pristupljeno 1.8.2024.)
- [133] World Meteorological Organization (WMO), *The Global Climate 2011-2020: A decade of accelerating climate change*, Švicarska, 2023., https://library.wmo.int/viewer/68585/download?file=1338_Decadal_State_Climate-HG_en.pdf&type=pdf&navigator=1 (pristupljeno 7.8.2024.)
- [134] Xu, L.; Viryasitavat, W.: *Application of blockchain in collaborative Internet of Things services*, IEEE Transactions on Computational Social Systems, IEEE, SAD, 6, 6, 2019., str. 1296-1305.
- [135] Xu, X.; Zhang, M.; Dou, G.; Yu, Y.: *Coordination of a Supply Chain with an Online Platform Considering Green Technology in the Blockchain era.*, International Journal of Production Research, Taylor and Francis, UK, 61, 11, 2021., str. 3793-3810.
- [136] Ying, W.; Jia, S.; Du, W.: *Digital Enablement of Blockchain: Evidence from HNA Group.*, International Journal of Information Management, Elsevier, UK, 39, 2018., str. 1–4.

- [137] Yuen, K. F.; Thai, V.; *Barriers to Supply Chain Integration in the Maritime Logistics Industry*, Maritime Economics & Logistics, Palgrave Macmillan, UK, 19, 3, 2017., str. 551-572.
- [138] Zeeshan, R.; Woxenius, J.; Vural, C.A.; Lind, M.: *Digital transformation of maritime logistics: Exploring trends in the liner shipping segment*, Computers in Industry, Elsevier, Nizozemska, 145, 2023., članak 103811.
- [139] Zhang, X.; Sun, P.; Xu, J.; Wang, X.; Yu, J.; Zhao, Z.; Dong, Y.: *Blockchain-Based Safety Management System for the Grain Supply Chain*, IEEE Access, IEEE, SAD, 8, 2020., str. 36398–36410.
- [140] Vanshvyas.: *Single Source of Truth*, Coinmonks, Medium, ožujak, 2022., <https://medium.com/coinmonks/single-source-of-truth-90ed0378c3c1> (pristupljeno 14.3.2024.)

POPIS SLIKA

Slika 1. Članci vezani za blockchain [76]	4
Slika 2. Vrste P2P sustava [59]	6
Slika 3. Jednostavan primjer Merkleovog stabla [26]	11
Slika 4. Grafička shema osnovnih kriptografskih konceptata [39].....	12
Slika 5. Grafička shema asimetrične kriptografije [39].....	12
Slika 6. Eliptična krivulja s P i Q točkama [36]	14
Slika 7. Sastav blokova i Merkleovog stabla (uz međusobnu povezanost) [93]	17
Slika 8. Shema <i>hash</i> slagalice [39].....	18
Slika 9. Vrste blockchain sustava [140]	23
Slika 10. Ukupna vrijednost ukradena u <i>kripto-napadima</i> i broj napada, 2016.-2022. [24]27	
Slika 11. Izlazni segment logistike kontejnerskih brodova [110]	32
Slika 12. Ulazni segment logistike kontejnerskih brodova [110].....	32
Slika 13. Nedostatci pomorskih lanaca opskrbe [78]	37
Slika 14. Pametni ugovori u sveukupnom procesu upravljanja BMSCS-a [78]	40
Slika 15. Primjene blockchain tehnologije u BMSCS-u [78].....	42
Slika 16. Struktura BMSCS-a [78]	45
Slika 17. Princip rada <i>dexFreighta</i> [102]	48
Slika 18. Vizualizacija prijenosa dokumenata putem <i>CargoX</i> platforme [82].....	53

POPIS KRATICA

BMSCS (engl. <i>Blockchain based Maritime Supply Chain System</i>)	sustav pomorskog opskrbnog lanca baziran na blockchainu
BoL (engl. <i>Bill of Lading</i>)	teretni list
CCS (engl. <i>Cargo Community System</i>)	sustav teretne zajednice
CEE (engl. <i>Central and Eastern Europe</i>)	centralna i istočna Europa
CO ₂ (engl. <i>Carbon Dioxide</i>)	ugljičkov dioksid
CO _{2e} (engl. <i>Carbon Dioxide equivalent</i>)	ekvivalent ugljikovog dioksida
DLT (engl. <i>Distributed Ledger Technology</i>)	tehnologija distribuirane glavne knjige
eBL (engl. <i>electronic Bill of Lading</i>)	elektronički teretni list
ECC (engl. <i>Elliptic Curve Cryptography</i>)	kriptografija eliptičnih krivulja
ECDLP (engl. <i>Elliptic Curve Discrete Logarithmic Problem</i>)	diskretni logaritamski problem eliptične krivulje
ECDSA (engl. <i>Elliptic Curve Digital Signature Algorithm</i>)	digitalni algoritam potpisa eliptične krivulje
ERP (engl. <i>Enterprise Resource Planning</i>)	upravljanje resursima poduzeća
EU (engl. <i>European Union</i>)	Europska unija
IAPH (engl. <i>International Association of Ports and Harbors</i>)	Međunarodna asocijacija luka i pristaništa
IEEE (engl. <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>)	Institut inženjera elektrotehnike i elektronike
IMO (engl. <i>International Maritime Organization</i>)	Međunarodna pomorska organizacija
IoT (engl. <i>Internet of Things</i>)	Internet stvari
ISO (engl. <i>International Organization for Standardization</i>)	Međunarodna organizacija za standardizaciju
IT (engl. <i>Information Technology</i>)	informatička tehnologija
ITU (engl. <i>International Telecommunication Union</i>)	Međunarodne telekomunikacijske unije
NO _x (engl. <i>Nitric Oxide</i>)	dušikov oksid
PCS (engl. <i>Port Community System</i>)	sustav lučke zajednice
PoC (engl. <i>Proof of Concept</i>)	dokaz o konceptu

PoS (engl. <i>Proof of Stake</i>)	dokaz o udjelu
PoW (engl. <i>Proof of Work</i>)	dokaz o radu
PoX (engl. <i>Proof of X</i>)	dokaz o x
P2P (engl. <i>Peer to peer</i>)	isti s istim / ravnopravno
RFID (engl. <i>Radio-Frequency Identification</i>)	radio-frekvencijska identifikacija
R&D (engl. <i>Research and Development</i>)	istraživanja i razvoj
SAD (engl. <i>United States of America</i>)	Sjedinjene Američke Države
SOLAS (engl. <i>International Convention for the Safety of Life at Sea</i>)	Međunarodna konvencija o zaštiti ljudskih života na moru
SWIFT (engl. <i>Society for Worldwide Interbank Financial Telecommunication</i>)	Društva za svjetske međubankarske financijske komunikacije
TEU (engl. <i>twenty-foot equivalent unit</i>)	jedinica ekvivalentna dvadeset stopa
UNECE (engl. <i>United Nations Economic Commission for Europe</i>)	Ekonomске komisije Ujedinjenih naroda za Europu
WCO (engl. <i>World Customs Organization</i>)	Svjetska carinska organizacija
WTO(engl. <i>World Trade Organization</i>)	Svjetska trgovinska organizacija