

# Međuovisnost razvoja tehnologije i multimodalnog transporta

---

**Valjak, Doroteja**

**Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Economics and Business / Sveučilište u Zagrebu, Ekonomski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:148:604979>

*Rights / Prava:* [Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported/Imenovanje-Nekomercijalno-Dijeli pod istim uvjetima 3.0](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-20**



*Repository / Repozitorij:*

[REPEFZG - Digital Repository - Faculty of Economics & Business Zagreb](#)



**Sveučilište u Zagrebu**  
**Ekonomski fakultet**  
**Stručni diplomski studij, Menadžment i marketing maloprodaje**

**MEĐUOVISNOST RAZVOJA TEHNOLOGIJE I  
MULTIMODALNOG TRANSPORTA**

**Diplomski rad**

**Doroteja Valjak**

**Zagreb, rujan 2024.**

**Sveučilište u Zagrebu**  
**Ekonomski fakultet**  
**Stručni diplomski studij, Menadžment i marketing maloprodaje**

**MEĐUOVISNOST RAZVOJA TEHNOLOGIJE I MULTIMODALNOG  
TRANSPORTA**

**INTERDEPENDENCE OF TECHNOLOGY DEVELOPMENT AND  
MULTIMODAL TRANSPORT**

**Diplomski rad**

**Student: Doroteja Valjak, 0067609722**

**Mentor: Izv. prof. dr. sc. Dora Naletina**

**Zagreb, rujan 2024.**



Sveučilište u Zagrebu  
Ekonomski fakultet



## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada, te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

---

(mjesto i datum)

---

(vlastoručni potpis studenta)

## SAŽETAK

Rad istražuje međusobnu povezanost razvoja tehnologije i multimodalnog transporta, s posebnim naglaskom na primjenu naprednih informacijsko-komunikacijskih tehnologija (ICT), Interneta stvari (IoT), umjetne inteligencije (AI) i blockchain tehnologije u optimizaciji transportnih procesa. Cilj rada je analizirati kako ove tehnologije doprinose poboljšanju efikasnosti, sigurnosti i transparentnosti multimodalnog transporta, kao i identificirati ključne izazove s kojima se suočava ovaj sektor, uključujući regulatorne prepreke i nedostatak standardizacije. Rad također razmatra buduće perspektive razvoja, uključujući digitalizaciju i automatizaciju transportnih procesa, što će omogućiti održiviji i učinkovitiji globalni logistički sustav.

**Ključne riječi:** multimodalni transport, tehnološke inovacije, efikasnost, sigurnost.

## ABSTRACT

The work explores the interrelationship between technology development and multimodal transport, with a special emphasis on the application of advanced information and communication technologies (ICT), the Internet of Things (IoT), artificial intelligence (AI) and blockchain technology in the optimization of transport processes. The aim of the paper is to analyze how these technologies contribute to improving the efficiency, safety and transparency of multimodal transport, as well as to identify the key challenges facing this sector, including regulatory obstacles and lack of standardization. The paper also considers future development perspectives, including digitization and automation of transport processes, which will enable a more sustainable and efficient global logistics system.

**Key words:** multimodal transport, technological innovations, efficiency, safety.

## SADRŽAJ

SAŽETAK.....	I
ABSTRACT .....	I
1. UVOD .....	6
1.1. Predmet i cilj rada.....	6
1.2. Izvori podataka i metode prikupljanja podataka.....	6
1.3. Sadržaj i struktura rada .....	2
2. OPĆENITO O MULTIMODALNOM TRANSPORTU .....	3
2.1. Povijesni razvoj multimodalnog transporta .....	3
2.2. Ključni pojmovi multimodalnog transporta .....	6
2.3. Dokumentacija i standardi u multimodalnom transportu .....	9
3. MULTIMODALNE TRANSPORTNE TEHNOLOGIJE .....	12
3.1. Općenito o multimodalnim transportnim tehnologijama.....	12
3.2. Informacijsko-komunikacijska tehnologija i multimodalne transportne tehnologije	15
3.3. Internet stvari i multimodalne transportne tehnologije.....	19
3.4. Umjetna inteligencija i multimodalne transportne tehnologije .....	21
3.5. Blockchain tehnologija i multimodalne transportne tehnologije.....	25
4. IZAZOVI I PERSPEKTIVE MULTIMODALNOG TRANSPORTA .....	29
4.1. Izazovi u implementaciji multimodalnog transporta .....	29
4.2. Primjeri najboljih praksi i studije slučaja .....	32
4.2.1. Primjeri iz pomorskog sektora i lučke industrija .....	32
4.2.2. Primjeri iz avio industrije .....	35
4.3. Budući trendovi i smjerovi razvoja .....	38
5. ZAKLJUČAK .....	40
POPIS LITERATURE .....	41
POPIS SLIKA .....	45
ŽIVOTOPIS .....	46

## **1. UVOD**

U suvremenom globaliziranom svijetu, transport robe igra ključnu ulogu u održavanju dinamike svjetske trgovine i ekonomije. S porastom međunarodne trgovine i složenosti lanaca opskrbe, potreba za efikasnim i pouzdanim transportnim rješenjima postaje sve izraženija. Multimodalni transport, kao integrirani sustav koji koristi različite oblike prijevoza za dostavu robe od početne do krajnje točke, odgovor je na tu sveprisutnu potrebu. Ova metoda transporta, koja kombinira cestovni, željeznički, pomorski i zračni prijevoz, nudi brojne prednosti u odnosu na tradicionalne, jednomodalne pristupe, uključujući smanjenje troškova, povećanje efikasnosti i smanjenje emisije štetnih plinova.

Razvoj informacijsko-komunikacijskih tehnologija (ICT), umjetne inteligencije (AI) i blockchain tehnologije otvorio je nove mogućnosti za unaprjeđenje i optimizaciju multimodalnog transporta. Ove tehnologije ne samo da omogućuju bolje praćenje i upravljanje teretom, već i pružaju nove načine za povećanje transparentnosti, sigurnosti i pouzdanosti lanaca opskrbe. Međutim, unatoč ovim naprecima, multimodalni transport i dalje se suočava s brojnim izazovima, uključujući regulatorne prepreke, nedostatak standardizacije i poteškoće u implementaciji novih tehnoloških rješenja. Rad teži dubinskom istraživanju multimodalnog transporta, analizirajući njegove ključne aspekte, tehnološke inovacije, kao i izazove i mogućnosti za budući razvoj.

### **1.1. Predmet i cilj rada**

Predmet rada predstavlja analiza multimodalnog transporta, koji kombinira različite vrste transporta za optimizaciju prijevoza robe, uz fokus na primjenu informacijsko-komunikacijskih tehnologija, Interneta stvari, umjetne inteligencije, strojnog učenja i blockchain tehnologije. Cilj rada je istražiti kako navedene tehnologije doprinose efikasnosti, sigurnosti i transparentnosti multimodalnog transporta uz identifikaciju i analizu izazova.

### **1.2. Izvori podataka i metode prikupljanja podataka**

Metodologija istraživanja uključuje analizu sekundarnih podataka iz znanstvenih časopisa, industrijskih izvještaja, službenih dokumenata i studija slučaja. U okviru diplomskog rada, studije slučaja će se koristiti za ilustraciju kako se multimodalni transportni sustavi primjenjuju u praksi te kako različite tehnologije unaprjeđuju efikasnost i efektivnost tih sustava. Prilikom analize prikupljenih sekundarnih podataka koristit će se metoda deskripcije za opisivanje

osnovnih karakteristika multimodalnog transporta. Metoda analize primijenit će se za analizu prikupljenih podataka iz sekundarnih izvora. Kvalitativna analiza koristit će se za proučavanje studija slučaja koje će ilustrirati primjenu različitih tehnologija u multimodalnom transportu. Kvantitativna metoda primijenit će se za analizu dostupnih statističkih podataka i usporedbu najboljih praksi u industriji. Komparativna analiza bit će korištena za usporedbu različitih tehnoloških inovacija i njihove primjene u multimodalnom transportu.

### **1.3. Sadržaj i struktura rada**

U prvom dijelu, predmet i cilj rada jasno definiraju fokus istraživanja, odnosno analizu multimodalnog transporta i primjenu naprednih tehnologija u tom kontekstu. Nadalje, izvori podataka i metode prikupljanja podataka objašnjavaju korištenje sekundarnih izvora, kao što su znanstveni časopisi, industrijski izvještaji i službeni dokumenti, kao i studije slučaja za ilustraciju praktičnih primjena. Sadržaj i struktura rada daje pregled organizacije rada, uključujući glavne teme koje će biti obrađene.

Drugi dio rada pruža općeniti pregled multimodalnog transporta, uključujući povijesni razvoj ove vrste transporta, ključne pojmove te dokumentaciju i standarde koji se primjenjuju. Ovaj dio pomaže u razumijevanju temelja multimodalnog transporta i njegove evolucije kroz vrijeme. Treći dio istražuje različite tehnologije koje se koriste u multimodalnom transportu. Opći pregled ovih tehnologija prati detaljna analiza specifičnih tehnoloških rješenja, uključujući informacijsko-komunikacijske tehnologije, Internet stvari, umjetnu inteligenciju i blockchain tehnologiju. Svaka od ovih tehnologija bit će detaljno istražena s naglaskom na njihov utjecaj na efikasnost, sigurnost i transparentnost multimodalnog transporta.

Četvrti dio fokusira se na izazove i perspektive multimodalnog transporta. Analiziraju se glavne prepreke u implementaciji multimodalnih rješenja, nakon čega slijedi pregled primjera najboljih praksi i studija slučaja. Također, ovaj dio razmatra buduće trendove i smjerove razvoja, pružajući uvid u potencijalne inovacije i poboljšanja u industriji.

Zaključni dio rada sažima ključne nalaze istraživanja, naglašavajući glavne točke i preporuke za buduću praksu i istraživanje. Zaključak također razmatra opće doprinose rada te identificira područja koja bi mogla biti predmet daljnjih istraživanja.



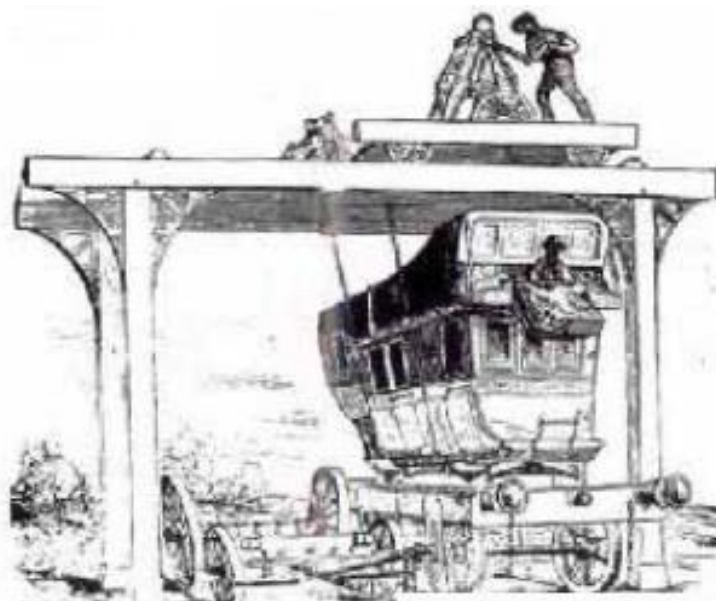
## 2. OPĆENITO O MULTIMODALNOM TRANSPORTU

### 2.1. Povijesni razvoj multimodalnog transporta

Koncept multimodalnog transporta nije nov. Još u sedamnaestom stoljeću, poznati francuski pisac opisao je kako se njegova kočija s konjskom zapregom ukrcala na teglenicu i plovila niz rijeku Rhone 400 km kako bi izbjegla neravan put na tada nerazvijenoj cestovnoj mreži. Ovo je bio rani primjer onoga što će kasnije postati poznato kao "roll-on/roll-off" (Ro-Ro) transport. Međutim, moderni multimodalni transport doživio je svoj pravi početak s razvojem željeznica. Na prvim željeznicama 1830-ih godina, kočije s konjskom zapregom bile su odvojene od svojih kotača i ukrcane na ravne vagone ili pričvršćene na podvozja, što je omogućavalo putnicima da nastave svoje putovanje bez potrebe za presjedanjem. Ova inovacija, iako revolucionarna, naišla je na žestok otpor u nekim gradovima, što je dovelo do njenog brzog nestanka (ESCAP, 2004).

Na slici je prikazana ilustracija iz 19. stoljeća koja prikazuje proces utovara kočije s konjskom zapregom na željeznički vagon. Kočija je podignuta pomoću dizalice ili sličnog mehaničkog uređaja, a radnici na vrhu strukture nadziru proces. Kotači kočije su uklonjeni kako bi se omogućilo lakše smještanje na ravni vagon. Ova metoda omogućavala je putnicima da nastave svoje putovanje bez potrebe za presjedanjem iz kočije u vagon, što je bilo značajno poboljšanje u tadašnjim transportnim metodama (ESCAP, 2004).

Slika 1. Utovar kočije s konjskom zapregom na željeznički vagon



Izvor: ESCAP, (2004)

Što se tiče transporta tereta, transport kontejnera ili unitarizacija započela je na željeznicama čak prije Prvog svjetskog rata. U Francuskoj su ovi "okviri" bili čvrste drvene kutije dimenzija otprilike 2 x 2 x 2 metra, koje su bile višekратно upotrebljive i nosile su robu, uglavnom selidbe, od vrata do vrata. Neki od tih okvira mogu se vidjeti u Francuskom muzeju transporta. Rana trimodalna kombinacija cestovnog, željezničkog i pomorskog transporta između Pariza i Londona, koja je prometovala preko Calaisa i Dovera, postojala je neposredno prije Prvog svjetskog rata. Godine 1933. ove međunarodne inicijative dovele su do osnivanja Međunarodnog kontejnerskog biroa od strane ICC-a, oba tijela smještena u Parizu, s ciljem senzibiliziranja poslovne zajednice za razvoj međunarodnog, a time i intermodalnog transporta te njegovih praktičnih aspekata (OECD, 2001).

Posebna francuska tvrtka, CNC, osnovana je 1948. godine s flotom čeličnih "okvira" koji su omogućavali prijevoz do svih zemalja povezanih s Francuskom. Ova inovacija bila je ključna u standardizaciji i olakšavanju međunarodnog transporta, jer su čelični okviri omogućavali sigurniji i učinkovitiji prijenos robe preko granica, smanjujući potrebu za pretovarom i manipulacijom teretom (OECD, 2001).

Slika 2. Pretovar sa brodova na vlak



Izvor: ESCAP, (2004)

Prava revolucija u multimodalnom transportu započela je kada je operater cestovnog transporta, Malcolm MacLean, želio prevladati prepreke različitih zakona o kamionima u pedeset saveznih država Sjedinjenih Američkih Država. Kamioni koji su prelazili državne granice trebali su onoliko registarskih pločica koliko su država prelazili, a dozvoljene dimenzije i specifikacije su varirale. Korištenje sustava traktora i prikolica pomoglo je u prelasku državnih granica bez rukovanja robom, ali ne svugdje. Početkom 1950-ih, neki cestovni operateri su stavljali svoje prikolice na željezničke ravne vagone kako bi izbjegli te prepreke. Malcolm MacLean, podsjetivši se svoje frustracije iz 1930-ih zbog vremena izgubljenog tijekom lučkih operacija, razmišljao je o ovom problemu. Postavljanjem prikolica na brod bez iskrcavanja uštedjelo bi se vrijeme, a plovidba uz obalu mogla bi izbjeći te prepreke. Međutim, uskoro je otkrio da su kotači i podvozje prikolica nepotreban teret na brodu. Osmislio je šasiju na koju je pričvrstio kontejner, ekvivalentan prikolici maksimalne veličine dopuštene tada na američkim cestama (35' x 8' x 8') i započeo prvi pravi multimodalni, domaći transport iz New Jerseyja do Texasa 26. travnja 1956. godine, na palubi preuređenog tankera. Kao završni dodir svojoj inovaciji, njegovi sljedeći brodovi imali su brodske dizalice za kontejnere, kao i ćelije u skladištima gdje su se kontejneri mogli slagati jedan na drugi i sigurno smjestiti u lošem vremenu (ESCAP, 2004).

Drugi su prihvatili ovu ideju. Prvi prelazak Pacifika, iako još uvijek domaći, dogodio se 1958. godine, od San Francisca do Havaja, godine kada je dopuštena dužina prikolice povećana na 40 stopa. Prvi međunarodni multimodalni transport pokrenut je 1960. godine između Sjedinjenih Američkih Država i Venezuele. Međutim, dogovoreni datum potpune revolucije je travanj 1966. godine, s dolaskom prvog potpuno ćelijskog kontejnerskog broda iz preko Atlantika u Rotterdam, čime je Europa bila tjednima bliža Sjedinjenim Američkim Državama (OECD, 2001).

Pružajući tako sigurne lance dugotrajnog transporta, kontejnerizacija potpomognuta olakšanjem stvorila je ono što danas poznajemo kao multimodalni transport. Razvoj ove inovacije nije samo značajno unaprijedio logističku efikasnost, već je također preoblikovao globalnu trgovinu. Kontejnerizacija je omogućila brži, sigurniji i jeftiniji prijenos robe na velike udaljenosti. Time je smanjena potreba za višestrukim pretovarom, što je ranije bio glavni izvor kašnjenja i dodatnih troškova. Osim toga, standardizacija veličine i oblika kontejnera omogućila je lakoću prijenosa između različitih transportnih sredstava – od brodova do vlakova i kamiona – bez potrebe za promjenom sadržaja (ESCAP, 2004).

Ovaj napredak omogućio je i razvoj specijaliziranih lučkih infrastruktura, poput kontejnerskih terminala s dizalicama koje mogu brzo i efikasno rukovati velikim brojem kontejnera. Time je povećana propusnost luka i smanjeni su operativni troškovi. Sve ove promjene dovele su do globalnog ekonomskog rasta, omogućujući bržu distribuciju proizvoda i smanjenje troškova za krajnje potrošače. Ova revolucija u transportu također je potaknula daljnje inovacije u skladištenju i praćenju tereta. Uvođenje kontejnera potaknulo je razvoj naprednih informacijskih sustava za praćenje i upravljanje teretom, što je dodatno povećalo sigurnost i efikasnost cijelog transportnog lanca. Danas, zahvaljujući ovoj revoluciji, multimodalni transport predstavlja temelj globalne logistike, omogućavajući brzo, sigurno i ekonomično premještanje robe diljem svijeta (ESCAP, 2004).

## **2.2. Ključni pojmovi multimodalnog transporta**

U posljednjih nekoliko godina, mnogo je radova i istraživanja provedeno kako bi se uspostavilo bolje razumijevanje multimodalnog transporta, kako s akademske tako i s praktične točke gledišta. Bektas i Crainic (2007) navode da multimodalni transport teži integraciji različitih usluga i načina prijevoza kako bi se poboljšala učinkovitost, što je suprotno konvencionalnom prijevozu u kojem različiti sustavi prijevoza funkcioniraju neovisno. Tijekom godina, u literaturi i industriji kružili su različiti termini: multimodalni, intermodalni, ko-modalni i sinkro-modalni transport.

Multimodalni transport se odnosi na prijevoz robe slijedom najmanje dva različita načina prijevoza (Zelenika, 2006). Ovaj pristup omogućava fleksibilnost i efikasnost u logističkim operacijama, jer koristi prednosti različitih načina prijevoza kako bi se optimizirala ruta i troškovi prijevoza. Na primjer, roba može biti prevezena kamionom do luke, zatim brodom do druge luke, i konačno željeznicom do krajnje destinacije. Takva kombinacija načina prijevoza omogućava maksimalno iskorištavanje prednosti svakog pojedinog načina prijevoza, čime se smanjuju ukupni troškovi i vrijeme transporta.

Intermodalni transport, kao vrsta multimodalnog transporta, specifičan je po tome što se teret prevozi od izvorišta do odredišta u istoj intermodalnoj transportnoj jedinici bez rukovanja samom robom prilikom promjene načina prijevoza. To znači da se teret, primjerice kontejner, ne otvara i ne prepakira tijekom cijelog puta, što smanjuje rizik od oštećenja ili gubitka robe te povećava sigurnost i efikasnost transportnog procesa. Intermodalni transport je posebno važan

u međunarodnoj trgovini, gdje je potrebno preći velike udaljenosti koristeći različite načine prijevoza (Zelenika, 2006).

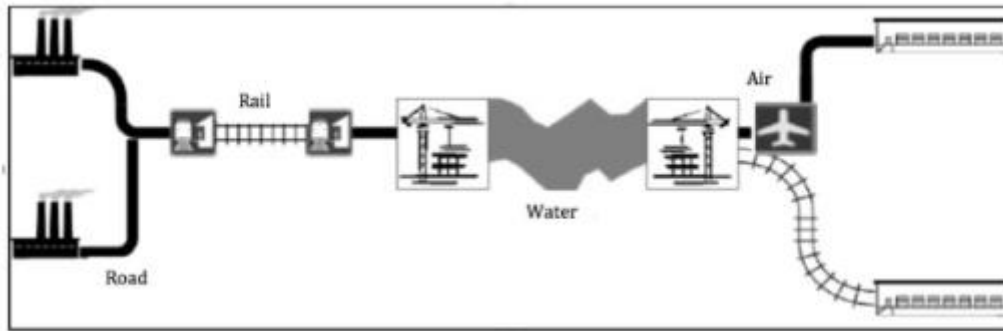
Sinkro-modalni transport predstavlja najnoviji koncept u logistici, gdje prijevoznici ili kupci neovisno odabiru najbolji način prijevoza u bilo kojem trenutku na temelju operativnih okolnosti i/ili zahtjeva kupaca (Behdani i sur., 2014). Ovaj pristup omogućava dinamičnu prilagodbu transportnih ruta i načina prijevoza u realnom vremenu, što dodatno povećava fleksibilnost i efikasnost cijelog logističkog lanca. Na primjer, u slučaju neočekivanih zastoja na cestama, teret može biti preusmjeren na željeznicu ili zračni prijevoz kako bi se osiguralo pravovremeno isporučenje.

Ko-modalni transport fokusira se na efikasno korištenje različitih načina prijevoza, bilo pojedinačno ili u kombinaciji. Korištenje dva ili više načina prijevoza, ali s dvije razlike u odnosu na multimodalitet (Verweij, 2011):

- a) koristi ga grupa ili konzorcij otpremnika u lancu, i
- b) načini prijevoza koriste se na pametniji način kako bi se maksimizirale koristi svih načina, u smislu ukupne održivosti.

Sve prethodne definicije različitih termina imaju jednu zajedničku karakteristiku – korištenje više od jednog načina prijevoza. Razlike leže u naglasku na različite značajke transportnog procesa. SteadieSeifi i sur. (2014) navode da se sinkro-modalni transport fokusira na fleksibilnost, intermodalni na istu transportnu jedinicu, dok ko-modalni poboljšava iskorištenost resursa. Međutim, osnovna definicija multimodalnog transporta ne isključuje druge definicije. Neki autori smatraju da su termini 'kombinirani', 'multimodalni' i 'intermodalni' transport sinonimi. SteadieSeifi i sur. (2014) zaključuju kako je cilj multimodalnog transporta učiniti transport efikasnijim iz nekoliko perspektiva (vremenske, financijske i ekološke) prijenosom materijala u stalnom toku kroz cijeli transportni lanac.

Slika 3. Multimodalni transportni sustav



Izvor: Bektas i Crainic, (2007).

Pojam multimodalnog transporta kao koncepta rezultat je pojave različitih pokretačkih snaga poput ekonomije, složenosti transportnih operacija, tehnologije, poslovne konkurentnosti i regulative. Multimodalni transport stvara značajne komercijalne vrijednosti za prijevoznike u usporedbi s drugim alternativnim transportnim sustavima kao dijelom međunarodne trgovine. Tako je u Bijeloj knjizi o europskoj transportnoj politici za 2010. godinu predloženo promicanje multimodalnog transporta jer može smanjiti zagušenje na cestama. Zelenika (2006), Bendeković i Aržek (2008) te Vasilj i Činčurak Erceg (2016) navode nekoliko karakteristika multimodalnog transporta:

- a) prijevoz robe obavlja se s najmanje dva sredstva transporta iz različitih načina prijevoza;
- b) cijeli poduzetnički pothvat temelji se na samo jednom ugovoru o prijevozu koji je prijevoznik sklopio s pošiljateljem;
- c) teret prati samo jedan dokument o prijevozu robe;
- d) cijeli proces prijevoza organizira samo jedan operator multimodalnog transporta (obično međunarodni špediter) i
- e) operator multimodalnog transporta odgovoran je za postupke i propuste osoba koje je angažirao u pothvatu od trenutka preuzimanja robe do njezine isporuke primatelju.

Multimodalni transport je integrirajući alat koji pruža pošiljateljima veliku fleksibilnost, pouzdanost, kontrolu troškova, konkurenciju i uslugu na jednom mjestu. Taylor (1993) zaključuje da je multimodalni transport ključan za povećanje produktivnosti i konkurentnosti industrije prijevoza tereta, istovremeno čuvajući ekološku ravnotežu. To je zbog toga što adekvatan multimodalni transport jamči korištenje najučinkovitijeg načina prijevoza tijekom svake faze, istovremeno smanjujući zagušenje, potrošnju energije i zagađenje. Multimodalni

transport nije samo tehnička inovacija, već i strateški pristup koji omogućava racionalizaciju i optimizaciju logističkih operacija. Kroz integraciju različitih modaliteta, multimodalni transport može značajno smanjiti operativne troškove i povećati brzinu isporuke. Na primjer, kombiniranjem cestovnog i željezničkog prijevoza, moguće je iskoristiti prednosti brze distribucije na kratkim relacijama cestom te ekonomičnosti i kapaciteta željeznice na dužim relacijama.

Autori poput Zelenike (2006) i Bendeković i Aržek (2008) ističu važnost jedinstvenog dokumenta o prijevozu, što pojednostavljuje administrativne procese i smanjuje mogućnost pogrešaka ili gubitka informacija. Ovaj jedinstveni pristup upravljanju dokumentacijom osigurava transparentnost i praćenje pošiljki kroz cijeli logistički lanac. Osim toga, multimodalni transport doprinosi održivosti smanjenjem emisija stakleničkih plinova i energetske potrošnje. Taylor (1993) naglašava da ovakva vrsta transporta može značajno doprinijeti očuvanju okoliša, jer omogućava optimalno korištenje resursa i smanjenje ukupnog ugljičnog otiska. Korištenje željezničkog i pomorskog prijevoza, koji su energetske učinkovitiji od cestovnog prijevoza, igra ključnu ulogu u postizanju ovih ciljeva.

Multimodalni transport pruža dodatne prednosti u smislu sigurnosti i pouzdanosti. Korištenje više načina prijevoza smanjuje rizik od oštećenja ili gubitka tereta, jer se teret manje puta prebacuje između vozila. Ova sigurnost je posebno važna u međunarodnoj trgovini, gdje dugotrajni i složeni logistički lanci povećavaju rizike od štete i kašnjenja. Sve ove prednosti čine multimodalni transport ključnim elementom suvremene logistike i međunarodne trgovine, omogućavajući efikasniji, ekološki prihvatljiviji i sigurniji prijenos robe diljem svijeta.

### **2.3. Dokumentacija i standardi u multimodalnom transportu**

Uvođenje dokumentacije i standarda u multimodalni transport predstavlja ključni korak u osiguravanju učinkovitog, sigurnog i pouzdanog prijenosa robe preko različitih transportnih modova. Ova regulacija omogućava usklađivanje praksi i postupaka na međunarodnoj razini, smanjujući složenost i rizike povezane s promjenom transportnih sredstava. Dokumenti koji prate robu tijekom njenog putovanja pružaju bitne informacije koje omogućuju praćenje, upravljanje i kontrolu transportnog procesa.

FIATA (franc. "Federation internationale des Associations de Transitaires et Assimiles", engl. "International Federation of Freight Forwarders Associations") je Međunarodni savez

špediterskih udruženja, osnovan 31. svibnja 1926. u Beču od strane međunarodnih špeditera. Ova nevladina organizacija danas obuhvaća oko 40.000 špediterskih i logističkih poduzeća te zapošljava približno 10 milijuna špeditersko-logističkih stručnjaka u 150 država. Sjedište organizacije nalazi se u Zürichu, dok je regionalni sekretarijat za Aziju smješten u Bombay. Cilj FIATA-e je unaprijediti špeditersku djelatnost na globalnoj razini te sudjelovati u radu drugih međunarodnih udruga i agencija, uključujući institucije UN-a, pri donošenju međunarodnih konvencija i dokumenata koji utječu na prijevoz robe i pružanje špediterskih usluga (Soldo, 2016).

Dokumenti FIATA-e za multimodalni transport uključuju nekoliko ključnih dokumenata koji osiguravaju učinkovit i siguran transport robe preko različitih modova prijevoza. FWB, teretni list za multimodalni transport, definiran je 1997. godine i sadržajem je sličan FIATA teretnici za multimodalni transport, ali nije utrživ dokument. MULTIDOC '95, teretnica za multimodalni transport, izdaju pomorski brodari ili njihovi agenti i ona sadrži 25 standardnih uvjeta. Sličan tome je i MULTIWAYBILL '95, brodski teretni list za multimodalni promet, koji također nije utrživ dokument. COMBICONBILL, prvi put izdan 1971. godine kao "Combined Transport Bill of Loading" i značajno izmijenjen 1995. godine, je utrživ i prenosiv vrijednosni papir. S druge strane, COMBICONWAYBILL, izdana 1995. godine, predstavlja pomorski teretni list za kombinirani transport, koji je sličan COMBICONBILL-u, ali nije prenosiv indosamentom (Clarke i sur., 2005).

Međunarodna trgovina zahtijeva korištenje različitih transportnih veza, što uključuje transfer, skladištenje i prijevoz u zemlji porijekla, tranzita i destinacije. Također uključuje raznolike kulture, jezike i trgovačke prakse. U takvoj kompleksnoj situaciji, preporučljivo je odgovornost za prijevoz robe povjeriti jednom kvalificiranom operateru. Također, od ključne je važnosti da se prijevoz obavlja prema jedinstvenoj pravnoj regulativi, kako bi se smanjila mogućnost pogrešnog tumačenja ugovornih odredbi, posebno u pogledu odgovornosti za štetu (Nikolić, 2003).

Međunarodni naponi za stvaranje jedinstvenih pravila multimodalnog transporta rezultirali su 1973. godine uspostavom jedinstvenih pravila pod okriljem Međunarodne trgovačke komore u Parizu (ICC). Istovremeno, započeti su naponi za usvajanje Konvencije o multimodalnom prijevozu pod okriljem UN (UNCTAD). Ove inicijative bile su ključne za standardizaciju i



regulaciju multimodalnog transporta na globalnoj razini, čime su postavljeni temelji za efikasniji i sigurniji međunarodni prijevoz robe.

Uvođenjem jedinstvenih pravila i standardiziranih dokumenata, međunarodna zajednica omogućava bolje razumijevanje i primjenu procedura u multimodalnom transportu. To smanjuje složenost međunarodnog transporta, omogućuje lakše praćenje i kontrolu tereta, te osigurava pravnu zaštitu za sve uključene strane. U konačnici, takvi napori doprinose globalnoj ekonomiji omogućujući brži, sigurniji i učinkovitiji prijenos robe diljem svijeta.

### 3. MULTIMODALNE TRANSPORTNE TEHNOLOGIJE

#### 3.1. Općenito o multimodalnim transportnim tehnologijama

Transport je gospodarska djelatnost koja uključuje prevoženje robe. Božičević i Kovačević (2002) naglašavaju kako su za postizanje što bolje transportne usluge potrebne različite tehnologije transporta, među kojima su:

- cesta – željeznica, koja obuhvaća Huckepack i Bimodalnu tehnologiju,
- cesta – željeznica – more, poznata kao RO-RO tehnologija,
- pomorskog transporta, koja uključuje LO-LO i FO-FO tehnologije.

Tehnologije transporta uključuju i paletizaciju i kontejnerizaciju. Kontejnerizacija predstavlja tehnologiju prijevoza robe u kontejnerima, ističući da predstavlja najnapredniji i najsloženiji oblik multimodalnog transporta jer omogućuje odvajanje tereta ili robe od transportnog sredstva. Ova tehnologija olakšava manipulaciju robom, smanjuje troškove i omogućuje prijevoz tereta u sve dijelove svijeta. Rajsman (2012) opisuje paletu kao drvenu podlogu izrađenu od dasaka određenih dimenzija, na koju se slaže roba (kartoni, sanduci, bačve i sl.). Također napominje kako paleta omogućuje formiranje kompaktnog i čvrstog paketa, olakšavajući transport i omogućujući prijevoz većih količina robe. Viličar, kao manipulacijsko sredstvo, obavlja utovar, istovar i premještaj gotovih pakiranih paleta, dok je paletizacija proces primjene paleta u prijevozu robe.

Paletizacija podrazumijeva manipulaciju i transport robe na odgovarajućim paletama radi formiranja paketa koji olakšavaju prenošenje, čime se skraćuje vrijeme transporta, a okrupnjavanjem tereta smanjuje se površina zauzeta u skladištima. Glavni ciljevi paletizacije su: okrupnjavanje robe, sigurnost prijevoza, smanjenje skladišnih površina, te skraćenje vremena transporta i prekrcaja robe. Prema Rajsmanu (2012), kontejnerizacija je tehnologija prijevoza tereta u kontejnerima. Kontejner se može prebaciti s jedne vrste transporta na drugu, što je najviši oblik integralnog transporta jer omogućuje odvajanje tereta od transportnog sredstva pomoću kontejnera.

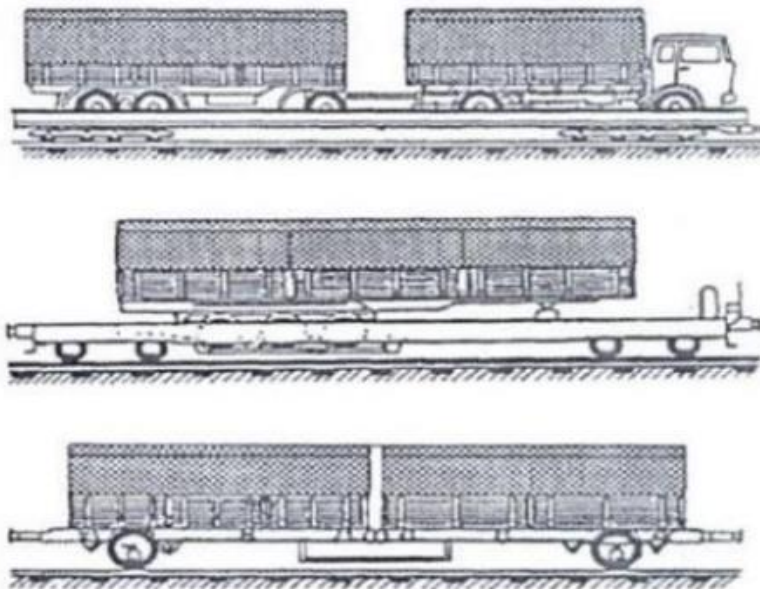
Kontejneri su prijenosni spremnici ili transportne posude koje se pune robom. Dizajnirani su tako da se mogu brzo i sigurno puniti i prazniti. Izrađeni su od čvrstih i izdržljivih materijala, otporni su na vremenske uvjete i prikladni za višekratnu uporabu. Postoje u različitim dimenzijama, od malih, srednjih i velikih do specijalnih kontejnera. Kontejnerizacija je

tehnologija transporta robe unutar kontejnera uz korištenje suvremenih manipulacijskih sredstava. Ova tehnologija predstavlja najsloženiji oblik integralnog transporta jer omogućuje odvajanje tereta od transportnog sredstva.

Prema Bendekoviću i Aržeku (2008), Huckepack je tehnologija prijevoza u kojoj dva prijevozna sredstva iz različitih transportnih grana surađuju tako da prvo prijevozno sredstvo zajedno s teretom postaje teret drugog prijevoznog sredstva. Bendeković i Aržek (2008) razlikuju tri tipa Huckepack tehnologije:

- a) Kompletno cestovno vozilo se prebacuje na željeznički vagon,
- b) poluprikolica s teretom se utovaruje pomoću kрана,
- c) spremnik ili kontejner cestovnog vozila se ukrcava na željeznički vagon, slično kao kontejner.

Slika 4. Huckepack tehnologija



Izvor: Ronko, (2005)

Božičević i Kovačević (2002) smatraju da se Huckepack tehnologija u Hrvatskoj vrlo malo koristi, što pripisuju nedostatku vagona sa spuštanim podom i nedovoljnoj dostupnosti tehnike za ukrcaj i iskrcaj tereta. Prema Bendekoviću i Aržeku (2008), bimodalna tehnologija podrazumijeva utovar cestovnog vozila na željeznički vagon, pri čemu se viljuškarom podvlače dvoosovinski željezni kotači i pričvršćuju na kamion, omogućujući cestovnom vozilu da se prevozi željeznicom. Također napominju da je potrebna lokomotiva koja pokreće sve kamione.

Zelenika i sur. (1998) objašnjavaju bimodalnu tehnologiju transporta kao specifičnu tehnologiju koja omogućuje prijevoz specijalnih cestovnih poluprikolica s teretom i cestom i željeznicom.

Slika 5. Bimodalna tehnologija



Izvor: Ronko, (2005)

RO-RO (eng. roll-on, roll-off) je kratica koja znači dokotrljati i otkotrljati. Prema Chandra i sur. (2016), RO-RO tehnologija se najviše koristi u pomorskom transportu. Karakteristično za RO-RO tehnologiju je da se teret ukrcava i iskrcava na brod na vlastitim kotačima, preko ukrcajne odnosno iskrcajne rampe. Ova tehnologija povezuje cestovni, željeznički i pomorski transport.

LO-LO (eng. lift on, lift off) tehnologija karakteristična je po vertikalnom ukrcaju i iskrcaju tereta, koji se nalazi na paletama ili u kontejnerima. Brodovi su konstruirani tako da mogu ukrcati i iskrcati robu, odnosno kontejnere, pomoću posebnih dizalica, tzv. "digni-spusti-

sustav". LO-LO tehnologija ima najrašireniju primjenu u međunarodnoj pomorskoj trgovini (Aržek, Bedenković, 2008).

FO-FO (eng. float on, float off) tehnologija karakteristična je za horizontalni ili vertikalni ukrcaj ili iskrcaj teglenica (maona) s raznim komadnim ili sjedinjenim jedinicama tereta, kao i rasutim i tekućim teretima iz LASH brodova. LASH (eng. lighter aboard ship) je brod s mosnom dizalicom. Teglenice, ili ploveći kontejneri, ukrcavaju se uz pomoć lučkih strojeva i tegljačima se vuku do mjesta gdje je FO-FO brod. Brod posjeduje dizalicu kojom se diže teret na brod. Teglenice brodom putuju do odredišta, gdje se moraju gurnuti ili odvući do točke iskrcaja. Ova tehnologija povezuje luke na obali s lukama u unutrašnjosti duž rijeka (Awwalin i sur., 2021).

### **3.2. Informacijsko-komunikacijska tehnologija i multimodalne transportne tehnologije**

Rastući problemi okoliša, povećanje cijena goriva i zagušenja na mnogim cestovnim mrežama zahtijevaju nova rješenja za operacije transporta tereta. Integrirana multimodalna transportna mreža smatra se ključnim faktorom za uspješno izvršavanje procesa lanca opskrbe, kako na domaćem, tako i na međunarodnom nivou. Međutim, složena priroda multimodalne integracije, poput uključivanja velikog broja različitih operatera, može ograničiti rast multimodalnosti. Jedno od glavnih ograničenja smatra se nedostatak učinkovite i efikasne informacijske povezanosti među različitim načinima prijevoza (voda, zrak, cesta i željeznica).

Istovremeno, prepoznaje se da informacijska i komunikacijska tehnologija (ICT) funkcionira kao živčani sustav multimodalnog transportnog lanca te donosi brojne koristi organizacijama pružajući vidljivost u stvarnom vremenu, učinkovitu razmjenu podataka i bolju fleksibilnost u reagiranju na neočekivane promjene tijekom otpreme. Nedavni razvoj u području ICT-a, poput cloud computinga, društvenih mreža i bežične komunikacije, dodatno je revolucionirao načine dijeljenja informacija i strukturiranja lanaca opskrbe.

Multimodalni transport odnosi se na prijevoz robe korištenjem dva ili više različitih načina prijevoza (kao što su cesta, željeznica, zrak ili unutarnji plovni put, te kratkoplovna ili dubokoplovna pomorska plovidba) kao dio ugovora gdje je često odgovoran multimodalni transportni operater (MTO) za izvršenje cjelokupnog ugovora o prijevozu od otpreme do odredišta. Prijevoz robe može biti unutar jedne zemlje ili međunarodan uz dodatne procedure poput carinjenja robe.

Povijesno gledano, uporaba ICT-a u transportu i logistici započela je 1960-ih godina. Tipični primjeri su sustavi upravljanja inventarom, planiranje ruta transporta, raspoređivanje, također poznato kao Distribution Requirement Planning, te sustavi naplate. Ovi sustavi su obično funkcijski zasnovani i stoga su neovisni jedan o drugome. Od 1970-ih godina, pojavili su se Material Requirements Planning (MRP) i Manufacturing Resource Planning (MRP II) u pokušaju integracije materijala, radne snage i financijskih zahtjeva u sustav. To je dovelo do razvoja Enterprise Resource Planning (ERP) sustava 1990-ih godina. Paralelno s razvojem takvih sustava na razini poduzeća, razvoj međuorganizacijskih sustava nije procvao sve do komercijalizacije interneta 1995. godine. Prije toga, EDI (Electronic Data Interchange) dominirao je međuorganizacijskim povezivanjem od 1960-ih godina. Internet-bazirani IOSs su značajno porasli od kasnih 1990-ih, potaknuti brzim razvojem ICT-a. Umjesto skupog i složenog povezivanja zasebnih sustava, web-bazirani sustavi su dizajnirani za sudionike da dijele jedan sustav. Takvi tehnološki napreci ubrzali su i potaknuli razvoj novih e-poslovnih modela poput elektroničkog tržišta (EM) (Grieger 2003).

Akadska literatura pruža bogat pregled primjene ICT-a u industriji cestovnog transporta, koja je najčešći i relativno učinkovit način prijevoza u smislu brzine, izravnosti i fleksibilnosti u usporedbi s drugim načinima prijevoza. DfT (2006) ispituje mnoge napredne IT primjene korištene u cestovnom transportu (kao što su sustavi planiranja i upravljanja lancem opskrbe, sustavi praćenja vozila i sustavi evidentiranja goriva) za postizanje učinkovitih operacija cestovnog tereta. Osim toga, Davies i sur., (2007) fokusira se na utjecaj Interneta na razmjenu tereta i ICT primjene u općem transportu tereta u UK, što ukazuje da mnogi manji prijevoznici u UK i dalje ovise o tradicionalnim komunikacijskim i procesnim sustavima, dok veće logističke kompanije sve više razvijaju nove načine rada uz podršku naprednih ICT primjena.

Što se tiče multimodalnog transporta, Boschian i sur. (2009) i Dotoli i sur. (2010) ukazuju da ICT ima ogroman potencijal za učinkovito, djelotvorno i pouzdano upravljanje i operacije multimodalnog prijevoza tereta u stvarnom vremenu. Većina akademskih publikacija fokusira se na određenu vrstu tehnologije ili primjene u multimodalnom transportu. Bock (2010) predlaže novi pristup upravljanju u stvarnom vremenu za mreže prijevoznika tereta, koji integrira multimodalni transport i višestruke pretovare, kako bi se proširila konsolidacija tereta, smanjili prazni vozački putovi i nosili s dinamičnim poremećajima. Coronado i sur., (2009) ispituju izvedivost korištenja tehnologije vozilne mreže i posvećene kratkoračne komunikacije

(DSRC) kako bi se povećala vidljivost i povezanost u multimodalnom logističkom okruženju kroz korištenje sigurne pristupne arhitekture.

Međutim, malo je studija koje su ispitale trenutnu primjenu ICT-a iz perspektive multimodalnog transporta u cjelini, s iznimkama Giannopoulos (2004) i Perego i sur., (2011). Oba rada nisu specifično adresirala razvoj ICT-a u olakšavanju multimodalnih prijevoznih usluga i provedbi. Ti različiti rasponi ICT inicijativa u okviru EU programa za podršku multimodalnim operacijama mogu se kategorizirati u sljedeće glavne vrste prema TAP (2000) klasifikaciji: sustavi i aplikacije za upravljanje resursima tereta, sustavi i aplikacije za informiranje i komunikaciju terminala i luka, sustavi i aplikacije za praćenje i upravljanje teretom i flotom te integrirane operativne/informacijske platforme/portali/tržišta.

Sustavi i aplikacije za upravljanje resursima tereta koriste rješenja za učinkovitu i efektivnu upotrebu resursa podržavajući organizaciju, s naglaskom na optimizaciju i izvršenje resursa koji podržavaju infrastrukturu, opremu i proizvodnju, financijske transakcije, ljudske resurse, planiranje transporta, optimizaciju ruta vozila i raspoređivanje. Cilj ovih aplikacija je postići usklađenost između ponude (npr. transportnih narudžbi) i potražnje (npr. transportnih kapaciteta uključujući vozila, vozače i povezane skladišne prostore) uz minimalne troškove, uz konsolidaciju informacija na mjestu dispečera i optimalno usklađivanje narudžbi s vozilima. Na primjer, projekt F-MAN razvio je prototip telematskog sustava koji pruža informacije o poziciji i statusu vagona kako bi menadžer flote (željeznički) mogao ekonomski odabrati "svoje" vagone i ažurirati tu odluku ako vagon kasni. Projekt MarNIS predstavlja koncepte Upravljanja pomorskim informacijama i Pomorskih operativnih usluga za upravljanje prometom u lukama, pomorske operativne usluge i upravljanje pomorskim informacijama.

Sustavi i aplikacije za informiranje i komunikaciju terminala i luka podržavaju intermodalne terminale i lučke operacije gdje se transportna kretanja privremeno prekidaju, a teret mijenja način transporta kao i odgovornost za određene vrijeme pretovara i povezane troškove. Među postojećim sudionicima intermodalnih terminala nalaze se cestovni prijevoznici, željeznički operateri, lučke uprave, tvrtke za rukovanje teretom i carinske službe, a intermodalni terminali mogu biti morske luke, riječne luke, suhe luke i unutarnji kontejnerski depoi. Sustav "jedinstvenog prozora", često iniciran od strane vladinih tijela, popularan je koncept u ovom pogledu, koji omogućuje trgovcima da podnesu sve informacije potrebne za uvoz, izvoz i tranzit

putem jednog elektroničkog portala, umjesto da više puta podnose iste informacije različitim vladinim entitetima (Choi, 2011).

Primjeri takvih inicijativa su uTradehub u Koreji i TradeNet u Singapuru. Na razini pojedinačnog terminala ili luke, FP projekti kao što je projekt CHINOS (Rukovanje kontejnerima u intermodalnim čvorištima), rješavaju izazove s kojima se suočavaju operateri kontejnerskih terminala i transporta zbog sigurnosnih problema i količine tereta kroz inovativne IT tehnologije poput RFID-a.

Sustavi i aplikacije za praćenje i upravljanje teretom i flotom nastoje smanjiti nesigurnost u svakom dijelu multimodalnog transportnog lanca i poboljšati operativnu učinkovitost između načina povezivanja. ICT upravljački sustavi omogućuju praćenje, nadzor i kontrolu tereta i vozila: oni su podržani odgovarajućim alatima za izvješćivanje i temelje se na informacijama u stvarnom vremenu kroz integraciju različitih tehnologija poput računala na vozilima, web-alata i kratkoročnih identifikacijskih tehnologija. Na primjer, fokus projekta D2D je na integriranom i globalnom upravljačkom sustavu za intermodalne transportne operacije od vrata do vrata kroz razvoj sustava upravljanja transportnim lancem, sustava za nadzor teretnog transporta i primjenu "pametnih tehnologija" za poboljšanje učinkovitosti multimodalnih transportnih operacija. Glavni cilj projekta M-TRADE je integrirani end-to-end sustav koji pruža usluge vezane za praćenje i trasiranje robe, identifikaciju tereta i učinkovit pretovar na terminalima i čvorištima te nadzor transporta opasne i kvarljive robe. Transportni lanac kontejnera od vrata do vrata provodi se korištenjem napredne tehnologije u projektu SMART-CM.

Integrirane operativne/informacijske platforme/portali/tržišta imaju za cilj poboljšati ukupnu učinkovitost multimodalnog transporta kako bi stvorili besprijekoran i siguran informacijski sustav povezivanjem razvoja u mobilnoj i bežičnoj komunikaciji, praćenju i trasiranju, upravljanju flotom i teretom te internetskim tehnologijama. Integrirane platforme imaju za cilj povezati sve sudionike kako bi se omogućila suradnja, kolaboracija i dijeljenje informacija od točke otpreme do točke dolaska. Okvir GIFTS (Globalni intermodalni sustav transporta tereta) ima za cilj poboljšati i integrirati postojeće i nove intermodalne tehnologije transporta tereta u jednu internetsku platformu (GIFTS Integrirana operativna platforma – GIP) s fokusom na male i srednje igrače. Aplikacije podržavaju aktivnosti povezane s administrativnim uslugama, transportom tereta i operativnim nadzorom i kontrolnim funkcijama te uslugama e-trgovine. Unutar projekta KOMODA, predložena je arhitektura za vizionarski paneuropski e-logistički



sustav kako bi se optimizirao logistički lanac kroz ICT i ko-modalnost. Projekt e-FREIGHT ima za cilj postići optimalnu i održivu uporabu europskih transportnih resursa kroz e-Freight platformu koja pruža repozitorij e-Freight rješenja i usluga te "run-time" okruženje za podršku interakciji sa rješenjima.

### **3.3. Internet stvari i multimodalne transportne tehnologije**

Učinkovitost i održivost lanca opskrbe uvelike su pogođeni uobičajenim ograničenjima u dijeljenju podataka između logističkih sudionika, što otežava klijentima pravilno određivanje najboljih dostupnih logističkih rješenja (Bastiaansen i sur., 2020). U tom smislu, javno dostupni podaci iz nacionalnih entiteta i rješenja temeljenih na IoT-u, poput prilagođenih senzorskih uređaja, mogu olakšati stvaranje alata koji omogućuje nepristranu analizu učinka i realističniju optimizaciju intermodalne mreže.

Nadalje, potaknuti sveprisutnom digitalizacijom u brojnim industrijama, lokalni i međunarodni entiteti zaduženi za upravljanje transportnim i logističkim mrežama aktivno traže prijelaz ili prilagodbu svojih intermodalnih sustava na sinkromodalne sustave. Sinkromodalni sustavi oslanjaju se na korištenje podataka u stvarnom vremenu, što ih čini sposobnima dinamički se prilagoditi raznim događajima kao što su fluktuacije u količini tereta, kašnjenja ili nedostatak osoblja, čime pokazuju veću otpornost (Ambra, i sur., 2019). Modeliranje sinkromodalnih sustava uključuje formuliranje i rješavanje problema optimizacije koji mogu učinkovito optimizirati raspodjelu i korištenje resursa u odgovoru na promjenjive okolnosti.

Pri raspravi o logističkim podacima, nekoliko je ograničenja istaknuto u literaturi u smislu količine i kvalitete podataka, pouzdanosti, vremenskih i troškovnih ograničenja. Uspostava inkluzivnog i nepristranog rješenja za olakšavanje prikupljanja podataka u logističkoj industriji može biti teška i frustrirajuća, uključujući korištenje više izvora i konsolidaciju podataka u jedinstvenu bazu podataka (Brochado, Rocha, i Costa, 2024).

U Izvješću Europske komisije za 2022. godinu navedeno je da digitalizacija može poslužiti kao značajan katalizator i facilitator za poboljšanje učinkovitosti, održivosti, pojednostavljenja, smanjenja troškova i optimalne uporabe resursa i infrastrukture (Brochado, Rocha, i Costa, 2024). U tom smislu, IoT je disruptivna tehnologija u posljednjem desetljeću, s primjenama koje se kreću od inteligentnih transportnih sustava (npr. sustavi upravljanja teretom, praćenje i kontrola prometa) do upravljanja lancem opskrbe i kontrolom kvalitete. Ipak, logistika je često

identificirana kao jedan od najvećih korisnika IoT revolucije, jer su to ključne tehnologije za logističke sustave koji se kreću prema paradigmi Fizičkog Interneta (PI). Prijelaz prema modernijim metodama, poput PI-a, pokazuje se imperativnim jer se trenutne tehnike pokazuju nepouzdanima i ekonomski i ekološki neodrživima.

Prednosti integracije IoT tehnologija u logističke sustave su prilično jasne, a određene aplikacije već bilježe široku primjenu. Jedan takav primjer je opsežna implementacija bar kod skenera, radiofrekvencijske identifikacije (RFID) i geosenzorskih tehnologija u sljedivosti proizvoda i upravljanju inventarom, a zatim unosa tih informacija u kompjuterizirane registre. Međutim, vrata ostaju otvorena za daljnje inovacije. U radu Hopkinsa i Hawkinga (2018) istaknuta su mnoga područja primjene IoT-a u logistici iz perspektive vozila. To uključuje metrike praćenja vozila kao što su brzina, ubrzanje, prijeđena udaljenost, lokacija, telemetrija motora i upravljanje umorom. Kombinacijom ovih čimbenika moguće je osigurati preciznije praćenje i praćenje komponenti lanca opskrbe u stvarnom vremenu. Nadalje, korištenje ovih podataka omogućuje analizu obrazaca vožnje, što zauzvrat može doprinijeti poboljšanju obuke vozača i jačanju sigurnijih i učinkovitijih praksi vožnje.

S obzirom na to da transportni sektor ima značaj doprinos emisijama stakleničkih plinova (GHG) zbog izgaranja fosilnih goriva, poboljšanje učinkovitosti vožnje postaje još važnije. Ipak, nekoliko drugih čimbenika pokazuje uzročnu vezu s emisijama vozila, kao što su radna masa, uvjeti vozila, vremenski uvjeti i uvjeti na cesti. To otvara mogućnost za sveobuhvatnije primjene IoT tehnologija u ovom području, kroz senzorsko praćenje i nadzor ovih elemenata te agregiranje podataka u djelotvorne informacije za logističke usluge.

Zeleni razvoj logistike jedno je od glavnih područja primjene IoT tehnologije. Na primjer, Yavari i sur. (2022) predstavljaju IoT platformu za praćenje emisija stakleničkih plinova u posljednjoj milji isporuke, pokazujući izvedivost stvaranja modela za procjenu emisija ugljika u stvarnom vremenu i dinamičnih modela. Ovi modeli omogućeni su obogaćivanjem izvještavanja kroz okolnosti u vezi s vozilom, okolišem i ponašanjem u vožnji, omogućene samo pomoću pametnih ugrađenih uređaja. Međutim, čak i u statičkim modelima, IoT može biti od koristi. Jedan takav primjer je prikazan u radu Caoa sur. (2022), gdje se koristi inteligentni mehanizam za dispečiranje vozila koristeći podatke IoT-a u stvarnom vremenu. Korištenjem ulaza kao što je geolokacija i kombinacijom algoritama planiranja puta i funkcija emisije ugljika, moguće je minimizirati emisije zagađivača u problemu rasporeda zelenih

logističkih vozila. Čak i u zelenim logističkim sustavima koji se temelje na vozilima s niskim ili nultim zagađenjem, IoT se pokazuje vrijednim za raspoređivanje operacija punjenja u upravljanju flotom.

Ekološki otisak logistike ne ovisi samo o emisijama proizvedenim u fazi transporta, već je kompleksna kombinacija čimbenika. Jedan od tih čimbenika je otpad nastao nepravilnim rukovanjem ekološki osjetljivim proizvodima (ESP) ili pokvarljivom robom. Mejjaouli (2022) predlaže dinamički sustav upravljanja rutama za transport pokvarljivih proizvoda, naglašavajući optimizaciju izravnih emisija stakleničkih plinova, kao i ukupne kvalitete tereta i integriteta proizvoda. Korištenjem IoT-a i korištenjem RFID-a, bežičnih senzorskih mreža (WSN) i prikupljanjem podataka o pošiljci u stvarnom vremenu, rute bi se mogle pouzdanije ponovno izračunati i s nižim prosječnim troškom po pošiljci. Upravljanje proizvodima u hladnim lancima također je zagovornik IoT-a, posebno za praćenje okolišnih varijabli u stvarnom vremenu, kao što su temperatura i vlažnost.

### **3.4. Umjetna inteligencija i multimodalne transportne tehnologije**

U logističkom sektoru, umjetna inteligencija se smatra jednim od glavnih pokretača za inicijative pametne logistike i lanaca opskrbe koje mogu donijeti end-to-end vidljivost, poboljšati način transporta logistike, skladištenja, distribucije, obrade distribucije, informacijskih usluga, smanjiti emisije i onečišćenje okoliša, te doprinijeti uštedama vremena i troškova (Song i sur., 2021). Velike kompanije u sektoru usvajaju umjetnu inteligenciju i strojno učenje kao važne elemente za unapređenje donošenja odluka u stvarnom vremenu vezanih uz konkurentnost, performanse, troškove, zalihe, upravljanje imovinom i osobljem, a također može pomoći kompanijama u unapređenju sustava za planiranje resursa u naprednije AI sustave i analitiku, poluautonomne i potpuno automatizirane (Gesing i sur., 2018). Drugim riječima, usvajanje tehnologije umjetne inteligencije u logističkom sektoru povećalo bi učinkovitost IT sustava povezivanjem svih strana u mrežama lanca opskrbe logistike i poboljšanjem logističkih aktivnosti kao što su obrada narudžbi, praćenje pošiljaka, planiranje transporta, upravljanje imovinom i flotom, upravljanje zalihama itd.

Međutim, za izgradnju sustava pametne logistike temeljenog na umjetnoj inteligenciji i njegovo bolje vidljivost (senzoriranje), potrebna je velika količina različitih vrsta i izvora podataka (vremenski uvjeti, prometna situacija, prometne gužve, razina vode, prometni transport, planiranje itd.). Ključ za postizanje toga je bliska suradnja u dijeljenju podataka između svih

strana u lancima opskrbe logistike. Nadalje, čisti, pouzdani i provjereni podaci ključni su za razvoj i implementaciju sustava logistike temeljenih na umjetnoj inteligenciji.

Idealno, ako se riješe problemi oko dijeljenja podataka i interoperabilnosti podataka, organizacije bi tada mogle razviti sofisticirane AI sustave razmišljanja, temeljene na ML rješenjima, sposobne za dinamičko predviđanje i prognoziranje budućih situacija, pružanje točne i pravovremene vidljivosti logističkih operacija, te pružanje podrške za bolje donošenje odluka. Na strateškoj razini, usvajanje AI sustava u logističkom sektoru može pomoći autonomnom upravljanju logističkim procesima (tj. djelovanje), korištenjem robota i autonomnih AI sustava podrške (autonomna skladišta), dok na taktičkoj razini može pomoći u upravljanju planiranjem, upravljanjem flotom i održavanjem imovine i opreme, među ostalim stvarima.

Mnoge logističke aktivnosti i domene koriste tehnologiju umjetne inteligencije za ubrzavanje prijelaza prema sustavima pametne logistike temeljenim na AI-u. Te aktivnosti ili domene kreću se od operativnog upravljanja i planiranja logistike, upravljanja skladištem, bespilotne distribucije, sortiranja, pakiranja, odabira lokacije, korisničkih usluga itd.

Scenarijska i numerička analiza ključni su elementi planiranja i upravljanja flotom, npr. sustavi praćenja pozicije vozila i robe, vrijeme putovanja i prijeđeni kilometri, izbor rute/optimizacija rute, broj potrebnih vozila, troškovi putovanja, korištenje goriva itd. Usvajanje AI rješenja, poput strojnog učenja, u postojeće IT sustave može poboljšati automatizaciju određenih aspekata logističkog rada i planiranja, kao što su upiti o statusu narudžbi, praćenje pošiljaka, upravljanje zalihama i obrada narudžbi. Korištenjem ML tehnologija, sustavi za upravljanje transportom (TMS) mogu pružiti točne preporuke prilagođene potrebama i preferencijama kupaca. Osim toga, primjena AI-a u planiranju, koja kombinira prediktivnu analitiku AI-a i napredne ML algoritme, omogućuje kompanijama dinamičko ažuriranje parametara planiranja opskrbe i određivanje najučinkovitije rute i redoslijeda zaustavljanja i ruta, čime se optimiziraju tokovi lanca opskrbe, minimizira vrijeme vožnje, korištenje goriva i smanjuju troškovi i emisije.

Optimizacija ruta ključna je za operatore transporta i logistike, od preuzimanja pošiljki do posljednje milje. Procjenjuje se da proces dostave na posljednjoj milji čini do 28% ukupnih troškova transporta. Međutim, iako logistički pružatelji imaju duboko znanje o logistici

posljednje milje, novi zahtjevi kupaca, poput dostava u vremenskim okvirima, ad-hoc preuzimanja i trenutnih dostava, stvaraju brojne izazove čak i uz korištenje sofisticirane inteligentne optimizacije ruta (Gesing i sur., 2018). Primjena AI-a u optimizaciji ruta, koja kombinira modeliranje umjetne inteligencije s optimizacijom upravljanja flotom, može pomoći logističkim kompanijama da poboljšaju ukupne dostavne ture (npr. brže dostave) odabirom najbolje moguće rute, izbjegavajući zagušenja na cestama korištenjem podataka o dinamičkom prilagođavanju u stvarnom vremenu temeljenim na fluktuacijama potražnje na različitim lokacijama. To omogućuje kompanijama da smanje troškove putovanja i ubrzaju logističke procese, dok istovremeno bolje iskorištavaju flotu vozila i učinkovito raspoređuju resurse. Nadalje, s poboljšanom točnošću predviđanja potražnje, kompanije mogu značajno smanjiti operativne troškove optimizacijom broja vozila poslanih na mjesta utovara/istovara i skladišta te poboljšanjem planiranja radne snage. To će rezultirati značajnim smanjenjem troškova držanja zaliha uz povećanje zadovoljstva kupaca.

Prediktivna potražnja i planiranje su neophodni u transportnom i logističkom sektoru, koji su karakterizirani nesigurnošću i nestabilnošću. AI može pomoći u radikalnom pomicanju logističkih operacija i procesa prema proaktivnim dinamičkim operacijama koristeći prediktivnu inteligenciju, posebno korištenje prediktivnog modeliranja optimalnog vremena dostave za logistiku posljednje milje. Ovo je vrlo važno za ostvarivanje ciljeva održivosti smanjenjem utjecaja transportnih i logističkih aktivnosti na okoliš, što se može postići kombiniranjem modeliranja umjetne inteligencije s rasporedom dostava i optimizacijom planiranja ruta kako bi se predvidjela vjerojatnost uspjeha dostave kao funkcija različitih ulaza poput vremena, regije, adrese, dana u tjednu, vozila, vremenskih uvjeta, tipa zgrade, poteškoća s parkiranjem itd. Prediktivni modeli zatim optimiziraju rute i redosljed dostava kako bi osigurali da vozač dostavi narudžbu u pravo vrijeme i na točno mjesto.

Drugi primjer prediktivne logistike je prediktivno upravljanje mrežom koristeći tehnike modeliranja AI-a za poboljšanje performansi logističkih operacija za prijevoz tereta, kao što su kašnjenja u tranzitnom vremenu tereta. Gesing i sur., (2018) primijenili su takve tehnike prediktivnog modeliranja na zračni prijevoz tereta kako bi predvidjeli hoće li prosječno dnevno tranzitno vrijeme za određenu rutu porasti ili pasti do tjedan dana unaprijed. Cilj je bio pomoći špediterima zračnog tereta da planiraju svoje pošiljke uklanjanjem subjektivnih nagađanja o tome kada ili s kojom će zrakoplovnom kompanijom rukovati njima. Razvijeni model mogao je identificirati glavne čimbenike koji utječu na kašnjenja pošiljki, uključujući vremenske

čimbenike poput dana polaska ili operativne čimbenike poput performansi zrakoplovne kompanije na vrijeme.

Iste tehnike primjene i modeliranja AI-a mogu se primijeniti u prediktivnom upravljanju rizikom logističkih lanaca opskrbe u automobilskoj industriji ili industrijama inženjeringa i proizvodnje, gdje se svakodnevno upravlja s više komponenti od tisuća dobavljača širom svijeta. Prema McKinsey (2020), samo 12% poduzeća koristi AI tehnologiju u svojim skladištima. Ovaj postotak će doseći 60% do 2026. godine. Nizak broj potpuno automatiziranih skladišta temeljenih na AI-u posljedica je vrlo visokih troškova ulaganja u izgradnju novih skladišta i implementaciju AI tehnologije i novih naprednih AI sustava.

Automatizirano skladište temeljeno na umjetnoj inteligenciji omogućuje iskorištavanje podatka u stvarnom vremenu za prediktivno modeliranje, praćenje, upravljanje i nadzor zaliha kroz svaki korak u procesu transporta i dostave. Ovo značajno smanjuje troškove povezane s ljudskim pogreškama i povećava brzinu i točnost pri preuzimanju narudžbi, što posljedično povećava stopu zadovoljstva kupaca i stoga, prihode poduzeća.

Primjena AI-a za automatiziranu klasifikaciju i identifikaciju robe pohranjene u skladištima te za praćenje trenutnih razina zaliha zahtijeva da AI modeli budu obučeni s podacima prikupljenim iz prethodnih preuzimanja od strane zaposlenika na temelju barkodova ili RFID oznaka pričvršćenih na proizvode. Algoritmi mogu identificirati ove stavke koristeći računalni vid, uzimajući u obzir informacije poput dimenzija proizvoda, težine itd. (Draganjac i sur., 2016).

Na primjer, primjena strojnog učenja olakšava prilagodbu razina zaliha stvarnoj potražnji i izbjegava sve oblike prekomjernog skladištenja ili nedostatka. Također, korištenje prediktivnog modeliranja za poboljšanje rješenja za upravljanje zalihama i distribuciju omogućuje predikcije u stvarnom vremenu, kroz prediktivnu analitiku, i povećava šanse za postizanje točnijih prognoza potražnje u usporedbi s tradicionalnim statističkim metodama. Nadalje, AI rješenja za automatizaciju skladišta, u kombinaciji s prepoznavanjem slika, pomažu povećati sigurnost i identificirati sumnjive radnje poput neovlaštenog ulaska ili prekida rada.

S očekivanim povećanjem stope rasta tržišta robotskih skladišta za 14% (GAGR) između 2021. i 2026. godine (globalno tržište procijenjeno na 4,7 milijardi dolara u 2021.), očekuje se da će

klasifikacija i upravljanje robom/predmetima u skladištima moći autonomno obavljati AI tehnologija, roboti i inteligentni algoritmi u kombinaciji s IoT-om, big data i cloud computingom. U svijetu već postoji nekoliko potpuno automatiziranih skladišta velikih multinacionalnih kompanija, gdje roboti koristeći AI tehnologiju upravljaju svim operacijama i procesima skladišta. Na primjer, Amazon ima 200.000 robota koji rade u njihovim skladištima raspoređenim između 26 centara za ispunjenje (od ukupno 175 Amazon centara), gdje se roboti koriste za pomoć radnicima pri preuzimanju, sortiranju, transportu i skladištenju paketa. Korištenje AI algoritama omogućuje suradnju u stvarnom vremenu između AGV-ova, omogućujući optimizirano planiranje navigacijskih putanja, zoniranje i brzine, kao i samoučenje za poboljšanje sposobnosti AGV-ova tijekom vremena.

Integracija umjetne inteligencije s multimodalnim transportnim tehnologijama predstavlja ključnu priliku za unapređenje učinkovitosti, održivosti i otpornosti logističkih sustava. Korištenjem AI tehnologija za optimizaciju ruta, prediktivno planiranje i koordinaciju između različitih transportnih modova, moguće je značajno poboljšati cjelokupni proces transporta robe. Unatoč izazovima, kao što su visoki početni troškovi implementacije i potreba za velikim količinama podataka, prednosti koje donosi AI u logistici i multimodalnom transportu su neosporne. S obzirom na sve veće zahtjeve za održivim i učinkovitim transportnim rješenjima, očekuje se da će primjena AI tehnologija postati standard u industriji, donoseći brojne koristi kako za poduzeća, tako i za okoliš.

Integracija ovih tehnologija ne samo da će poboljšati operativnu učinkovitost, već će također omogućiti brži odgovor na promjenjive uvjete na tržištu, povećati zadovoljstvo kupaca i smanjiti operativne troškove. Kako se industrija nastavlja razvijati, bit će ključno pratiti najnovije trendove i inovacije u AI i multimodalnom transportu kako bi se iskoristile sve prednosti koje ove tehnologije nude.

### **3.5. Blockchain tehnologija i multimodalne transportne tehnologije**

Blockchain tehnologija, koja je u početku bila razvijena kao osnova za kriptovalute, brzo je prepoznata kao inovativno rješenje koje može transformirati mnoge industrije. Jedna od najvažnijih primjena blockchain tehnologije nalazi se u sektoru logistike i multimodalnog transporta. Multimodalni transport uključuje korištenje više različitih načina prijevoza, kao što su kamioni, željeznica, brodovi i avioni, kako bi se roba prevezla od točke proizvodnje do konačnog odredišta. Upravljanje tako složenim i globaliziranim lancima opskrbe zahtijeva

visoku razinu koordinacije, transparentnosti i sigurnosti - upravo područja u kojima blockchain može ponuditi značajne prednosti.

Blockchain je jedinstvena sigurna, nepromjenjiva i transparentna knjiga koja može bilježiti transakcije gotovo trenutno. Blockchaini se sastoje od vremenski označenih transakcija grupiranih zajedno u blokove, pri čemu svaki "lanac" povezuje nove blokove s prethodnim blokovima putem kriptografskih hash funkcija (CHFs). Iako se ne koristi isključivo u blockchain okruženjima, kriptografija je temeljna značajka koja omogućava sudionicima dodavanje blokova i skrivanje osjetljivih informacija. Kako bi se ublažila nepoštenost među rudarima, blockchaini se oslanjaju na mehanizme konsenzusa, od kojih je najčešći proof-of-work (PoW). Prema PoW, kriptografi - također zvani "rudari" - koriste CHFs za dodavanje i zaštitu novih transakcija na blockchainu. Zauzvrat, rudari su obično nagrađeni kriptovalutom (Warren i sur., 2018). Blockchaini su samo za dodavanje, što znači da se verificirane transakcije dodaju u prvi blok - također nazvan "genesis" blok - i sve prethodne blokove kronološkim redom. Štoviše, blockchaini su nepromjenjivi, što znači da rudari ne mogu ukloniti verificirane unose.

Distribuirana struktura koju koriste blockchaini osigurava sigurnost i učinkovitost. Tradicionalno, posrednici trećih strana kao što su društvene mreže, procesori plaćanja, banke, vlade i drugi stvaraju vrijednost pohranjivanjem informacija i olakšavanjem transakcija te protokom informacija, imovine i valute. Međutim, ti pouzdani autoriteti često nameću transakcijske troškove, prikupljaju podatke o potrošačima i oslanjaju se na centralizirane poslužitelje koji su *"osjetljivi na kvarove, prijekave i hakove"* (Tapscott i Tapscott, 2017). Blockchain tehnologija ublažava ove probleme jer se oslanja na mnoštvo autoriziranih računala ("čvorova") i rudara koji bilježe podatke, stoga njena decentralizirana (ili "distribuirana") organizacija. Iako je teoretski moguće da zlonamjerni rudari i hakeri korumpiraju blockchain, postizanje konsenzusa među potencijalno tisućama čvorova beskrajno je teže nego napad na središnju bazu podataka jednog posrednika. Osim toga, korisnici mogu u bilo kojem trenutku pregledati izvorne sadržaje blockchaine, kao i nove blokove u isto vrijeme kao i svi ostali zahvaljujući distribuiranoj strukturi blockchaine.

Među industrijama gdje blockchain može imati najveći utjecaj i stvoriti najviše vrijednosti su logistika i lanac opskrbe. Blockchain je moguće rješenje za mnoge probleme koji ometaju ove industrije – uključujući veliku ovisnost o papirima sklonim gubicima i manipulaciji,



krivotvorene proizvode i bolesti prenosive hranom (Hackius i Petersen, 2017). Praćenje kretanja robe, sprječavanje poremećaja i povećanje transparentnosti postaju sve važniji jer lanci opskrbe postaju sve sofisticiraniji i globalizirani. U međuvremenu, oslanjanje na jednu organizaciju za posredovanje tako osjetljivih i vrijednih informacija zahtijeva velik stupanj povjerenja od strane svakog sudionika u lancu opskrbe. Četiri različite vrste entiteta čine blockchaine specifične za lanac opskrbe: registrari – koji pružaju akterima jedinstvene identitete, organizacije za standarde – koje određuju standarde poput Fairtrade-a, certifikatori – koji pružaju certifikate sudionicima koji omogućuju sudjelovanje, i akteri – proizvođači, distributeri, trgovci na malo i potrošači (Rodrigue, 2020).

Zanimljivo je da neke od kvaliteta blockchaine koje ga čine pogodnim za industriju upravljanja lancem opskrbe također predstavljaju prepreke. Na primjer, izvan slučajeva jedne upotrebe kao što su praćenje unutarnjeg transporta i povijest performansi flote i vozila, usklađivanje brojnih dionika s različitim razinama stručnosti i tehnološke spremnosti za prihvaćanje blockchaine i stvaranje potrebne "kritične mase" za uživanje u mrežnim efektima je težak zadatak. Prema anketi među kompanijama u lancu opskrbe i logistike, regulatorna nesigurnost je primarna percipirana prepreka za usvajanje, slijede zahtjevi da više strana koristi tehnologiju, nezrelost tehnologije i nedostatak trenutnih korisnika.

Blockchaini pomažu lancima opskrbe putem decentraliziranih tovarnih listova i akreditiva jer su lanci opskrbe fragmentirani, globalni, uključuju razne aktere i intermodalni transport – transport koristeći više različitih prijevoznika tijekom jednog putovanja. Intermodalni transport nudi prednosti poput standardizacije, fleksibilnosti, ekonomije razmjera i brže isporuke, ali dolazi s nedostacima poput složenosti, potrebe za premještanjem i drugim izazovima. Tovarni listovi su ključni dokumenti jer uključuju uloge i odgovornosti koje svaki akter i prijevoznik u lancu opskrbe preuzima. Iako su elektronički tovarni listovi uvedeni 1980-ih, i dalje su zahtijevali upravljanje od strane posrednika trećih strana. Blockchaini također integriraju i automatiziraju akreditive. Akreditive izdaju financijske institucije i oni ukazuju na obećanja plaćanja te se mogu izvršiti putem pametnih ugovora u blockchainu. Primjeri gdje su ovi ugovori uključuju slučajeve demuraža (troškovi kašnjenja zbog isteka vremena zadržavanja) (Rodrigue, 2020).

Podaci i transparentnost informacija teku glatko s blockchainom. Kamionski prijevoznici izdaju tovarne listove nakon što preuzmu kontejnere iz distribucijskih centara i dodaju blockchainu

informacije o opremi, cestarini, vozačima i bilo kojim drugim značajnim događajima. Ove informacije mogu se prikupljati pomoću senzora, uređaja i drugih IoT tehnologija. Ovisno o proizvodu, uključeni su specijalizirani podaci. Na primjer, morski plodovi iz New Bedforda, Massachusetts ili proizvodi koji će se prodavati u Walmart trgovinama mogu uključivati termometre kako bi se osiguralo da održavaju odgovarajuću temperaturu kako bi se spriječilo kvarenje. Zatim luke dodaju druge relevantne informacije o kontejneru, kao što su izlazna vrata terminala, mjesto skladištenja u dvorištu i status carinske provjere.

Kontejner mora proći carinsku provjeru kada stigne u određenu luku, proces koji blockchain također automatizira ako su carinske vlasti uključene u blockchain. Kopneni prijevoznici – željeznički ili kamionski prijevoznici – donose kontejner do konačnih distribucijskih centara, a za posljednju milju prijevoza, slične informacije ispunjavaju blockchain i pametni ugovori se izvršavaju kako bi se platili dobavljači – brodarske linije, operateri terminala i kamionski prijevoznici (Rodrigue, 2020).

## **4. IZAZOVI I PERSPEKTIVE MULTIMODALNOG TRANSPORTA**

### **4.1. Izazovi u implementaciji multimodalnog transporta**

Multimodalni transport tereta uveden je kao rješenje za smanjenje vanjskih troškova transporta tereta uz postizanje ušteda. Unatoč prednostima multimodalnog transporta tereta, njegov udio u praksi je nizak, a kamioni ostaju najpreferiraniji način prijevoza. Multimodalni terminali za transport tereta često se nalaze u glavnim gradovima duž koridora za transport tereta i mogu biti kontejnerski terminali, suhe luke, riječne luke, morske luke i željeznički terminali. Ovi terminali uključuju opremu za rukovanje visoke produktivnosti i pružaju usluge poput skladištenja i carinskih funkcija. Učinkovitost usluga multimodalnog transporta tereta visoko je povezana s performansama i karakteristikama terminala.

Pošiljatelji se sve više okreću operacijama just-in-time, što zahtijeva visoku frekvenciju usluga i dostupnost 24/7. Niska frekvencija teretnih vlakova te ograničeno radno vrijeme terminala smanjuju fleksibilnost multimodalnog transporta tereta. Niska frekvencija teretnih vlakova predstavlja veliku prepreku za pošiljatelje čije pošiljke ne mogu ispuniti vlakovi, a ograničena frekvencija usluga povećava napore za planiranje i administrativne troškove intermodalnog željezničkog transporta. Pouzdan transport ključan je za zadovoljavanje zahtjeva just-in-time prakse, hub-and-spoke operacija i rokova u lukama. Mnogi pošiljatelji smatraju visoku pouzdanost najvažnijom odrednicom za odabir načina transporta i prelazak s ceste na more ili željeznicu. Multimodalni transport tereta ima manju pouzdanost zbog promjena načina transporta na terminalima gdje se mogu dogoditi neočekivani događaji poput nedostatka resursa, nesreća, ekstremnih vremenskih uvjeta i lošeg upravljanja.

Nedostatak kapaciteta unutar terminala predstavlja važnu prepreku za multimodalni transport tereta. U Australiji su terminali u lukama patili od ograničenog kapaciteta željeznica, što je uzrokovalo niže stope produktivnosti, dugo vrijeme zaokreta i povećanje troškova. Povećanje kapaciteta intermodalnih željezničkih terminala nužno je za apsorpciju očekivanog rasta multimodalnog transporta tereta uz pružanje dobre kvalitete i usluge. U Europi se postojeći željeznički terminali nalaze blizu urbanih područja, pa prostorna ograničenja ograničavaju proširenje kapaciteta. Većina terminala koristi vertikalnu opremu za pretovar, koja traje duže i predstavlja veći rizik od gubitka ili oštećenja tereta. 80% europskih prikolica ne može se vertikalno podizati, ograničavajući modalni prijelaz s ceste na željeznicu. Horizontalne tehnologije pretovara, koje zahtijevaju manje prostora, osoblja i vremena za rukovanje, mogu

pružiti značajnu promjenu modaliteta s ceste na željeznicu, ali visoki troškovi ulaganja otežavaju odluke o promjeni modaliteta.

Brze informacije i učinkovita suradnja među dionicima na terminalima ključne su za multimodalni transport tereta. Nedostatak naprednih IT aplikacija uzrokuje operativne probleme poput neučinkovitog upravljanja dokumentima i krađe tereta. ICT omogućuju glatko dijeljenje informacija i učinkovite operacije pretovara tereta. Korištenje ICT-baziranih rješenja za planiranje može poboljšati distribuciju kapaciteta i prostora za pošiljke u dvorištima i na vezovima, smanjujući vrijeme rukovanja, operativne troškove i poboljšavajući korisničku uslugu.

Multimodalni transport tereta suočava se s rizikom od oštećenja ili gubitka tereta zbog višestrukih razina pretovara na terminalima. Povećana potražnja za kontrolom temperature tijekom transporta predstavlja izazov za željeznička vozila koja nisu prilagođena ovoj potražnji. Krađa tereta tijekom čekanja na granicama ili stajalištima također povećava troškove transporta zbog potrebe za zaštitom tereta i osiguranjem.

Troškovi pretovara na multimodalnim terminalima čine jedan od najvećih troškovnih komponenti intermodalnog transporta. Lučke pristojbe predstavljaju značajan dio ukupnih troškova kratkoplovnog transporta. Izgradnja multimodalnih terminala unutar luka može smanjiti troškove rukovanja, ali visoki troškovi ulaganja predstavljaju prepreku. Mreža multimodalnog transporta tereta uključuje sve rute i intermodalne terminale koje transportne usluge mogu koristiti. Šest prepreka vezanih uz intermodalnu mrežu uključuju pre- i post-transportne izlete, kapacitet terminala, frekvenciju usluga, pouzdanost, dijeljenje informacija i rizik od oštećenja tereta. Pre- i post-transportni izleti čine velik udio vanjskih troškova multimodalnog transporta tereta, a zagušenje na cestama smanjuje dostupnost terminala. Osnivanje mnogih terminala duž transportnog koridora može uzrokovati kratke pre- i post-transportne izlete, ali gušća mreža terminala može povećati fiksne troškove i režijske troškove transportne mreže.

Brži i duži teretni vlakovi mogu poboljšati ekonomsku učinkovitost i produktivnost multimodalnog transporta tereta, ali suočavaju se s infrastrukturnim i operativnim ograničenjima. Električni vlakovi troše manje energije od dizelskih vlakova, poboljšavajući operativne troškove i emisije multimodalnog transporta tereta, ali zahtijevaju infrastrukturu

koja nije uvijek dostupna. Ograničeni navigacijski kapaciteti unutarnjih plovnih putova predstavljaju izazov za multimodalni transport tereta. Vrijeme tranzita je ključni čimbenik za promicanje multimodalnog transporta tereta, ali operacije utovara i istovara na terminalima povećavaju vrijeme tranzita.

Upravljanje multimodalnim transportom tereta je složeno zbog sudjelovanja različitih dionika. Učinkovita suradnja i dijeljenje informacija ključni su za uspjeh multimodalnog transporta tereta, ali nedostatak komunikacije i visoki troškovi informacija predstavljaju prepreke. Promicanje multimodalnog transporta tereta ovisi o kvaliteti komunikacije među dionicima i usvajanju naprednih sustava planiranja. Napredni sustavi planiranja mogu se implementirati kao jedna integrirana platforma koja povezuje sve aktere u lancu multimodalnog transporta tereta, omogućujući suradnju i dijeljenje informacija u stvarnom vremenu.

Multimodalni transport tereta uveden je kao rješenje za smanjenje vanjskih troškova transporta uz postizanje ušteda, ali njegov udio je i dalje nizak, dok kamionski transport ostaje najpreferiraniji način. Terminali multimodalnog transporta tereta, smješteni u glavnim gradovima duž koridora, uključuju kontejnerske terminale, suhe luke, riječne i morske luke te željezničke terminale. Njihova učinkovitost je visoko povezana s performansama i karakteristikama terminala (Beškovnik i Golnar, 2020). Pošiljatelji se okreću just-in-time operacijama koje zahtijevaju visoku frekvenciju usluga i dostupnost 24/7, ali niska frekvencija teretnih vlakova i ograničeno radno vrijeme terminala smanjuju fleksibilnost multimodalnog transporta tereta. Pouzdan transport je ključan za zadovoljavanje just-in-time prakse, a multimodalni transport tereta ima manju pouzdanost zbog promjene načina transporta na terminalima gdje se mogu dogoditi neočekivani događaji.

Kapaciteti terminala predstavljaju značajnu prepreku za multimodalni transport tereta. Povećanje kapaciteta intermodalnih željezničkih terminala nužno je za apsorpciju rasta multimodalnog transporta tereta uz pružanje dobre kvalitete usluge. U Europi, prostorna ograničenja blizu urbanih područja ograničavaju proširenje kapaciteta terminala. Operacije pretovara koriste vertikalnu opremu koja traje duže i predstavlja veći rizik od gubitka ili oštećenja tereta. Horizontalne tehnologije pretovara, koje zahtijevaju manje prostora i vremena, mogu pružiti značajnu promjenu modaliteta s ceste na željeznicu, ali visoki troškovi ulaganja predstavljaju prepreku. Brze informacije i učinkovita suradnja među dionicima na terminalima ključne su za multimodalni transport tereta. Nedostatak naprednih IT aplikacija uzrokuje

operativne probleme, dok ICT omogućuje glatko dijeljenje informacija i učinkovite operacije pretovara tereta (Harris i sur., 2015).

Električni vlakovi troše manje energije od dizelskih i mogu poboljšati operativne troškove i emisije intermodalnog željezničkog transporta. Merchan i sur., (2020) izvijestili su da su električni vlakovi u Belgiji smanjili ekološki utjecaj za 26%. Međutim, 55% željezničke mreže u Europi je elektrificirano, što zahtijeva od operatera vlakova da voze vlak s dvije lokomotive ili mijenjaju s električne na dizelsku, povećavajući kapitalne troškove i vrijeme isporuke. Ograničeni navigacijski kapacitet unutarnjih plovnih putova predstavlja izazov za multimodalni transport tereta. Loša plovnost plovnih putova uzrokovana je uskim i plitkim dijelovima te niskim mostovima. Poboljšanje navigacije kanalom može smanjiti prosječno vrijeme tranzita za plovila.

Vrijeme tranzita je ključni faktor za promicanje rješenja multimodalnog transporta tereta jer je konkurentno s cestovnim transportom. Operacije utovara i istovara na terminalima povećavaju vrijeme tranzita, smanjujući preferenciju intermodalnog transporta. Upravljanje multimodalnim transportom tereta je složeno zbog sudjelovanja različitih dionika. Potrebna je učinkovita suradnja i dijeljenje informacija za uspjeh multimodalnog transporta tereta. Napredni sustavi planiranja mogu se implementirati kao integrirana platforma koja povezuje sve aktere u lancu multimodalnog transporta tereta, omogućujući suradnju i dijeljenje informacija u stvarnom vremenu.

## **4.2. Primjeri najboljih praksi i studije slučaja**

### *4.2.1. Primjeri iz pomorskog sektora i lučke industrija*

Postoje mnogi primjeri razvoja potencijalnih inovativnih rješenja temeljenih na AI tehnologiji u pomorskom sektoru te lukama i logističkoj industriji diljem svijeta. U nastavku je predstavljeno nekoliko praktičnih primjera, gdje AI tehnologija igra ključnu ulogu u pružanju potencijalnih rješenja koja se mogu primijeniti u pomorskom sektoru, lukama i brodarskoj industriji (Ministarstvo infrastrukture i upravljanja vodama, 2021).

Što se tiče razvoja novih mrežnih tehnologija u lučkoj industriji, Nokia je 2021. godine najavila da će izgraditi visokoučinkovitu, industrijsku LTE/5G privatnu bežičnu mrežu u luci Seattle. Platforma će ponuditi pouzdano visokopropusno, nisko-latentno privatno umrežavanje, usluge glasa i videa te katalog aplikacija. Slično tome, četiri najveća europska mobilna operatera,

Deutsche Telekom, Orange, Telefónica i Vodafone, udružuju se kako bi podržali implementaciju otvorene tehnologije Radio Access Network (RAN) diljem kontinenta. Implementacija ove mobilne mrežne tehnologije u Europi koristit će ne samo potrošačima i poslovnim korisnicima, već i pomorskom sektoru te lukama i lučkoj logistici. To je također slučaj s brodom "Zeus" (prvi svjetski brod na vodikov pogon) koji se razvija koristeći najnovija dostignuća u mrežnim tehnologijama, poput 5G mreža. Očekuje se da će se iz razvoja ove nove brodske tehnologije pojaviti novi poslovni modeli i aplikacije. Jedan primjer takvih aplikacija su satelitske usluge slike koje pruža Earth Observation Services Access (EMSA), koji se smatra "očima Europe na moru". EMSA nudi usluge i informacije za programe nadzora i sigurnosti EU-a poput Clean Sea Net i Copernicus Maritime Surveillance (El Makhloufi, 2023).

Među novim tehnologijama temeljenim na AI je i upotreba dronova u lukama i logistici. Tehnologije dronova imaju potencijal transformirati tradicionalne pomorske operacije kao što su inspekcija, sigurnost i zaštita, borba protiv kriminala, dostava na obalu-brod, daljinske inspekcije brodova i kontejnerskih dizalica i još mnogo toga. Trenutno postoji više slučajeva gdje se potpuno autonomni dronovi testiraju na području inspekcije i kontrole u lukama i lučkim terminalima. Ovo je dio ambicije lučkih vlasti da podrže operativne zadatke luke vezane uz sigurnost i zaštitu korištenjem mreže autonomnih dronova. Cilj praktičnih slučajeva je testirati različite autonomne sustave i operativne mreže autonomnih dronova u realističnom i složenom okruženju luka (Wang, 2023).

Luka Rotterdam, na primjer, razvija sustav za upravljanje bespilotnim prometom (UTM) koji će upravljati i podržavati korištenje dronova u donjem zračnom prostoru lučkog područja. Dronovi će biti integrirani u svakodnevne operacije luke u inspekciji, nadzoru, kontroli incidenata te borbi protiv kriminala i krijumčarenja droge u lučkom području. Luka Rotterdam također predviđa korištenje dronova u isporuci dijelova na brodove i/ili uzimanju uzoraka tereta prije nego što brod stigne u luku. U korak dalje u budućnosti pametnih autonomnih luka, dronovi će igrati važnu ulogu u prijevozu tereta i putnika u lukama.

Sličnu inicijativu poduzela je i luka Hamburg. Luka je počela koristiti automatizirane dronove za inspekciju i nadzor događaja u luci. Nadalje, dronovi mogu učiniti održavanje i proširenje lučke infrastrukture učinkovitijim te mogu pomoći lučkim vlastima u situacijama kada se dogode olujni udari, nesreće ili druge nepredviđene smetnje.

Postoje mnogi primjeri razvoja potencijalnih inovativnih rješenja temeljenih na AI tehnologiji u pomorskom sektoru te lukama i logističkoj industriji diljem svijeta. U nastavku je prikazano nekoliko praktičnih primjera, gdje AI tehnologija igra ključnu ulogu u pružanju potencijalnih rješenja koja se mogu primijeniti u pomorskom sektoru, lukama i brodarskoj industriji. Luka Singapur pokrenula je Maritime Drone Estate (MDE) kako bi podržala razvoj aplikacija za dronove u lučkom sektoru. MDE pruža povoljan prostor za testiranje i razvoj tehnologija dronova i operacija za pomorske primjene, kao što su dostava s obale na brod, daljinska inspekcija brodova i slično. MDE je dio strategije lučke uprave za ulaganje u nove lučke kapacitete kroz usvajanje vrhunske AI tehnologije kako bi se izgradio i ojačao ekosustav inovacija u luci kao vrhunski međunarodni pomorski centar (El Makhloufi, 2023).

Osim usvajanja dronova u lučkoj industriji, globalne luke također eksperimentiraju s upotrebom i implementacijom autonomnih (pod)čamacima i ocean robots u lučkom području. Jedan primjer ove vrste novih tehnologija je "autonomna pametna bova" potpomognuta flotom ocean robots, koja će biti testirana unutar zatvorene platforme od strane Plymouth Marine Laboratory u Velikoj Britaniji. Eksperimenti s ovim inovativnim rješenjem koriste napredne senzorske aplikacije i brzu nadvodnu komunikacijsku mrežu, temeljenu na 5G privatnoj morskoj mreži, koja omogućuje komunikaciju između plovila i opreme (El Makhloufi, 2023).

Danas luke i brodarska industrija (npr. operateri plovila) koriste analitiku podataka za donošenje odluka na temelju analiza o stanju operacija, statusu sustava, zdravlju strojeva i održavanju. U brodarskoj industriji, na primjer, većina podataka o brzini, ruti, potrošnji goriva i emisijama prikuplja se na brodu jer su brodovi postali automatizirani i standardizirani. Primjenom analitike podataka i AI tehnologije, lučki i brodarski sektor mogu imati koristi od integracije poboljšanih podataka i analitike s novim AI tehnologijama i sustavima.

Primjer takve upotrebe podataka je satelitski optimizirana daljinska podrška podacima i vizualnim materijalima koju pruža softverska tvrtka AnsuR Technologies. ASIGN sustav te tvrtke povezuje pilota koji upravlja bespilotnom letjelicom s udaljenim promatračima, donoseći visokokvalitetne UAV fotografije i video u stvarnom vremenu do donositelja odluka, u situacijama kada je propusnost pri letenju na određenim lokacijama ograničena. Drugi slučajevi upotrebe ovog sustava uključuju upravljanje katastrofama i hitnim situacijama, sigurnosne operacije i daljinsku inspekciju luka i pomorskih operacija.



Još jedan primjer je korištenje S-100 standarda za univerzalne navigacijske podatke, što predstavlja najveću promjenu u e-navigaciji od stupanja na snagu zahtjeva Međunarodne pomorske organizacije (IMO) za korištenje Elektroničkog prikaza i informacijskog sustava za karte (ECDIS). Ovaj standard pruža okvir za transformaciju statičkih informacija koje se trenutno nalaze u fizičkim nautičkim publikacijama u interoperabilne digitalne slojeve za korištenje u ECDIS-u, kako bi se poboljšala situacijska svijest pomoraca i unaprijedilo planiranje i nadzor plovidbe (El Makhoulfi, 2023).

Jedna od najvećih globalnih brodarskih tvrtki (Maersk) kombinira satelitske podatke s dinamičkim AIS i zemaljskim podacima i podacima korisnika kako bi optimizirala putovanje plovila, pomažući operaterima brodova da održavaju svoja plovila u plovidbi optimalnom brzinom prema odredištu. Primjena sustava temeljenih na AI za izgradnju slike globalnog pomorskog prometa u stvarnom vremenu omogućuje tvrtki da generira bolje preporuke za rute i brzinu plovila, čime se otključavaju smanjenje emisija i optimizacija prihoda (El Makhoulfi, 2023).

#### *4.2.2. Primjeri iz avio industrije*

U nastavku su prikazane najvažnije inovativne inicijative na europskoj razini koje mogu poslužiti kao praktičan primjer istraživanja i inicijativa usmjerenih na implementaciju AI tehnologije i sustava u zrakoplovnu industriju i operacije zračnih luka u Europi (SESAR-JU, 2022). Projekt razvoja platforme temeljen na AI za poboljšanje operacija upravljanja zračnim prometom (ATM) (AICHAIN) ima za cilj razviti tzv. Federated Machine Learning (FML) koji može jamčiti kibernetičku sigurnost i privatnost podataka prikupljenih i dijeljenih od strane zrakoplovnih kompanija. FML platforma primjenjuje prediktivnu AI za bolje predviđanje i planiranje raspodjele letova od strane pružatelja usluga zračne navigacije. Glavni cilj ovog projekta je modernizirati europski ATM sustav i smanjiti troškove (i kašnjenja) u zračnim lukama, koristeći strojno učenje za osjetljive (i neosjetljive) podatke na decentraliziran i zaštićen način (El Makhoulfi, 2023).

Projekt razvoja transparentne AI i automatizacije za sustave upravljanja zračnim prometom (ARTIMATION) usmjeren je na istraživanje primjene AI metoda u predviđanju zračnog prometa i optimizaciji tokova prometa, koristeći eXplainable Artificial Intelligence (XAI) algoritme. Cilj je odgovoriti na izazov vezan za transparentnost automatiziranih sustava u ATM području. Algoritmi razvijeni korištenjem XAI tehnika podržavaju rješavanje sukoba zračnog

prometa (kao što je preusmjeravanje zrakoplova kako bi se izbjegli sudari) i propagaciju kašnjenja (npr. razumijevanje razloga za kašnjenje letova). Razvijeni su koncepti transparentnih AI modela koji se mogu usvojiti za različite zadatke i prilagoditi tijekom vremena, nudeći sigurnu i pouzdanu podršku pri donošenju odluka.

Razvoj visoko automatiziranih radnih stanica za kontrolore zračnog prometa s integracijom AI (HAWAII) fokusira se na razvoj naprednog softvera za automatsko prepoznavanje govora temeljenog na dubokim neuronskim mrežama za sigurniju kontrolu zračnog prometa. Naglasak je na komunikaciji između pilota i kontrolora. Testovi prototipa pokazuju da kombinacija glasa s radarskim podacima značajno poboljšava semantičku razinu ATM sustava, npr. stopa prepoznavanja pozivnih znakova zrakoplova koje koriste kontrolori iznosi 97%. Strojno učenje je također primijenjeno za stvaranje asistenta za detekciju grešaka u ponavljanju (REDA). Laboratorijski testovi REDA pokazuju obećavajuće rezultate, s stopom uspjeha od 80% izvanmrežnih evaluacija transkripata iz stvarnih podataka i stopom lažnih alarma ispod 20% (El Makhloufi, 2023).

Projekt optimizacije učenja ljudske automatizacije (MAHALO) ima za cilj bolje razumjeti vrstu automatizacije koja je najprikladnija za ATC sustave, istražujući koliko se AI treba koristiti, gdje bi bila najkorisnija i treba li obavljati zadatke autonomno ili služiti kao alat za podršku odlučivanju ljudskog kontrolora. Razvijen je hibridni sustav strojnog učenja koji je obučen za rješavanje kritičnih ATC zadataka, kao što je otkrivanje i rješavanje sukoba u zračnom prometu. Očekuje se da će rezultati pomoći smanjenju kašnjenja, poboljšanju učinkovitosti i povećanju sigurnosti kontrole zračnog prometa.

Razvoj automatiziranog sustava za situacijsku svijest (AISA) jedan je od značajnih projekata. Jedan od glavnih problema u zrakoplovstvu je vrlo visok kapacitet radnog opterećenja kontrolora zračnog prometa, posebno tijekom zauzetih razdoblja. Implementacija AI može pomoći u rješavanju radnog opterećenja (npr. specifičnih zadataka) i osloboditi mentalni kapacitet kontrolora kako bi mogli upravljati većim brojem zrakoplova i fokusirati se na zadatke kritične za sigurnost. Primjena AI usmjerena je na praćenje i obavljanje zadataka umjetne situacijske svijesti kontrolora zračnog prometa, poput otkrivanja sukoba (npr. sigurnost pri prilazu i slijetanju zrakoplova).

Projekt razvoja AI sustava za praćenje višestrukih opasnosti i rano upozoravanje (ALARM) usmjeren je na razvoj AI sustava koji može pomoći zrakoplovima da izbjegnu opasnosti i poremećaje tijekom leta. Pruža uslugu praćenja u stvarnom vremenu i precizne informacije o prirodnim događajima kao što su grmljavinske oluje i oblaci vulkanskog pepela. Razvijeni AI sustav temelji se na prikupljanju i obradi podataka u gotovo stvarnom vremenu iz zemaljskih i satelitskih sustava. Modeli strojnog učenja koriste se za identificiranje pomicanja čestica i plinova iz prirodnih opasnosti, kao i ekstremnih vremenskih situacija. Sljedeći korak je razvoj prediktivnih modela koji pružaju točne prognoze u rasponu od jednog sata do jednog dana unaprijed.

Ispod su predstavljeni najvažniji inovativni projekti na europskoj razini koji mogu poslužiti kao praktični primjeri istraživanja i inicijativa usmjerenih na implementaciju AI tehnologije i sustava u zrakoplovnu industriju i operacije zračnih luka u Europi (SESAR-JU, 2022). Jedan od projekata fokusira se na razvoj platforme temeljene na AI za poboljšanje operacija upravljanja zračnim prometom (ATM) (AICHAIN). Cilj projekta je razviti tzv. Federated Machine Learning (FML) koji može jamčiti kibernetičku sigurnost i privatnost podataka prikupljenih i dijeljenih od strane zrakoplovnih kompanija. FML platforma primjenjuje prediktivnu AI za bolje predviđanje i planiranje raspodjele letova od strane pružatelja usluga zračne navigacije. Glavni cilj ovog projekta je modernizirati europski ATM sustav i smanjiti troškove (i kašnjenja) u zračnim lukama, koristeći strojno učenje za osjetljive (i neosjetljive) podatke na decentraliziran i zaštićen način (El Makhoulfi, 2023).

Razvoj transparentne AI i automatizacije za sustave upravljanja zračnim prometom (ARTIMATION) također je važan primjer. Glavni cilj ovog projekta je istražiti primjenu AI metoda u predviđanju zračnog prometa i optimizaciji tokova prometa, koristeći eXplainable Artificial Intelligence (XAI) algoritme, kako bi se odgovorilo na izazov vezan za transparentnost automatiziranih sustava u ATM području. Ovaj projekt je razvio algoritme koristeći XAI tehnike za podršku uobičajenim operativnim zadacima: rješavanje sukoba u zračnom prometu (kao što je preusmjeravanje zrakoplova kako bi se izbjegli sudari) i širenje kašnjenja (npr. razumijevanje razloga za kašnjenje letova). Razvijeni su koncepti transparentnih AI modela koji se mogu prilagoditi za različite zadatke i s vremenom nadograđivati, nudeći sigurnu i pouzdanu podršku u odlučivanju.

### **4.3. Budući trendovi i smjerovi razvoja**

Razvoj multimodalnog transporta i tehnologija prolazi kroz značajne promjene, vođene tehnološkim inovacijama, ekološkim zahtjevima i potrebom za većom učinkovitošću. U ovom poglavlju razmotrit ćemo ključne buduće trendove i smjerove razvoja koji će oblikovati budućnost multimodalnog transporta.

Jedan od najvažnijih trendova je sve veća digitalizacija i automatizacija transportnih procesa. Uvođenje naprednih informacijsko-komunikacijskih tehnologija (ICT) omogućuje bolju koordinaciju i optimizaciju transportnih operacija. Automatizirani sustavi za upravljanje skladištima, pametni senzori za praćenje tereta u stvarnom vremenu te korištenje umjetne inteligencije (AI) za prediktivnu analitiku i optimizaciju ruta postaju standard u industriji. Digitalizacija omogućava bržu i točniju razmjenu informacija između različitih dionika u lancu opskrbe, što rezultira povećanom učinkovitošću i smanjenjem troškova (Kine i sur., 2022).

Ekološka održivost postaje sve važniji faktor u transportnoj industriji. Smanjenje emisija stakleničkih plinova i korištenje obnovljivih izvora energije su ključni ciljevi za budućnost. Razvoj električnih i hibridnih vozila, kao i istraživanje alternativnih goriva poput vodika, bit će od presudne važnosti. Također, implementacija tehnologija poput pametnih mreža za punjenje električnih vozila i sustava za optimizaciju potrošnje goriva može značajno doprinijeti smanjenju ekološkog otiska transportnih operacija (Liao i sur., 2023).

Internet stvari (IoT) i povezani uređaji transformiraju način na koji se upravlja transportom. Pametni senzori omogućuju praćenje temperature, vlažnosti, lokacije i stanja tereta u stvarnom vremenu, što je posebno važno za transport osjetljive robe poput lijekova i hrane. Ovi podaci se koriste za optimizaciju logističkih operacija, smanjenje otpada i poboljšanje sigurnosti tereta. Integracija IoT tehnologija s AI sustavima omogućuje prediktivno održavanje i brže reagiranje na potencijalne probleme u transportnom lancu (Kine i sur., 2022).

Blockchain tehnologija nudi siguran i transparentan način praćenja i bilježenja transakcija unutar lanca opskrbe. Korištenje blockchaina može smanjiti mogućnost prijevara, osigurati autentičnost podataka i omogućiti brže i sigurnije transakcije. Transparentnost i nepromjenjivost blockchaina omogućavaju svim sudionicima u lancu opskrbe pristup točnim i ažuriranim informacijama, što može poboljšati povjerenje i suradnju između partnera (Liao i sur., 2023).

Razvoj pametnih gradova donosi nove mogućnosti za integraciju različitih transportnih sustava. Korištenje pametnih tehnologija za upravljanje prometom, optimizaciju korištenja infrastrukture i smanjenje zagušenja postaje sve važnije. Integrirani transportni sustavi koji povezuju različite načine prijevoza - cestovni, željeznički, pomorski i zračni - omogućuju brži i učinkovitiji prijenos tereta, smanjujući vrijeme transporta i troškove. Umjetna inteligencija (AI) i strojno učenje igraju ključnu ulogu u budućnosti multimodalnog transporta. Ove tehnologije omogućuju naprednu analitiku i optimizaciju operacija, predviđanje potražnje i upravljanje rizicima. Primjena AI-a u autonomnim vozilima, pametnim logističkim sustavima i sustavima za upravljanje zalihama može značajno povećati učinkovitost i smanjiti troškove.

## 5. ZAKLJUČAK

Ovaj rad je analizirao međusobnu povezanost razvoja tehnologije i multimodalnog transporta, osvrćući se na ključne aspekte, inovacije, izazove i perspektive ovog važnog sektora. Kroz pregled povijesnog razvoja, ključnih pojmova i standarda u multimodalnom transportu, stvorena je čvrsta osnova za razumijevanje kompleksnosti i evolucije ove industrije.

Proučavanje različitih tehnologija koje se koriste u multimodalnom transportu, kao što su informacijsko-komunikacijske tehnologije, Internet stvari, umjetna inteligencija i blockchain tehnologija, pokazalo je kako ove inovacije mogu značajno unaprijediti učinkovitost, sigurnost i transparentnost transportnih operacija. Integracija naprednih tehnologija omogućava bolju koordinaciju i optimizaciju resursa, smanjujući troškove i utjecaj na okoliš. Analiza izazova u implementaciji multimodalnog transporta otkrila je brojne prepreke, uključujući regulatorne barijere, nedostatak standardizacije i tehničke poteškoće. Unatoč tim izazovima, primjeri najboljih praksi i studije slučaja iz različitih sektora pokazali su kako se inovativna rješenja mogu uspješno primijeniti za prevladavanje ovih prepreka.

Budući trendovi i smjerovi razvoja multimodalnog transporta i tehnologija ukazuju na daljnju digitalizaciju, automatizaciju i primjenu održivih rješenja. Očekuje se da će se razvoj umjetne inteligencije, blockchain tehnologije i IoT-a nastaviti, dodatno unapređujući mogućnosti praćenja, optimizacije i sigurnosti u multimodalnim transportnim sustavima.

Predmet rada bio je istražiti kako napredne tehnologije doprinose efikasnosti, sigurnosti i transparentnosti multimodalnog transporta te identificirati ključne izazove i mogućnosti za budući razvoj. Cilj je uspješno ostvaren kroz detaljnu analizu teorijskih okvira, praktičnih primjera i studija slučaja. Ovaj rad pruža sveobuhvatan pregled trenutnog stanja i budućih perspektiva multimodalnog transporta, naglašavajući važnost kontinuiranog istraživanja i inovacija u ovoj dinamičnoj industriji. Preporuke za daljnju praksu i istraživanje uključuju fokus na standardizaciju, razvoj infrastrukture i jačanje suradnje među dionicima kako bi se osigurao održiv i učinkovit transportni sustav u budućnosti.

## POPIS LITERATURE

1. Ambra, T., Caris, A., Macharis, C. (2019). Should I stay or should I go? Assessing intermodal and synchromodal resilience from a decentralized perspective. *Sustainability*, *11*(6), 1765.
2. Awwalin, R., Nugroho, S., Achmadi, T. (2021). Design of Lighter Aboard Ship (LASH) for distribution of goods in small islands: case study of Kangean archipelago. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 649, No. 1, p. 012049). IOP Publishing.
3. Bastiaansen, H. J. M., Nieuwenhuis, C. H. M., Zomer, G., Piest, J. P. S., van Sinderen, M., Dalmolen, S., Hofman, W. J. (2020). The logistics data sharing infrastructure: whitepaper august 2020, Breda: TKI Dinalog.
4. Behdani, B., Fan, Y., Wiegmans, B., Zuidwijk, R. (2014). Multimodal schedule design for synchromodal freight transport systems, *EJTIR*, *16*(3), 424-444.
5. Bektas, T., Crainic, T. (2007). *A brief overview of intermodal transportation* (Vol. 2007, No. 3, pp. 1-23), Cirrelt: Universite de Montreal.
6. Bendeković, J. Aržek, Z. (2008). *Transport i osiguranje*. Zagreb: Mikrorad.
7. Bešković, B., Golnar, M. (2020). Eliminating Barriers for Sustainable Transport Systems on Maritime Silk Road and Baltic–Adriatic Corridor under BRI, *Sustainability*, *12*(18), 7412.
8. Bock, S. (2010). Real-time control of freight forwarder transportation networks by integrating multimodal transport chains, *European Journal of Operational Research*, *200*(3), 733-746.
9. Boschian, V., Dotoli, M., Fanti, M. P., Iacobellis, G., Ukovich, W. (2010). A metamodeling approach to the management of intermodal transportation networks, *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, *8*(3), 457-469.
10. Božičević, D., Kovačević, D. (2002). *Suvremene transportne tehnologije*, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti.
11. Brochado, Â. F., Rocha, E. M., Costa, D. (2024). A modular iot-based architecture for logistics service performance assessment and real-time scheduling towards a synchromodal transport system, *Sustainability*, *16*(2), 742.
12. Cao, J., Zhang, J., Liu, M., Yin, S., An, Y. (2022). Green Logistics of Vehicle Dispatch under Smart IoT, *Sensors & Materials*, *34*(8), str. 3317-3338.

13. Chandra, S., Christiansen, M., Fagerholt, K. (2016). Combined fleet deployment and inventory management in roll-on/roll-off shipping. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 92(August), 43-55. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2016.03.014>
14. Choi, J. Y. (2011). A survey of single window implementation. *WCO research Paper*, 17, 11-20.
15. Clarke, M. A., Herber, R., Lorenzon, F., Ramberg, J. (2005). Integrated services in the intermodal chain (ISIC). *Final report Task B: Intermodal liability and documentation*.
16. Davies, I., Mason, R., Lalwani, C. (2007). Assessing the impact of ICT on UK general haulage companies. *International Journal of Production Economics*, 106(1), 12-27.
17. Dotoli, M., Fanti, M. P., Meloni, C. (2006). A signal timing plan formulation for urban traffic control. *Control engineering practice*, 14(11), 1297-1311.
18. Draganjac, I., Miklič, D., Kovačić, Z., Vasiljević, G., Bogdan, S. (2016). Decentralized control of multi-AGV systems in autonomous warehousing applications. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 13(4), 1433-1447.
19. El Makhoulfi, A. (2023). *AI Application in Transport and Logistics: Opportunities and Challenges*, Amsterdam: CoE City Net Zero.
20. ESCAP (2004). *Manual on modernization of inland water transport for integration within a multimodal transport system*, United Nations.
21. Gesing, B., Peterson, S. J., Michelsen, D. (2018). *Artificial Intelligence in Logistics. DHL/IBM joint report*. DHL Customer Solutions & Innovation.
22. Giannopoulos, G. A. (2004). The application of information and communication technologies in transport. *European journal of operational research*, 152(2), 302-320.
23. Grieger, M. (2003). Electronic marketplaces: A literature review and a call for supply chain management research. *European journal of operational research*, 144(2), 280-294.
24. Hackius, N., Petersen, M. (2017). Blockchain in logistics and supply chain: trick or treat?. In *Digitalization in Supply Chain Management and Logistics: Smart and Digital Solutions for an Industry 4.0 Environment. Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL), Vol. 23* (pp. 3-18). Berlin: epubli GmbH.
25. Harris, I., Wang, Y., Wang, H. (2015). ICT in multimodal transport and technological trends: Unleashing potential for the future. *International Journal of Production Economics*, 159, 88-103.
26. Hopkins, J., Hawking, P. (2018). Big Data Analytics and IoT in logistics: a case study. *The International Journal of Logistics Management*, 29(2), 575-591.



27. Kine, H. Z., Gebresenbet, G., Tavasszy, L., Ljungberg, D. (2022). Digitalization and automation in intermodal freight transport and their potential application for low-income countries. *Future Transportation*, 2(1), 41-54.
28. Liao, R., Liu, W., Yuan, Y. (2023). Resilience Improvement and Risk Management of Multimodal Transport Logistics in the Post-COVID-19 Era: The Case of TIR-Based Sea-Road Multimodal Transport Logistics. *Sustainability*, 15(7), 6041.
29. McKinsey. (2020). How nine digital frontrunners can lead on AI in Europe: Harnessing the opportunity of artificial intelligence in Europe's digital frontrunners. Dostupno na: [https://ained.nl/wp-content/uploads/2022/03/McKinsey\\_2020\\_How-nine-digital-frontrunners-can-lead-on-ai-in-europe.pdf](https://ained.nl/wp-content/uploads/2022/03/McKinsey_2020_How-nine-digital-frontrunners-can-lead-on-ai-in-europe.pdf) (23.05.2024.)
30. Mejjaouli, S. (2022). Internet of things based decision support system for green logistics. *Sustainability*, 14(22), 14756.
31. Merchan, A. L., Belboom, S., Léonard, A. (2020). Life cycle assessment of rail freight transport in Belgium. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 22, 1109-1131.
32. Nikolić, G. (2003). Multimodalni transport-čimbenik djelotvornog uključivanja Hrvatske u europski prometni sustav. *Zbornik radova Ekonomskog fakulteta u Rijeci: časopis za ekonomsku teoriju i praksu*, 21(2), 93-112.
33. OECD (2001). *Intermodal Freight Transport Institutional Aspects*, Pariz: Organisation for Economic Cooperation and Development.
34. Perego, A., Perotti, S., Mangiaracina, R. (2011). ICT for logistics and freight transportation: a literature review and research agenda. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 41(5), 457-483.
35. Rajsman, M. (2012). *Tehnologija cestovnog prometa*, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti.
36. Rodrigue, J. P. (2020). *The geography of transport systems*, New York: Routledge.
37. Ronko, D. (2005). Huckepack--modern transport technology, *Annals of DAAAM & Proceedings*, 327-329.
38. SESAR-JU. (2022). SESAR Innovation Pipeline: Air traffic management research and innovation. Dostupno na: <https://www.sesarju.eu/innovationpipeline2022> (06.07.2024.)
39. Soldo, R. (2016). *Model poslovanja međunarodnih špeditera nakon pristupanja Hrvatske Europskoj uniji*, Zagreb: Ekonomski fakultet.
40. Song, Y., Yu, F. R., Zhou, L., Yang, X., He, Z. (2020). Applications of the Internet of Things (IoT) in smart logistics: A comprehensive survey, *IEEE Internet of Things Journal*, 8(6), 4250-4274.

41. SteadieSeifi, M., Dellaert, N. P., Nuijten, W., Van Woensel, T., Raoufi, R. (2014). Multimodal freight transportation planning: A literature review, *European journal of operational research*, 233(1), 1-15.
42. TAP. (2000). Freight Intermodal: Final area report. 4th Framework Programme for RDT&D. Dostupno na: [ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/telematics/docs/tap\\_transport/freight\\_report.pdf](ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/telematics/docs/tap_transport/freight_report.pdf) (27.06.2024.)
43. Tapscott, D., Tapscott, A. (2018). How blockchain will change organizations, *MIT Sloan Management Review* 58(2), 10-13.
44. Taylor, J. C. (1993). Remove barriers to intermodal Transportation and Distribution, *Transportation & Distribution*, 34(4), 34-36.
45. Vasilj, A. Činčurak Erceg, B. (2016). *Prometno pravo i osiguranje*, Osijek: Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Pravni fakultet Osijek
46. Verweij, K. (2011). Synchronic modalities–Critical success factors, *Logistics yearbook edition*, 75-88.
47. Wang, J., Zhou, K., Xing, W., Li, H., Yang, Z. (2023). Applications, evolutions, and challenges of drones in maritime transport, *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(11), 2056.
48. Warren, S., Wolff, C., Hewett, N. (2019). Inclusive Deployment of Blockchain for Supply Chains: Part 1–Introduction. In *World Economic Forum* (Vol. 8).
49. Yavari, A., Bagha, H., Korala, H., Mirza, I., Dia, H., Scifleet, P., Shafiei, M. (2022). ParcEMon: IoT Platform for Real-Time Parcel Level Last-Mile Delivery Greenhouse Gas Emissions Reporting and Management. *Sensors*, 22(19), 7380. Dostupno na: [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Introduction\\_to\\_Blockchain\\_for\\_Supply\\_Chains.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_Introduction_to_Blockchain_for_Supply_Chains.pdf) (02.07.2024.)
50. Zelenika, R. (2006). *Pravo multimodalnoga prometa*. Rijeka: Sveučilište u Rijeci, Ekonomski fakultet u Rijeci
51. Zelenika, R., Jakomin, L., Lipičnik, M. (1998). Prometne i logističke znanosti u kaleidoskopu kompatibilnosti i komplementarnosti. *NAŠE MORE: znanstveni časopis za more i pomorstvo*, 45(1-2), 57-71.

## POPIS SLIKA

Slika 1. Utovar kočije s konjskom zapregom na željeznički vagon.....	3
Slika 2. Pretovar sa brodova na vlak .....	4
Slika 3. Multimodalni transportni sustav .....	8
Slika 4. Huckepack tehnologija.....	13
Slika 5. Bimodalna tehnologija .....	14



dorotea225@gmail.com



14. lipanj 1999.  
Frankfurt am Main, Njemačka



## Obrazovanje

### Grafički tehničar pripreme

- Škola za grafiku, dizajn i medijsku produkciju
- Getaldičeva ulica 2, 10 000 Zagreb, Hrvatska
- 2014. - 2018.

### Trgovina

- Ekonomski fakultet Zagreb
- Trg J.F. Kennedy 6, 10 000 Zagreb, Hrvatska
- 2019. - 2022.

### Menadžment i marketing maloprodaje

- Ekonomski fakultet Zagreb
- Trg J.F. Kennedy 6, 10 000 Zagreb, Hrvatska
- 2022. - Trenutno

## Vještine

- Engleski jezik - B2
- Sposobnost prilagodbe različitom profilu klijenata
- Sposobnost kreativnog razmišljanja i dizajna
- Jako dobro poznavanje MS office paketa
- Poznavanje Adobe Illustratora, Adobe InDesigna i Photoshopa
- Rad u Canvi
- Vozačka dozvola B kategorija

# DOROTEJA VALJAK

## Profil

Kroz dosadašnje obrazovanje i radno iskustvo razvila sam snažnu radnu disciplinu te se ističem kao marljiva i organizirana osoba. Iskustvo u "nail artu" omogućilo mi je da usavršim komunikacijske vještine, samostalno vodim poslovanje, uključujući narudžbu materijala i organizaciju rada te učinkovito poslujem u timskom okruženju uz poštivanje rokova i uputa.



## Radno iskustvo

### GFK - Market research company

- Anketar
- provođenje telefonskih, online i terenskih anketa s ciljem prikupljanja relevantnih podataka od ciljanih skupina ispitanika
  - 2015. - 2016.

### Reprint

- Praktikant
- sudjelovanje u procesu izrade i dizajniranja etiketa i ambalaže za različite proizvode
  - 06/2016. - 07/2016.

### Freelance Nail Technician

- Tehničar za ljepotu
- izvođenje usluga manikure, uključujući dizajn noktiju i njegu
  - oblikovanje, čupanje i bakanje obrva
  - lash&brow lift tretman
  - promocija i marketing
  - 2017. - sada

### Europa 92

- Prodavač i stilist
- prodaja i pružanje savjetodavne usluge kupcima u odabiru odjeće, s posebnim naglaskom na prodaju traperica
  - izvrsno poznavanje asortimana, trendova u modi i specifičnih karakteristika različitih modela traperica
  - 2018. - 2019.

### Ecco

- Prodavač
- rad u premium segmentu prodavaonice s fokusom na prodaju visokokvalitetne obuće danskog brenda ECCO
  - 2/2019. - 6/2019.

### Hervis

- Prodavač
- prodaja sportske opreme, odjeće i obuće i dodatka za razne sportske aktivnosti te rad u skladištu
  - 2020. - 2022.

### PBZ Card d.o.o.

- Administrativni asistent
- pomoćni poslovi u odjelu novog članstva, upravljanje dolaznim i odlaznim e-mailovima putem Microsoft Outlooka, blokade i aktivacije kartica prema zahtjevima klijenata, zatvaranje kredita i rata te rad u programu aseba live 2.0
  - 2021. - 2022.