

# Koncept pametnih luka

---

**Prelec, Antonio**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:644330>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-28**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -  
Institutional Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Antonio Prelec**

**KONCEPT PAMETNIH LUKA**

**DIPLOMSKI RAD**

Zagreb, 2022.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**KONCEPT PAMETNIH LUKA**

**SMART PORTS CONCEPT**

**DIPLOMSKI RAD**

Mentor: prof. dr. sc. Natalija Kavran

Student: Antonio Prelec

JMBAG: 0135245940

Zagreb, rujan 2022.

## **SAŽETAK**

Raznovrsna okolina morske luke koju ističe širok raspon poduzeća i sustava koji rade na različitoj opremi, stvara dinamično i zahtjevno okruženje. Moderne luke transformiraju se u pametne luke, što znači primjenu razvijenih i dostupnih rješenja koja zadovoljavaju trenutne i buduće izazove. Poteškoća je u tome što transformacija u pametnu luku podrazumijeva dugotrajan proces i ono što je danas inovativno i što čini luku inteligentnom, možda neće biti dostatno u budućnosti. Postojeća tehnička i tehnološka rješenja u sustavu luka usmjerena su uglavnom na digitalna rješenja, koja nisu dovoljna da u potpunosti ispune zadatke pametne luke. Intelligentna rješenja zahtijevaju integraciju na mnogim razinama, počevši od društvene, ekonomske i tehnološke dimenzije. Još je dug put do potpunog koncepta pametne luke koji vjerojatno nije posljednji korak u razvoju luka. Ipak, nema sumnje da su predvodnici pametnih luka europske morske luke, kao npr. luke Hamburg ili Rotterdam. U skladu s time, cilj ovog rada je prikazati pametne luke kao sljedeći neizbježan korak promjena u funkcioniranju sustava luka.

**KLJUČNE RIJEČI:** luke; pametne luke; inteligentna rješenja

## **SUMMARY**

The diverse environment of a seaport, highlighted by a wide range of companies and systems operating on various equipment, creates a dynamic and demanding environment. Modern ports are being transformed into smart ports, which means the application of developed and available solutions that meet current and future challenges. The difficulty is that the transformation into a smart port implies a long-term process and what is innovative today and what makes a port intelligent may not be enough in the future. The existing technical and technological solutions in the port system are focused mainly on digital solutions, which are not sufficient to fully fulfil the tasks of a smart port. Intelligent solutions require integration on many levels, starting from the social, economic and technological dimensions. There is still a long way to go before a complete smart port concept, which is probably not the last step in port development. However, there is no doubt that the leaders of smart ports are European seaports, such as the ports of Hamburg or Rotterdam. Accordingly, the aim of this paper is to present smart ports as the next inevitable step of change in the functioning of the port system.

**KEYWORDS:** ports; smart ports; intelligent solutions

Zagreb, 25. svibnja 2022.

Zavod: **Zavod za vodni promet**  
Predmet: **Inteligentni transportni sustavi u vodnom prometu**

## DIPLOMSKI ZADATAK br. 7007

Pristupnik: **Antonio Prelec (0135245940)**  
Studij: **Inteligentni transportni sustavi i logistika**  
Smjer: **Inteligentni transportni sustavi**

Zadatak: **Koncept pametnih luka**

Opis zadatka:

Opisati koncept pametne luke. Analizirati mogućnosti nadogradnje klasične luke implementacijom tehnologija pametnih luka i poboljšanja procesa u lukama, te umreženosti komponenata pametne luke.

Mentor:



---

prof. dr. sc. Natalija Kavran

Predsjednik povjerenstva za  
diplomski ispit:

---

# SADRŽAJ

<b>SAŽETAK</b> .....	<b>I</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>I</b>
<b>SADRŽAJ</b> .....	<b>III</b>
<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KONCEPT PAMETNE LUKE</b> .....	<b>2</b>
2.1. GLAVNE FUNKCIJE I PREDNOSTI PAMETNIH LUKA .....	4
2.2. ARHITEKTURA PAMETNIH LUKA .....	4
2.2.1. <i>Inteligentni informacijski sustav</i> .....	5
2.2.2. <i>Upravljanje pametnim plovilima</i> .....	5
2.2.3. <i>Inteligentan protok prometa</i> .....	6
2.2.4. <i>Infrastruktura pametne luke</i> .....	6
2.2.5. <i>Sustav pametnih kontejnera</i> .....	7
<b>3. TEHNIČKE INOVACIJE PAMETNIH LUKA</b> .....	<b>8</b>
3.1. KORACI RAZVOJA LUKE .....	8
3.2. TRENDОВI PAMETNIH LUKA .....	10
3.3.1. <i>Trendovi pametnih luka</i> .....	10
3.2. STRATEGIJA DIGITALNE TRANSFORMACIJE PAMETNIH LUKA .....	12
3.3. <i>TEHNOLOGIJE PAMETNIH LUKA</i> .....	12
3.3.1. <i>Internet stvari</i> .....	13
3.3.2. <i>Tehnologija velikih podataka</i> .....	14
3.3.3. <i>Automatizacija</i> .....	15
3.3.4. <i>Virtualna pohrana</i> .....	16
3.3.5. <i>Fiksni pristup i bežične tehnologije</i> .....	16
3.3.6. <i>Blockchain</i> .....	17
3.3.7. <i>Umjetna inteligencija i strojno učenje</i> .....	18
3.3.8. <i>Virtualna i proširena stvarnost</i> .....	18
3.3.9. <i>3D ispis i aditivna proizvodnja</i> .....	19
3.4. PAMETNE APLIKACIJE.....	19
<b>4. IMPLEMENTACIJA SUSTAVA PLANIRANJA ZA PAMETNU LUKU</b> .....	<b>22</b>

4.1. ZAHTJEVI ZA POČETAK RAZVOJA PAMETNE LUKE.....	22
4.2. STUPNJEVITA STRATEGIJA ZA RAZVITAK PAMETNE LUKE.....	24
4.3. KRATKOROČNI, SREDNJOROČNI I DUGOROČNI PLAN IMPLEMENTACIJE	25
4.3.1. Model upravljanja.....	25
4.3.2. Organizacijski model.....	26
4.3.3. Definiranje ciljeva i pokazatelja za praćenje plana.....	26
<b>5. PAMETNE LUKE U KONTEKSTU INTELIGENTNIH</b>	
<b>TRANSPORTNIH SUSTAVA.....</b>	<b>27</b>
5.1. KONCEPT INTELIGENTNIH TRANSPORTNIH SUSTAVA.....	27
5.2. VAŽNOST ITS-A U INTERMODALNOM PROMETU ZA PAMETNE LUKE.....	28
<b>6. USPOREDBA POSTOJEĆIH I BUDUĆIH PAMETNIH LUKA.....</b>	<b>31</b>
6.1. LUKA ROTTERDAM.....	31
6.2. LUKA HAMBURG.....	32
6.3. LUKA ANTWERPEN.....	34
6.4. LUKA SINGAPUR.....	36
6.5. LUKA SHANGHAI.....	38
<b>7. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>41</b>
<b>LITERATURA.....</b>	<b>42</b>
<b>KAZALO KRATICA.....</b>	<b>43</b>
<b>POPIS SLIKA.....</b>	<b>44</b>
<b>POPIS TABLICA.....</b>	<b>45</b>

# 1. UVOD

Nestabilnost ekonomskih uvjeta u prošlom desetljeću i porast globalne konkurentnosti doveli su do snažnih inovacijskih trendova, posebice u razvijenim zemljama. Također, djelovali su i kao glavni pokretači četvrte industrijske revolucije, koja se naziva i „Industrija 4.0“. Ovu revoluciju pratila je pojava novih tehnoloških rješenja kao što su Internet of Things i Big Data, koja stvaraju brojne razvojne mogućnosti za industriju te ujedno pridonose razvoju upravljanja opskrbnim lancem i logistike.

Budući da su dio većih transportnih i logističkih lanaca, luke su u jedinstvenoj poziciji da u potpunosti iskoriste potencijal koji stvaraju nova dostignuća napredne tehnologije. Nove tehnologije primjenjuju se u različitim okruženjima, od optimizacije transporta do sustava upravljanja skladištem i transportom. Postati pametna luka znači razvijati rješenja za rješavanje sadašnjih i budućih izazova s kojima se luke suočavaju. Odabir odgovarajućih tehnologija, njihova implementacija i određivanje načina na koji će podržati lučku strategiju predstavlja glavni izazov.

U drugom poglavlju predstavljen je koncept pametne luke. Koncept pametne luke temelji se na automatizaciji rada te na međusobnom povezivanju svih sudionika u lučkim procesima. U poglavlju je obrađena cjelokupna arhitektura sustava pametne luke koja je važna za razvoj sustava. S obzirom da lučki logistički sektor ima ključnu ulogu u održivosti globalnih opskrbnih lanaca, opisane su glavne funkcije i prednosti pametne luke.

Treće poglavlje odnosi se na razvoj i tehničke inovacije koje se implementiraju u sustav pametne luke. U poglavlju su opisani koraci razvoja luke te inovativni trendovi primjene inteligentnih koncepata koji se pojavljuju u lučkim okruženjima. Detaljno su obrađena rješenja novih tehnologija kao i načini implementacije tih rješenja.

Četvrto poglavlje sadrži strategije transformiranja u pametnu luku. Definirani su ključni aspekti pri razvijanju pametne luke. Poglavlje sadrži detaljan opis zahtjeva koje je potrebno ispuniti u sklopu transformacije u pametnu luku. Opisani su modeli i planovi implementacije te načini definiranja ciljeva unutar plana.

U petom poglavlju predstavljen je koncept inteligentnih transportnih sustava kao kombinacija tehnologija koje značajno unapređuju transportni sustav, a na taj način i intermodalni promet. S obzirom da luka predstavlja čvorište različitih oblika transporta, intermodalni promet igra iznimno bitnu ulogu u sustavu pametne luke. U poglavlju je obrađena uloga ITS-a u intermodalnom prometu i prednosti koje je moguće ostvariti.

Šesto poglavlje sadrži usporedbu postojećih i budućih pametnih luka. U poglavlju su opisane neke od najvećih svjetskih luka i pametna rješenja kojima raspolažu. Također, obrađen je njihov budući plan razvoja te nova rješenja koja testiraju i nastoje implementirati.



## 2. KONCEPT PAMETNE LUKE

Tehnološke inovacije i podjela rada imale su značajan utjecaj na lučku industriju. Velik broj tvornica pojavio se nakon revolucije u sedamnaestom stoljeću, što je dovelo do brzog porasta trgovine koju su obavljale luke. To je razdoblje obilježeno pojavom brodarskih kompanija i specijaliziranih lučkih operatera, poput East India Company. Kasnije, tijekom Drugog svjetskog rata, Elizabeth Quay u New Yorku opremljen je mosnim dizalicama, utirući put eri razvoja i korištenja kontejnera.

Moderne luke oblikovale su se u dvadesetom stoljeću. Tehnološke inovacije, liberalna regulatorna kontrola i logistička integracija sudionika lučkog sustava donijele su nove promjene i pravce razvoja. U nekim zemljama, radi poboljšanja učinkovitosti i smanjenja fiskalnog opterećenja, luke su povjerene profesionalnim lučkim operaterima. Pojavom kontejnerskog brodarstva, počinju se primjenjivati informacijske tehnologije, prihvaćati standardi i informacijski sustavi koji omogućuju učinkovitije planiranje, razmjenu informacija i upravljanje lučkim operacijama.

Slijedeći ideju pametnih gradova, razvijen je koncept pametnih luka potaknut potrebom za učinkovitijom komunikacijom i brigom za okoliš. Pametna luka ideja je bez konkretne definicije te predstavlja modernu perspektivu razvoja luke i brodarstva. Ideja pametnih luka obuhvaća cjelokupni proces digitalizacije, povećanja efikasnosti poslovanja u lukama, integraciju s gradovima i dobivanja energije iz alternativnih izvora.

Pametna luka rabi digitalne tokove podataka sa svrhom jačanja suradnje, usklađivanja aktivnosti i donošenja odluka koje unaprjeđuju ključne procese u lučkim operacijama. Neki od vidljivih trendova jesu:

- Pametne tehnologije koje informiraju o stanju i korištenju fizičke infrastrukture uz pomoć ugrađenih senzora;
- Digitalno povezano rukovanje teretom čime se povećava kapacitet rukovanja i produktivnost svih sudionika u procesu;
- Sustavi integracije pomorskog i intermodalnog prometa kako bi se osigurali pravovremeni dolasci, ukrcaji i iskrcaji tereta;
- Digitalni alati za praćenje kretanja pomorskih i kopnenih prijevoznika pomoću GPS sustava i senzora za nadzor prometa;
- Sigurnosno korištenje digitalnih tehnologija za zaštitu zaposlenika, objekata i infrastrukture;
- Digitalna rješenja za prikupljanje i analizu podataka o potrošnji energije i utjecaja na okoliš;
- Pametna imovina koja omogućuje procese bez papira korištenjem tehnologije Internet stvari za podršku u donošenju odluka.

S obzirom da poslovni model traženja konkurentske prednosti i profitabilnog rasta koji se temelji na uslugama ukrcaja i iskrcaja više nije održiv, glavne luke diljem svijeta počele su proučavati razne inicijative za nadogradnju i transformaciju s ciljem stvaranja diferencirane vrijednosne ponudu i ostvarivanja konkurentske prednosti. Nadogradnja luke uključuje:

- Inteligentne operacije
- Inteligentnu unutarnju logistiku
- Koordinirani razvoj povezanih luka i pametnih gradova

Digitalizacija i integracija suvremenih tehnologija, usvajanjem inovativne informacijske tehnologije i informacijskih sustava, omogućili su visoku razinu automatizacije lučkih postupaka, posebno u kontejnerskim terminalima. Shodno tome, informacijski sustavi i tehnologije mogu se uočiti u gotovo svim lučkim procesima te su na taj način postali neizostavan dio luka i ključni element u uspjehu lučkih operacija. Rukovanja sve većim količinama trgovine i većim brodovima, promjene u načinima proizvodnje, rastuće količine prometa i brza urbanizacija ne ide u korist lukama koje zbog tih razloga ne uspijevaju potpuno integrirati odgovarajuće sustave. Luke su obavezne promicati veću dostupnost, povećanu ekološku svijest i poboljšanu reakciju s ciljem izbjegavanja smetnji koje kasnije imaju negativan utjecaj na logističke lance. To uključuje razvijanje elektroničkog jedinstvenog prozora za ispunjavanje regulatornih zahtjeva povezanih uz uvoz, izvoz i prekrcaj.

U kontekstu Industrije 4.0 i pametne logistike, opskrbni lanci su doživjeli značajne promjene. Stoga te promjene prati globalni gospodarski rast i razvoj. To je stvorilo potrebu za novom konfiguracijom i dizajnom opskrbnog lanca te pojavu izazova održivosti za sinkronizaciju razvoja luke. Izazovi luke proizlaze iz složenosti pomorskih mreža zbog:

- 1) strukturnih i geografskih promjena u proizvodnji, distribuciji i potrošnji,
- 2) strukturnih promjena u međunarodnoj trgovini koje proizlaze iz novih sporazuma o slobodnoj trgovini,
- 3) povećane konkurencije iz luka oko svijet,
- 4) teroristički napadi i druga sigurnosna pitanja,
- 5) prirodne katastrofe i druga ekološka pitanja. Svi ovi čimbenici učinili su opskrbni lanac manje fleksibilnim i manje učinkovitim.

Također, pametna luka je fokusirana na podatke na način da može proizvoditi, upravljati i dijeliti povezane informacije. Shodno tome, pametne luke igrat će ključnu ulogu kao pružatelj podatkovnih usluga u podatkovnom gospodarstvu, čime se dodatno povećava njihov značaj.

## 2.1. GLAVNE FUNKCIJE I PREDNOSTI PAMETNIH LUKA

Svrha pametnih luka je zadovoljiti potrebe korisnika luka pružanjem većeg stupnja učinkovitosti, transparentnosti i sigurnosti. Glavne značajke napredne pametne luke uključuju:

- Kombinaciju tehnologije i prikupljanja/distribucije podataka i informacija za upravljanje operacija unutar i izvan luke
- Razmjenu informacija s operaterima, lučkom zajednicom i dionicima
- Integraciju s okolnim teritorijem pametne luke (grad, regija, država) i pametnom transportnom infrastrukturom (cesta, željeznica, rijeka)

Pametne luke mogu pomoći u interakciji s vanjskim tvrtkama uz veću točnost, otvorenost i transparentnost, poboljšane odnose i poslovnu učinkovitost. Smanjenjem štetnih emisija, pametne luke mogu postati ekološki prihvatljive.

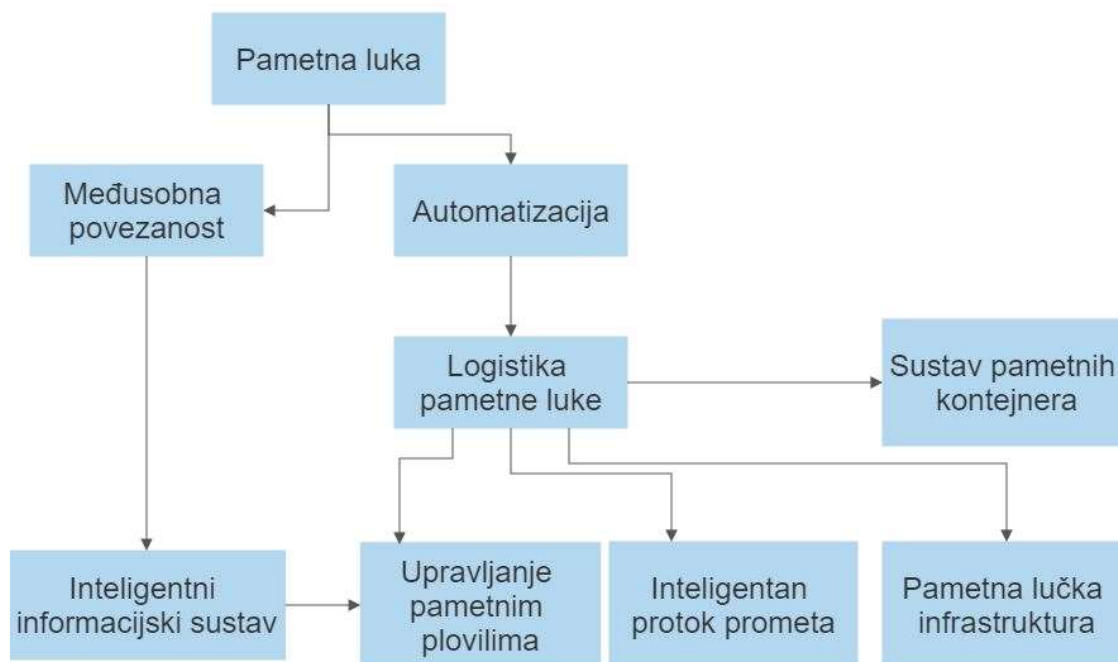
Još jedna prednost pametnih luka je da oni ne samo da pružaju napredak u opremi i/ili objektima, već i cjelovito rješenje koje se bavi održivošću, učinkovitošću, produktivnošću, komunikacijom i transparentnošću.

Konkretno koristi koje povezani dionici mogu steći putem pametne luke:

- Ubrzavanje vremena odgovora na tranzit robe kroz unaprjeđenja lučkih operacija
- Smanjeni troškovi i vrijeme za rukovanje teretom
- Ubrzavanje vremena odgovora korisnicima
- Smanjuje korištenje papira razmjenu informacija elektroničkim putem
- Poboljšava praćenje i operativnu efikasnost
- Optimizira lučke procese kao što su ukrcaj, iskrcaj, skladištenje itd.
- Pojednostavljuje proces rada
- Pružanje podataka o statusu tereta u stvarnom vremenu
- Sposobnost pružanja usluge na zahtjev *Big Data* analizom
- Poboljšano planiranje vezova, opreme za rukovanje, uvjeta skladištenja itd.
- Detekcija različitih rizika u pomorskom prometu, kao što su nepovoljni vremenski uvjeti ili visoke razine kontaminacije
- Poboljšanje i racionalizacija unutarnje i vanjske suradnje

## 2.2. ARHITEKTURA PAMETNIH LUKA

Lučki logistički sustav uključuje regionalni okolišni sustav, infrastrukturni sustav, logistički informacijski sustav, sustav podrške poslovnoj koordinaciji, dobro definiran distribucijski sustav i sustav koji je blizak lučkoj industriji. Oni se međusobno nadopunjuju, blisko su povezane i zajedno tvore lučki logistički sustav.



Slika 1. Shematski prikaz sistematike pametne luke

### 2.2.1. Inteligentni informacijski sustav

Pametne luke imaju za cilj usvojiti suvremene informacijske tehnologije kako bi se omogućilo bolje planiranje i upravljanje unutar i između luka. Kada govorimo o povezanoj luci, mislimo na sve tehnologije koje omogućuju olakšavanje administrativnih procedura i bolje upravljanje teretnim prometom. Sve to zahtijeva optimalno upravljanje fizičkim tokovima i informacijama za savršenu kontrolu lučkog lanca. Stoga se njihova uloga promijenila posljednjih godina kako bi se uklopila u integrirani logistički svijet. Upravljački informacijski sustav konačno bi postao koherentan čime bi se donositelju odluka dala bolja čitljivost tokova aktivnosti i mnogo točnija mogućnost simulacije.

### 2.2.2. Upravljanje pametnim plovilima

Inteligentni i autonomni brod nadomak je realizacije u bližoj budućnosti. Rezultat je to nove četvrte industrijske revolucije koja se brzo približava. Četvrta industrijska revolucija rezultat je ogromnog povećanja količine prikupljenih, pohranjenih, obrađenih i prenesenih informacija.

Trenutno se raspravlja o tome hoće li inteligentni brodovi biti potpuno autonomni, daljinski upravljani ili s posadom, tko će biti odgovoran za dotično plovilo i kako će pametni brodovi utjecati na brodarstvo. Nedavni trend dizajniranja učinkovitijih i svestranijih brodova omogućuje različite inteligentne arhitekture luka. Kako bi se poboljšala izvedba s ovim arhitekturama, potrebne su inteligentne strategije upravljanja.

Jednostavnije rečeno, pametni brod povezan je s pametnom lukom kako bi automatski surađivao u planiranju pristajanja u luku, u pripremi operacija rukovanja teretom i rukovanja radom i materijalima te u organizaciji prijevoznika kamiona. To poboljšava upravljanje flotama

i smanjuje vrijeme čekanja plovila na pristaništu, kao i vrijeme neaktivnosti. Ovakva suradnja broda i luke ima značajan marketinški učinak da luka postane pametna luka.

### **2.2.3. Inteligentan protok prometa**

Cilj sustava za upravljanje prometom je iskoristiti ovu informacijsku infrastrukturu za tumačenje različitih stanja protoka prometa i reagiranje u skladu s tim kako bi se održala ili poboljšala cjelokupna izvedba nadzirane mreže. Ovakva aktivnost očito zahtijeva inteligentno ponašanje sustava. Učinkovit način postizanja ove vrste inteligentnog ponašanja je pružiti sustavu znanje o strukturi i dinamici kontrolirane mreže. Ovo znanje dobivaju ljudski operateri i koristi se za prepoznavanje kritičnih prometnih situacija, kao i za odlučivanje o najprikladnijim kontrolnim radnjama koje treba poduzeti, što govori u prilog konceptu inteligentnih sustava upravljanja prometom kao sredstvu integracije sve složenije infrastrukture za kontrolu prometa.

U tradicionalnoj detekciji prometa, infracrveni sustavi detekcije najčešće se koriste zbog svoje sposobnosti brojanja prometa. Međutim, kada vozila putuju ili preblizu jedno drugom ili paralelno velikom brzinom, takav sustav detekcije prometa može lako napraviti pogrešnu procjenu, što rezultira neuspjehom navodno inteligentnog sustava prometne signalizacije da prilagodi vrijeme prometnih signala. Međutim, kontroler uključuje komunikacijski algoritam prometnog sustava i vremenski algoritam prometnog signala koristeći predloženu WSN tehnologiju.

### **2.2.4. Infrastruktura pametne luke**

Pametne luke hitno moraju biti integrirane kroz tehnologije Interneta stvari kako bi se osiguralo učinkovito dijeljenje podataka i kontinuitet lučkih usluga. Drugim riječima, pametne luke su nova generacija luka, s novom inteligentnom lučkom infrastrukturom i integriranim, inteligentnim upravljanjem i uslugom.

Dakle, uspostavljanje inteligentne infrastrukture je imperativ kako bi se osigurali nesmetani i učinkoviti tokovi tereta i tokovi prometa. Inteligentna informacijska tehnologija sastoji se od elemenata kao što su Bluetooth, WLAN, oblak, mobilni uređaji, Internet stvari i *Big Data*. Štoviše, luke su regionalna multimodalna sjecišta globalnih opskrbnih lanaca. Oni funkcioniraju u kontekstu složene infrastrukture, poslovnih transakcija i propisa. S obzirom da globalno gospodarstvo zahtijeva pomorski prijevoz, luke se suočavaju sa sve većim pritiskom da optimiziraju svoje performanse u smislu ekonomskih, ekoloških, energetske i funkcionalnih izazova koji utječu na njihovu održivost.

Pametna luka ima svu informacijsku infrastrukturu i strukturu, najnovije tehnologije u području telekomunikacija, elektronike i mehanike. Posljedično, potrebna je odskočna daska za softversku infrastrukturu kako bi nam omogućila brzu izradu prototipa inteligentnih ili kontekstualno svjesnih usluga unutar takvog okruženja. Osim toga, ova tri stupa, a to su: povjerljivost, cjelovitost i dostupnost, čine temelj koncepta infrastrukture pametne luke.

### 2.2.5. Sustav pametnih kontejnera

Već dugi niz godina jedan od glavnih ciljeva za postizanje pametne luke je evolucija sustava kontejnera. Koncept pametnog kontejnera je učiniti kontejner inteligentnim tako da može pružati korisne, ciljane informacije u stvarnom vremenu. Omogućuje svim akterima (prijevoznicima, špediterima ili krajnjim kupcima) da imaju informacije s dodanom vrijednošću koje odražavaju stvarni napredak prijevoza i status robe. Te su informacije ključne za prijevoznike kako bi poboljšali svoje usluge, ali i za njihove klijente kako bi im pomogli u upravljanju opskrbnim lancem. Pametni kontejner može se smatrati pomagačem dijeljenja podataka. Ukratko, pametni kontejner ključni je element intermodalne koordinacije i upravljanja iznimnim procesima. Može otkriti i prenijeti informacije u stvarnom vremenu vezane uz intermodalni transport te poboljšati logistiku.

Budući da su kontejneri gusto raspoređeni u luci, teško ih je identificirati i efikasno prenijeti podatke. Kako bi zaštitili teret od oštećenja, krađe i terorističkih prijetnji, tvrtke i vlade okreću se bežičnim sensorima i RFID oznakama. RFID oznake na kontejnerima uvedene su kako bi se kontejnerske pošiljke pratile na putu do odredišta. Glavna namjena im je bila zaštita tereta od oštećenja, krađe i terorističkih prijetnji.

2018. godine predložena je WSN tehnologija (eng. WSN – wireless sensor networks) ili bežične senzorske mreže koje mogu biti vrlo korisne kada se koriste za prikupljanje i slanje podataka prikupljenih na velikim područjima, a koristili su informacijsku i komunikacijsku tehnologiju za brzi odabir visokog rizika i za razvoj sigurnih i "pametnih" kontejnera, ali rezultati su pokazali da ova tehnologija nije u stanju usmjeravati komunikaciju između više kontejnera. Uspostavljena je bežična veza između kontejnera i mobilne mreže, odnosno komunikacija izvan kontejnera i komunikacija unutar kontejnera kako bi se omogućila komunikacija izvana prema unutrašnjosti kontejnera i obrnuto. Osim toga, stvorena je decentralizirana mreža komunikacije između naslaganih kontejnera. Izazov je pronaći inovativna rješenja za uravnoteženje zahtjeva za uslugama uz integriranje automatizirane i neautomatizirane opreme za rukovanje teretom u kontejnerskim terminalima kako bi se osigurala održivost, sigurnost i sigurnost.

### 3. TEHNIČKE INOVACIJE PAMETNIH LUKA

Budući da se globalno okruženje sve brže mijenja, industrija pomorskog prometa mora konstantno težiti što većem stupnju digitalizacije i održivosti kako bi zadovoljila korisnikove zahtjeve te ujedno ispunila izazovne ciljeve održivosti. Drugim riječima, luke koje žele zadržati konkurentsku moć moraju usvojiti digitalizaciju i implementirati suvremene tehnologije kako bi stvorile produktivne, učinkovite i konkurentne luke.

Inovacije lučkih procesa i uvođenje najnovijih tehnologija vrlo su važni koraci u oblikovanju budućnosti za razvoj pametnih luka. Luke moraju obratiti pozornost na digitalizirano lučko poslovanje te na koji način uskladiti aplikacije temeljene na 4. industrijskoj revoluciji s postojećim sustavom. Za luku je važno da uvede neke od tehnologija u nastajanju, poput *blockchain* tehnologije, umjetne inteligencije i strojnog učenja, robotike itd. Također, još jedan od ključnih zahtjeva je učinkovito prikupljanje podataka.

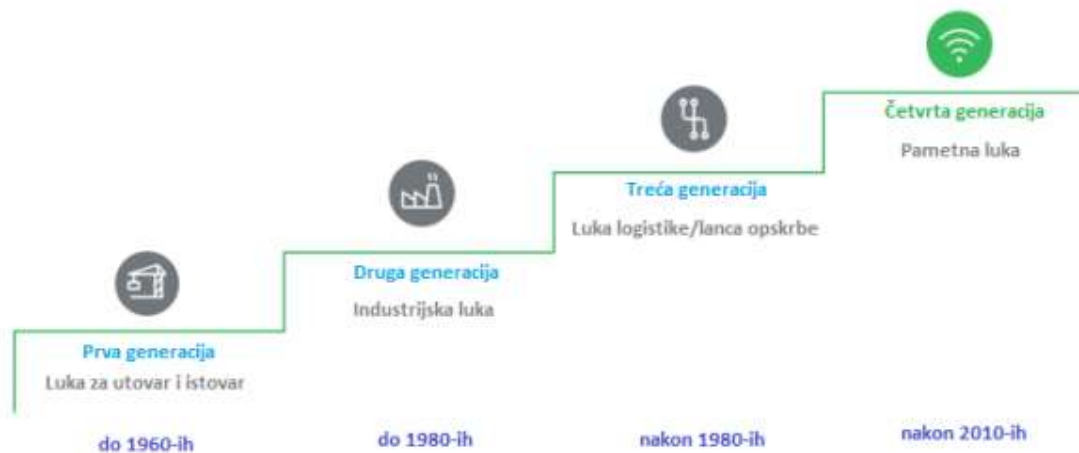
Pojam pametnih luka ne znači samo digitalizaciju luka, već i modernizaciju koja ima najmanje negativnih utjecaja na okoliš. U tom pogledu, najbolje strategije su minimiziranje ugljičnog otiska, poboljšanje kvalitete zraka te održiv način rukovanja s otpadom. Naposljetku, kako bi cjelokupni opskrbeni lanac bio u integraciji s lučkim aktivnostima i operacijama, potrebno je omogućiti besprijekornu logistiku.

Na putu transformacije u pametne luke, luke diljem svijeta trebale bi uvoditi konstantna poboljšanja u operativnim procesima. Pametne luke su učinkovitije, inovativnije i više usmjerene na korisnika, čime im se omogućuje korištenje svih raspoloživih resursa i kapaciteta kako bi upravljale lučkim operacijama na održiv način. Takve luke, s učinkovitom administracijom, postati će trajno održive i konkurentne.

#### 3.1. KORACI RAZVOJA LUKE

Gledajući razvoj i evoluciju funkcionalnih i strukturnih elemenata unutar luka tijekom posljednjih nekoliko desetljeća, razvoj luke može se podijeliti na tri generacije:

1. Luke prve generacije su luke ukrcaja i iskrcaja (do 1960. godine)
2. Druga generacija luka odnosi se na industrijske luke (do 1980. godine)
3. Treća generacija luka je logistička luka povezana s opskrbnim lancem (nakon 1980. godine)



Slika 2. Faze razvoja luke

Svaka generacija donosi nove funkcije i novi fokus. Digitalizacija koja se događa u današnje vrijeme omogućuje luci da ispuni ulogu pružatelja usluga, premda ne u fizičkom smislu usluga kao što su operacije upravljanja s teretom, već kao pružatelj podataka. To znači da treća faza zapravo prethodi četvrtoj fazi, fazi u kojoj će se ostvariti digitalizacija lučkih djelatnosti što će rezultirati novim uslugama koje će zamijeniti ili unaprijediti tradicionalne lučke usluge.

Prava pametna luka koristi puni potencijal suvremenih tehnologija kako bi bila u stanju prepoznati nove poslovne modele u sklopu cjelokupnog ekosustava pametne luke. Najveći izazov javlja se unutar procesa integracije ponude i potražnje i sektora transporta i logistike, gdje je potrebno stopiti ne samo logističke tvrtke i dobavljače već i same klijente.

Luke su zauzele mjesto u opskrbnom lancu u kojem se ponuda i potražnja sastaju. Jednostavnije rečeno, one predstavljaju fizički dio poslovnog modela platforme.

Luke se moraju fokusirati na platformu koju su stvorile, mjesto gdje se sastaju dvije strane s ciljem stvaranja vrijednosti. To znači da se dostupnost ponude s jedne strane tržišta odražava na ukupni opseg transakcija s druge strane tržišta. U kontekstu luke, poslovanje platforme čini iskorak u odnosu na tradicionalni balans ponude i potražnje u kojem je luka vlasnik zemljišta i davatelj usluga za dolaznu i odlaznu logistiku. Model lučke platforme predstavljale bi tri strane:

- Ponuda – strana tržišta koja uključuje ulazne logističke tvrtke, vlasnike brodova, operatore terminala, pružatelje pomorskih usluga itd.
- Platforma – lučka uprava omogućava fizičku/poslovnu platformu za ispunjavanje ponude i potražnje
- Potražnja – strana tržišta koja obuhvaća inozemne logističke tvrtke, proizvođače unutar i izvan luke i distributere koji žele proučiti materijale i proizvode



## 3.2. TRENDОВI PAMETNIH LUKA

U kontekstu Industrije 4.0 i pametne logistike, opskrbni lanci podvrgnuti su drastičnim promjenama. Promjenama koje su popraćene neprestanim rastom i razvojem globalnog gospodarstva. To je stvorilo potrebu za novom konfiguracijom i dizajnom opskrbnog lanca te pojavu izazova održivosti.

Nakon pojave tehnologija Internet informacija (eng. Internet of Information) i Internet usluga (eng. Internet of Services), tehnologija prolaz kroz proces inovacije direktno povezan s usponom Internet stvari (eng. Internet of Things) i Internet vrijednosti (eng. Internet of Value).

### 3.3.1. Trendovi pametnih luka

U pametnim lukama nalazimo skup rastućih digitalnih tehnologija koje pokreću inovacije i digitalnu transformaciju proizvoda, usluga, procesa, marketinga, prodaje i poslovanja u pet glavnih područja ili trendova:

#### 1. Digitalizacija

S ciljem zamjene ručnih i tehnološki zastarjelih procesa u kopnenom i pomorskom prometu, neke od najvećih svjetskih luka počele su razvijati učinkovitiju strategiju temeljenu na načelu digitalizacije i upravljanja informacijama.

Informacije su vrlo važna imovina koja može voditi do značajnih poboljšanja u efikasnosti ukoliko se pravilno obrađuje i upravlja na ispravan način. Njihova sposobnost unaprjeđenja učinkovitosti posebno je relevantna za luke, koje generiraju i razmjenjuju velike količine informacija vezanih uz procese kao što su ukrcaj i iskrcaj kontejnera, nadzor senzora za mjerenje emisija plinova, nadzor pristaništa itd.

U sklopu procesa digitalizacije, povezane luke trebaju koristiti digitalne platforme koje omogućuju upravljanje velikim skupom operacija povezanih s Industrijom 4.0. To omogućuje kupcima i tvrtkama povezivanje i komunikaciju s različitim pružateljima usluga kroz digitalni komunikacijski kanal. Strategija digitalizacije funkcionira implementiranjem drugih naprednih tehnoloških rješenja kao što su umjetna inteligencija, tehnologija velikih podataka, *blockchain* tehnologija i računalstvo u oblaku.

#### 2. Automatizacija i robotizacija

U kontekstu Industrije 4.0, pravilna automatizacija industrijskog okruženja trebala bi revolucionirati lanac proizvodnje dobara i usluga razvijanjem višeg stupnja produktivnosti i boljeg upravljanja resursima. Kao ključne komponente ovog procesa, pojava novih tehnologija poput 5G-a i Internet stvari igrati će ključnu ulogu u generiranju informacija i automatizaciji luke kroz razvoj kibernetičko-fizičkih sustava (eng. CPS – cyber-physical systems).

Kibernetičko-fizički sustavi, zajedno s drugim strojevima smještenim u terminalima, napajati će se električnom energijom i drugim obnovljivim izvorima, što će omogućiti lukama smanjenje količine goriva koju koriste i troškova održavanja strojeva. U sklopu procesa digitalizacije, automatizacija i robotizacija mogu izravno doprinijeti poboljšanju učinkovitosti u većini logističkih i lučkih procesa.

### 3. Novi poslovni modeli

Ispravan način digitalizacije i automatizacija luka otvoriti će vrata širokom rasponu novih poslovnih modela temeljenih na uporabi tehnologije za dijeljenje informacija i resursa. Točnije, pojava tehnologija poput *blockchaina* biti će ključni čimbenik u decentralizaciji transportnih i logističkih protoka informacija, pripremajući teren za nove modele u kojima upravitelji luka i korisnici stvaraju dodatnu vrijednost.

Unutar lučkog modela, *blockchain* se može koristiti za eksploatiranje vertikalnog, horizontalnog i geografskog modela suradnje dijeljenjem logističkih i transportnih informacija. Preciznije, *blockchain* se može primijeniti u sustavu praćenja tereta i kontejnera za uvoznike i izvoznike s ciljem poboljšanja praćenja i vidljivosti robe u stvarnom vremenu te kako bi se predvidjelo njeno kretanje u logističkim lancima. Ovakav novi model povećati će performanse i profit te smanjiti troškove, emisije stakleničkih plinova i preopterećenja radnog procesa.

### 4. Sigurnost

Pametne luke suočene su s rastućim rizikom od fizičkih i digitalnih napada zbog sve šire komercijalne aktivnosti i sve veće količine podataka i informacija koje se razmjenjuju u lukama. Prijevoz i rukovanje opasnom robom povećava rizik od nezgoda ili nemara tijekom procesa ukrcaja i iskrcaja. Ove činjenice naglašavaju potrebu za optimalnim sigurnosnim sustavima, i fizičkim i virtualnim, za luke i plovila.

Tehnologija Internet stvari može se koristiti za uspostavljanje potpune kontrole nad lučkim aktivnostima na temelju Industrije 4.0. Fiksni pristup i bežične tehnologije poput optičkih vlakana, LTE ili 5G moći će osigurati veliku propusnost, kao i potpunu dostupnost i pouzdanost za različite nadzorne uređaje kao što su kamere, radari i dronovi koji su u mogućnosti nadzirati kopnene, pomorske i zračne domene.

U virtualnoj dimenziji, sustavi kibernetičke sigurnosti moraju jamčiti brzu i učinkovitu zaštitu svih vrsta podataka koji se odnose na radnike i sustave. Kako bi se to postiglo, sustavi će integrirati različite komplementarne mehanizme poput digitalnih potpisa i certifikata, javnih i privatnih ključeva, sustava šifriranja i provjere autentičnosti te virtualne privatne mreže. Također će trebati sadržavati sustav ranog upozoravanja za borbu protiv kibernetičkih prijetnji.

### 5. Energija i okoliš

Jedan od glavnih ciljeva lučke tehnološke revolucije je smanjiti potrošnju energije i negativan utjecaj na okoliš kako bi se luke pretvorile u učinkovita i održiva gospodarska i trgovinska središta.

Korištenjem novih tehnologija kao što su Internet stvari, luke mogu učinkovitije upravljati prijevozom i kretati se prema održivom modelu u sklopu ostvarenja cilja dekarbonizacije luka. Prelazak na automatizirani model temeljen na električnoj energiji slijedit će uvođenje alternativnih goriva poput ukapljenog prirodnog plina ili uporaba obnovljivih izvora energije poput vjetra ili energije valova, što će omogućiti prijelaz na model s niskim emisijama stakleničkih plinova.

Razvoj pametnih mreža omogućuje nove mogućnosti za skladištenje viška električne energije i kasnijeg pretvaranja u vodik. U isto vrijeme, luke će implementirati različite sustave

za nadzor, upravljanje energijom i kontrolu različitih onečišćivača zraka, kao i sustav upravljanja prometom.

### **3.2. STRATEGIJA DIGITALNE TRANSFORMACIJE PAMETNIH LUKA**

Pojam digitalne transformacije odnosi se na integraciju digitalne tehnologije u sva područja poslovanja luke, potpuno mijenjajući način upravljanja i pružanja usluga. Takav pothvat zahtijeva neprestano eksperimentiranje koje često može rezultirati neuspjehom. Upravo iz tog razloga današnja poduzeća koriste najnoviju informacijsku tehnologiju kako bi unaprijedili postojeće operativne metode i usluge.

Prema IDC-u (eng. International Data Corporation), međunarodnoj tvrtki za istraživanje tržišta, digitalna transformacija označava primjenu novih tehnologija s ciljem drastične promjene procesa i korisničkog iskustva. Drugim riječima, digitalna transformacija je kontinuirani proces s kojim se poduzeće može prilagoditi korisnicima ili tržištima, ili utjecati na promjene istima koristeći suvremene digitalne mogućnosti za stvaranje i implementiranje novih poslovnih modela, proizvoda i usluga.

IBM definira digitalnu transformaciju kao strategiju koja mijenja poslovne modele integriranjem digitalnih i fizičkih elemenata te uspostavlja novi smjer u industriji. Dakle, digitalna transformacija je novi tijek promjena u procesu prilagodbe novim trendovima u digitalnom dobu. Takav tijek promjena nije ograničen na isključivo proizvode i usluge, već ga je potrebno primijeniti u gotovo svim poljima, uključujući organizacijsku estetiku poduzeća, poslovne modele i procese.

Strategija digitalne transformacije ne bi se u potpunosti trebala temeljiti na implementaciji novih tehnoloških rješenja, već je potrebno strukturno integrirati neke od navedenih rješenja kako bi se postigli poslovni ciljevi:

- Digitalizacija sustava je implementacija sustava novih tehnologija u svim područjima luke, u sklopu s održivim upravljanjem lučkih operacija i usluga
- Implementacija arhitekturnog okvira slabo povezane strukture i jednostavnog sučelja s vanjskim i unutarnjim sustavima kako bi luka bila učinkovitija, inovativnija i orijentirana na korisničke usluge
- Logističko i transportno okruženje potrebno je izmijeniti na temelju automatizacije i robotizacije s ciljem povećanja konkurentnosti transportnog i logističkog lanca

### **3.3. TEHNOLOGIJE PAMETNIH LUKA**

Tehnologije potrebne za pametne luke mogu se primijeniti na razvoj infrastrukture, objekata i prijevoznih sredstava za rukovanje teretom, upravljanje prometom, uspostavljanje sigurnosti te kao alat za energetske učinkovitost, praćenje korištenja energije itd. Suvremene tehnologije vezane uz pametne luke biti će predstavljene i opisane u sljedećim potpoglavljima.

### 3.3.1. Internet stvari

Internet stvari (eng. IoT – Internet of Things) se odnosi na umreženo povezivanje svakodnevnih predmeta koji su često opremljeni sveprisutnom inteligencijom. Smatraju se distribuiranim sustavima u sklopu kojih se stvari ili uređaji distribuiraju na različitim geografskim područjima koji mogu razmjenjivati informacije za izvršavanje brojnih zadataka na autonomne i pouzdane načine bez ikakvih ljudskih intervencija. IoT rješenja trebaju biti:

- Korisnički orijentirana – jednostavne i intuitivne metode za inicijalizaciju i umrežavanje uređaja, bez složenih i osjetljivih konfiguracijskih postupaka
- Skalabilna – omogućiti korisniku inicijalizaciju i umrežavanje velikog broja uređaja
- Mobilna – mogućnost postavljanja mreže na drugoj lokaciji
- Sigurna – potrebna je provedba odgovarajućih autentifikacijskih i autorizacijskih postupaka te šifriranje podataka

Osnove IoT tehnologije:

Radiofrekvencijska identifikacija (eng. RFID – Radio Frequency Identification) omogućuje automatsku identifikaciju i prikupljanje podataka pomoću radio valova, oznake i čitača. Oznaka može pohraniti više podataka od tradicionalnih crtičnih kodova. Oznaka sadrži podatke u obliku Elektroničkog koda proizvoda (EPC), globalnog sustava identifikacije predmeta temeljenog na RFID-u koji je razvio Auto-ID Center. Koriste se tri vrste oznaka: pasivne, aktivne i polupasivne.

Bežične senzorske mreže (eng. WSN – Wireless Sensor Networks) sastoje se od prostorno distribuiranih autonomnih uređaja opremljenih sensorima za praćenje fizičkih ili okolišnih uvjeta i mogu surađivati sa RFID sustavima radi boljeg praćenja statusa stvari kao što su njihov položaj, temperatura i kretanja. WSN dopušta različite mrežne topologije i multihop komunikaciju.



Slika 3. Dijagram sustava IoT

IoT olakšava razvoj bezbroj IoT aplikacija usmjerenih na industriju i korisnika. Dok uređaji i mreže pružaju fizičku povezanost, IoT aplikacije omogućuju pouzdanu i robusnu interakciju uređaj-uređaj i čovjek-uređaj. IoT aplikacije na uređajima moraju osigurati da su podaci/poruke primljeni i da se prema njima pravovremeno postupa.

Unutar luka, integracija IoT tehnologije je spremna poboljšati međusobnu povezanost svih vrsta objekata i senzora s vozilima i opremom koja se koristi u lukama, olakšavajući operacije ukrcaja, iskrcaja i transporta. U osnovi, industrijski IoT koristi se za izvođenje četiri osnovne operacije unutar luka: osjetljivost, pozicioniranje, međusobno povezivanje između uređaja i nadzor. Kada se te operacije izvode ispravno, IoT tehnologija može optimizirati različite aspekte procesa planiranja resursa, upravljanja tehnološkim sredstvima, mjerenja i evaluacije utjecaja na okoliš te razvoja sigurnosnog sustava za luku i terminal.

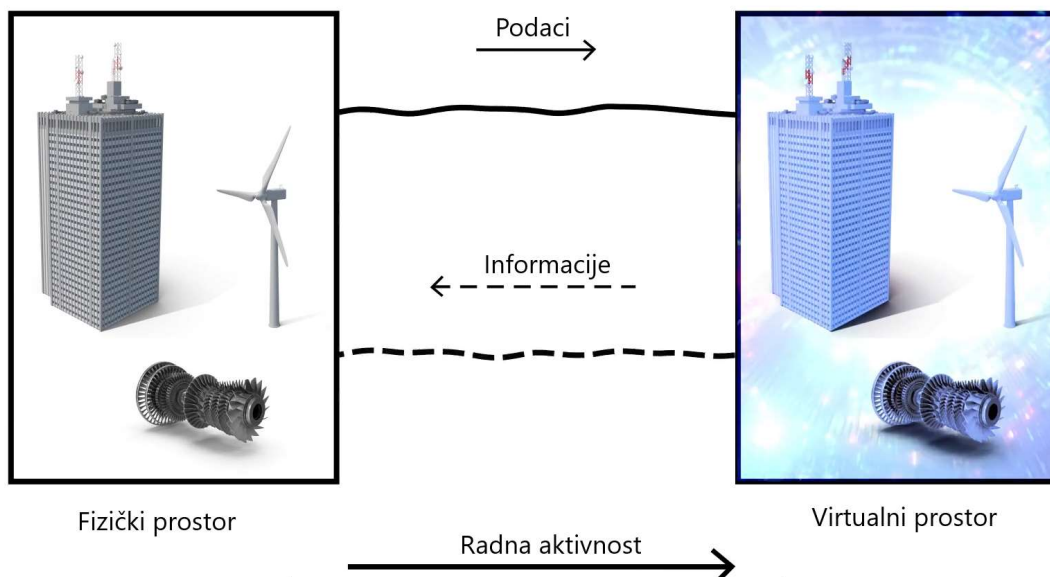
### 3.3.2. Tehnologija velikih podataka

*Big Data* tehnologija ili tehnologija velikih podataka predstavlja tehnologiju koja je namijenjena za prikupljanje, obrađivanje kao i analiziranje ekstremno velike količine podataka. S obzirom na suvremeni način života, konvencionalne tehnologije obrade podataka, poput baza podataka i skladišta podataka postaju neadekvatne za količinu podataka s kojima se bavimo. Pravilna obrada podataka mogla bi otkriti nova znanja o našem tržištu, društvu, i okolišu te nam omogućiti pravovremeno reagiranje na buduće promjene i mogućnosti.

U industriji se informacije koje bilježe senzori i uređaji mogu obrađivati u stvarnom vremenu i u velikoj mjeri korištenjem tehnologije velikih podataka, što omogućuje pohranjivanje, dijeljenje i praćenje svih vrsta podataka i statistike. Jedna industrijska primjena

velikih podataka je koncept digitalnih blizanaca, koji su digitalne replike ili prikazi fizičke imovine, obično sastavljene od skupa varijabli koje kada se kombiniraju i obrade mogu opisati i predvidjeti ponašanje industrijske imovine koju treba pratiti.

## Model Digitalnog blizanca



Slika 4. Prikaz modela digitalnog blizanca

Kada se primijeni na luke, tehnologija velikih podataka i digitalnih blizanaca sposobna je transformirati širok raspon operacija. Ova tehnologija može pohraniti različite tokove informacija iz mreža za logistiku, sensorizaciju i pozicioniranje te obraditi sve te informacije u stvarnom vremenu, što lukama omogućuje stvaranje višedimenzionalnih modela koji zatim pomažu optimizirati lance opskrbe luka, smanjujući kašnjenja i zagušenja i povećavajući učinkovitost različitih igrača i objekata.

### 3.3.3. Automatizacija

Industrijska automatizacija je skup tehnoloških rješenja koja omogućuju da se mehanički, hidraulički, pneumatski, električni, elektronički ili računalni sustavi ili elementi koriste za upravljanje strojevima i procesima, čime se smanjuje ljudska intervencija i povećava kontrola nad opremom i procesima. Automatizacija se može primijeniti na terminale te pomorska i zračna vozila koja se koriste u cijelom spektru logistike i lučkih operacija.

Automatizirani terminali su lučki kontejnerski terminali koji automatiziraju proces premještanja kontejnera unutar skladišta i između pristaništa i skladišta. Na terminalima je moguće automatizirati sustave kontrole pristupa na vratima terminala, operacije skladištenja i distribucije u teretnim dvorištima i dizalice na pristaništu za ukrcaj i iskrcaj kontejnera.

Automatizacija pomorskih i zračnih vozila uglavnom se odnosi na plovila i dronove. Povećanjem učinkovitosti operacija, smanjenjem troškova i stope nezgoda, brodovi na daljinsko upravljanje i potpuno autonomni brodovi revolucionirati će pomorski promet.

Dronovi se mogu koristiti za daljinsko pojednostavljenje različitih logističkih, nadzornih i upravljačkih zadataka povećanjem mobilnosti i pristupačnosti te smanjenjem ljudskih resursa i troškova logistike.

### **3.3.4. Virtualna pohrana**

S rastom industrijskih i komercijalnih segmenata, većina sustava za upravljanje, skladištenje i obradu digitalnih informacija prešla je na model virtualne pohrane, koji je osmišljen kako bi pružio pristup višestrukim uslugama na distribuiran i skalabilan način. Ovaj model uključuje tehnološka rješenja poput digitalnih spremnika, računalstva u oblaku i rubnog računalstva.

Digitalni spremnici su tehnološka rješenja koja se koriste za premještanje ili pokretanje softverskih aplikacija ili usluga na neovisan i izoliran način, kao da su maleni virtualni strojevi. Kontejner sadrži softverske aplikacije, omogućujući im migraciju na bilo koji operativni sustav na prenosiv i fleksibilan način. Unutar lučkih sustava, digitalni spremnici posebno su korisni za premještanje i pokretanje aplikacija temeljenih na mikro uslugama kao dio sustava za upravljanje lučkom zajednicom.

Računalstvo u oblaku je izraz koji se koristi za opisivanje pružanja računalnih usluga poput infrastrukture (poslužitelji i pohrana), platforme (baze podataka i programi), te aplikacija i drugih elemenata putem Interneta. Zahvaljujući svojoj fleksibilnosti i skalabilnosti, računalstvo u oblaku dobilo je široku upotrebu u lučkoj logistici, omogućujući tvrtkama i subjektima da koriste usluge i aplikacije niske latencije bez ulaganja u infrastrukturu.

Nadalje, veći promet u središnjim segmentima mreže doveo je većinu industrijskih i lučkih subjekata do primjene rubnog računalstva, koje se temelji na računanju i pohranjivanju dijela podataka blizu krajnjeg korisnika. U kontekstu luka, rubno računalstvo pruža distribuirani model koji olakšava pristup i obradu informacija generiranih u plovilima u stvarnom vremenu. To smanjuje zagušenje u središnjim čvorovima, čime se smanjuje kašnjenje u operacijama, potreba za propusnošću i potrošnja energije.

### **3.3.5. Fiksni pristup i bežične tehnologije**

Fiksni pristup i bežične tehnologije koriste se za slanje informacija koje generiraju svi uređaji, strojevi i korisnici u industriji i lukama.

Luke u velikoj mjeri koriste rješenja fiksnog pristupa kao što su ADSL ili optička vlakna za pružanje pristupa mrežnim uslugama i implementaciju lokalne i šire mreže koje povezuju računalnu opremu s poslužiteljima. Ove tehnologije omogućuju računalnoj opremi propusnost i kvalitetu usluge potrebnu za slanje glasovnih, podatkovnih, video i drugih vrsta informacija.

Luke koriste širok spektar bežične tehnologije za slanje informacija putem radiofrekventnih signala. Bežična tehnologija pruža veću pristupačnost za povezivanje različitih uređaja u sensorizaciji, nadzoru, i nadzornim mrežama. Ova kategorija rješenja uključuje široke i lokalne mreže, bežične tehnologije za kritične situacije i mobilne tehnologije.

Široke i lokalne bežične tehnologije vrlo su nerijetka rješenja u mnogim svakodnevnim i industrijskim kontekstima. Budući da je jeftina i jednostavna za implementaciju, Wi-Fi tehnologija je najčešće rješenje koje se rabi za davanje pristupa velikom broju korisnika putem lokalnih mreža. WiMax je bežična tehnologija za pristup širokopojasnim mrežama (eng. WAN – Wide Area Network) koje omogućuju konfiguraciju različitih mrežnih topologija, poput točka-točka, točka-više točaka i isprepletene mreže. WiMax čini mreže pouzdanijima i energetski učinkovitijima uspostavljanjem veza kraćeg dometa između različitih uređaja.

TETRA (eng. Terrestrial Trunked Radio) još je jedna bežična tehnologija koja se koristi, ovaj put za pružanje usluga u kritičnim situacijama. To je digitalni radijski standard koji se koristi za siguran prijenos glasa i malih količina podataka te informacije uz potpunu povjerljivost i integritet. Budući da je siguran i robusan i pruža dobra pokrivenost, TETRA se široko koristi za komunikaciju između različitih tijela javne sigurnosti kao što su vozila hitne pomoći, vatrogasci, subjekti civilne zaštite, civilne i lučke vlasti itd.

Mobilne tehnologije mogu se upotrebljavati za postavljanje malih i velikih mreža unutar lučkog okruženja koristeći koncepte podjele na stanice i ponovne uporabe frekvencije. Najnovije tehnologije unutar ove vrste rješenja su LTE i 5G New Radio.

LTE (eng. Long Term Evolution) je standard bežične komunikacije od točke do točke koji je dio četvrte generacije mobilnih komunikacijskih sustava (4G). Najnovija verzija LTE-a, nazvana LTE Advanced Pro, može ponuditi visoke širine pojasa preko mobilne tehnologije, nudeći velike brzine prijenosa pod različitom mobilnošću, pokrivenošću, latencijom i gustoćom uređaja. LTE tehnologija široko je implementirana u mnogim industrijskim kontekstima, poput tvornica i luka. Također, može se kombinirati s drugim tehnološkim rješenjima kao što je TETRA za uspostavljanje vrlo dostupne i pouzdane komunikacije za kritične situacije.

5G tehnologija trenutno je na vrhuncu mobilne tehnologije za veze od točke do točke. Fleksibilnost, skalabilnost i učinkovitost 5G rješenja omogućuju im uspostavljanje velike propusnosti komunikacije na mobilnoj tehnologiji, iznimno pouzdanu komunikaciju s niskom latencijom za hitne slučajeve i sustave uzbune ili komunikaciju između velikog broja uređaja, vozila i objekata. Ovo rješenje omogućuje implementaciju Internet stvari, daljinsko upravljanje industrijskim strojevima i početak autonomne vožnje. U smislu pametnih luka, 5G je postavljen za poboljšanje kapaciteta, povezivosti i pozicioniranja rutinskih logističkih operacija, pružajući pouzdan pristup u stvarnom vremenu i visoku razinu sigurnosti.

### **3.3.6. Blockchain**

*Blockchain* je vrsta tehnologije decentraliziranog vođenja evidencije transakcija (eng. DLT – Distributed Ledger Technology). Koristi se za obavljanje digitalnih transakcija u stvarnom vremenu na siguran i distribuiran način. *Blockchainov* koncept dijeljenja decentralizirane i digitalne vrijednosti (materijalne i nematerijalne imovine) omogućuje višestruku primjenu u različitim industrijskim i komercijalnim sektorima.

Što se tiče luka, *blockchain* različitim subjektima u opskrbnom i logističkom lancu daje pouzdane informacije za donošenje odluka, obavljanje operacija ili poduzimanje aktivnosti. Cilj



je povećanje produktivnosti, smanjenje troškova, povećanje pouzdanosti i poticanje dogovora između kupaca i pružatelja usluga.

Jedna od njegovih najznačajnijih primjena je praćenje kontejnera i drugih objekata. Omogućuje veću vidljivost protoka operacija uvoza i izvoza kontejnera koji se odvijaju duž cijelog logističkog lanca.

### **3.3.7. Umjetna inteligencija i strojno učenje**

Umjetna inteligencija (eng. AI - Artificial Intelligence) je grana računalne znanosti usmjerena na razvoj i kombiniranje algoritama stvorenih u računalima sa svrhom učenja i uspostavljanja veza i opažanja koje inače obavlja ljudsko rasuđivanje. Podskup umjetne inteligencije je strojno učenje (eng. ML – Machine Learning), koje je dizajnirano za razvoj algoritama koji mogu automatski detektirati uzorke u primjerima skupova podataka i informacija kako bi ekstrapolirali ponašanje te donijeli predviđanja i odluke o budućim situacijama.

U lučkom i logističkom okruženju, strojno učenje postavljeno je da uvelike unaprijedi različite sustave za upravljanje i masovnu obradu informacija koje se koriste u kopnenom i pomorskom području. Za kopneni dio luke, strojno učenje može koristiti informacije prikupljene sensorima, aktuatorima i mobilnom tehnologijom za razumijevanje i koordinaciju prometnih tokova. Strojno učenje može pomoći u predviđanju prometnih uvjeta i vremena čekanja i isporuke za kamione na ulazu u terminal. U pomorskoj domeni, strojno učenje se može koristiti u području pristaništa i terminala kako bi se izračunalo kako dugi kontejneri ostaju u terminalu, predvidjeti datum i vrijeme dolaska brodova.

Korištenje strojnog učenja u lučkom okruženju moglo bi značajno smanjiti broj operacija koje treba izvršiti u terminalu, čime se povećava učinkovitost i smanjuju emisije i troškovi.

### **3.3.8. Virtualna i proširena stvarnost**

Virtualna stvarnost i proširena stvarnost su tehnologije koje kombiniraju slike u stvarnom vremenu na interaktivan način. Oni pružaju potpuno ili djelomično iskustvo omogućujući korisnicima primanje više virtualnih informacija. Virtualna stvarnost u potpunosti uključuje korisnika u virtualne informacije, dok proširena stvarnost jednostavno nadopunjuje stvarne informacije koje korisnik percipira.

Budući da povećavaju i kombiniraju informacije u stvarnom vremenu, virtualna stvarnost i proširena stvarnost smatraju se vrlo korisnim alatima u radnim okruženjima jer podržavaju ili nadopunjuju informacije koje radnici percipiraju u stvarnom vremenu i mogu ih upozoriti na potencijalno opasne situacije.

Korištenjem ovih tehnoloških rješenja luke se mogu učiniti profitabilnijima i produktivnijima te tako potaknuti razvoj subjekata i tvrtki u lučkom i logističkom prostoru.

### 3.3.9. 3D ispis i aditivna proizvodnja

3D ispis je digitalni proces stvaranja trodimenzionalnih objekata projektiranjem, modeliranjem i proizvodnjom prema određenoj veličini i obliku te s određenim karakteristikama. U industrijskom ili radnom okruženju, proces pretvaranja digitalne datoteke proizvoda u fizički objekt dodavanjem slojeva materijala pomoću 3D pisaa poznat je kao aditivna proizvodnja.

Aditivna proizvodnja daje razvojnim inženjerima neviđenu fleksibilnost za izradu i implementaciju personaliziranih promjena na nove proizvode. Učinkovitost ove tehnologije smanjuje broj posrednika i vrijeme potrebno za izvođenje operacija dizajna i proizvodnje, čime se direktno smanjuju troškovi.

Aditivna proizvodnja može se koristiti u lukama kao brži i jeftiniji način razvoja i proizvodnje dijelova ili drugih predmeta koji se koriste u terminalima i plovilima.

## 3.4. PAMETNE APLIKACIJE

Tehnološke inovacije i specijalizacija pratećih aktivnosti imaju značajan utjecaj na lučku industriju. Sve glavne luke počele su istraživati inicijative za modernizaciju i transformaciju kako bi stvorile jedinstvene vrijednosne ponude koje im daju konkurentsku prednost.

Međutim, luke se ne pokreću na temelju jedne aplikacije koju koristi jedna tvrtka. Umjesto toga, imaju opsežan ekosustav specijaliziranih aplikacija za svaku od svojih različitih aktivnosti i funkcija. Ove aplikacije može koristiti jedna ili više organizacija, ovisno o tome kako je svaka luka formirana.

Među aplikacijama u lučkim okruženjima postoje aplikacije koje su zajedničke svim organizacijama i zadužene su za upravljanje pozadinskim funkcijama upravljanja poduzećem i uredom. Unutar sustava upravljanja poduzećima postoje aplikacije namijenjene upravljanju ljudskim resursima (eng. HRMS – Human Resource Management), računovodstvu i financijama, upravljanju i kontroli imovine i zaliha, upravljanju klijentima, poslovnom obavještanju, internim revizijama ili upravljanju rizicima. U mnogim slučajevima, sve te funkcije mogu biti pokrivene sustavima za planiranje resursa poduzeća (eng. ERP – Enterprise Resource Planning).

Još jedan skup pozadinskih aplikacija zajedničkih svim organizacijama su uredske aplikacije, poput paketa uredskog softvera (programi za obradu teksta, proračunske tablice, multimedijski prezentacijski alati, baze podataka), elektronički sustavi arhiviranja, sustavi za upravljanje sadržajem i web stranicama (eng. CMS – Content Management System), programi za e-poštu, sustavi za videokonferencije i izravnu razmjenu poruka itd.

Za upravljanje front-end aktivnostima postoje različiti sustavi za različite funkcije. Sustavi upravljanja trgovinom i transportom ključni su za ispunjavanje regulatornih zahtjeva pri upravljanju i automatizaciji inozemnih trgovinskih operacija u lukama. Svrha ovih sustava

je jamčiti siguran prekogranični protok robe i vozila upravljanjem informacijama koje uključuju više tijela i subjekata, poput lučke uprave, pomorske uprave, carine, inspeksijskih agencija i različitih službi granične kontrole.

Subjekti imaju različite sustave za upravljanje operacijama temeljene na single-window sustavima i elektroničkim deklaracijama, kao što su: single-window sustavi za inozemnu trgovinu, koji različitim vladinim agencijama i agencijama za zaštitu granica daju digitalni kanal za primanje zahtjeva za dozvole i druge dokumente za inozemnu trgovinu; carinski sustavi, koji označavaju skup aplikacija za izradu carinskih deklaracija potrebnih u procesima inozemne trgovine; i pomorski single-window sustav, koji osigurava jedan portal za sve procese i formalnosti potrebne za dolazak, odlazak ili boravak broda u lukama.

Sustavi operativnog upravljanja posebno su važni za pokrivanje operativnih funkcija luke. Informacijski sustavi upravljanja lukama (eng. PMIS – Port Management Information Systems) dizajnirani su za kontrolu i upravljanje svim operacijama unutar luka. Glavni klijent ovih sustava je lučka uprava ili subjekt zadužen za upravljanje lučkom infrastrukturom. Ovi sustavi mogu se povezati sa sustavima za automatsku identifikaciju (eng. AIS – Automatic Identification Systems) plovila, službama za promet plovila (eng. VTS – Vessel Traffic Services), drugim tehničkim nautičkim sustavima ili samim lučkim terminalima.

Operativni sustavi terminala, bilo višenamjenski ili za kontejnere, dizajnirani su za upravljanje operacijama unutar terminala, kako za kontrolu kontejnerskog prometa tako i za višenamjensko upravljanje kretanjem tereta. Ovi sustavi mogu se povezati s drugim sustavima za kontrolu i nadzor operacija, poput automatiziranih sustava vrata (eng. AGS – Automated Gate Systems), sustava za otkrivanje položaja (eng. PDS – Position Detection Systems), geografskih informacijskih sustava ili inteligentnih transportnih sustava.

Sustavi upravljanja trgovinom i prijevozom i sustavi upravljanja operacijama bit će nadopunjeni i kontrolirani sustavima upravljanja lučkom zajednicom, koji obuhvaćaju sve objekte i subjekte u lučkom logističkom lancu, uključujući lučku upravu, lučke operatere, logističke operatere, carinske posrednike, brodske kompanije, prijevoznike, stanice za ukrcaj kontejnera, itd. Unutar ove kategorije sustava, sustav lučke zajednice (eng. PCS – Port Community Systems) dizajniran je kako bi svim stranama u luci i logističkom lancu omogućio trenutno slanje i razmjenu informacija na način koji ispunjava zahtjeve povjerljivosti i zaštite za rukovanje s osobnim ili komercijalno osjetljivim podacima.

Sustavi lučke zajednice su elektroničke platforme dizajnirane za povezivanje različitih sustava koje vode organizacije unutar lučke zajednice. Ovi sustavi olakšavaju pametnu i sigurnu razmjenu informacija koristeći jedan komunikacijski kanal koji povezuje sve logističke i transportne elemente, bilo javne ili privatne. Omogućavanjem ovog kanala sustav lučke zajednice može optimizirati i automatizirati različite procese za premještanje robe i kontejnera, čime se maksimizira učinkovitost infrastrukture i operacija, povećava konkurentnost i prihod organizacije te smanjuju operativni troškovi. Dodatno, sustavi lučke zajednice su dizajnirani da funkcioniraju i surađuju s drugim sustavima.

Povećana komercijalna aktivnost i poslovanje u lučkom i logističkom sektoru dovodi do još jednog ključnog zadatka, a to je implementacija odgovarajuće digitalne i fizičke zaštite.

Veća složenost industrijskih operacija nužno zahtijeva dizajniranje sustava zaštite. Kako bi se zaštitile od ovih rizika, većina luka posjeduje sigurnosne sustave s fizičkim, kibernetičkim i industrijskim zaštitnim komponentama.

Sustavi fizičke sigurnosti skup su aplikacija potrebnih za zaštitu lučkih objekata od bilo kakvog napada ili upada koji uključuje nezakonite ili lažne aktivnosti. Ovi sustavi obično se sastoje od različitih podsustava, kao što su sustavi nadzornih kamera, sustavi automatiziranih vrata, sustavi detekcije prisutnosti, sustavi za prepoznavanje registarskih pločica ili vozila, sustavi upravljanja pomorskim prometom itd.

S druge strane, virtualni sigurnosni sustavi sastoje se od aplikacija i alata dizajniranih za zaštitu svih sredstava i korisnika unutar digitalnog okruženja. U sklopu sustava postoje i drugi podsustavi kao što su digitalni potpis i sustav certifikata, sustavi javnih i privatnih ključeva, sustavi šifriranja i provjere autentičnosti ili sustavi ranog upozoravanja na kibernetičke prijetnje. Sustav industrijske sigurnosti i sigurnosti radnika je set aplikacija osmišljenih za sprječavanje, smanjivanje i reagiranje na bilo kakve nesreće koje se dogode unutar lučkih objekata, terminala ili gradova. Takvi sustavi mogu nadopuniti svoje operacije sa sustavima kao što su inteligentne transportne usluge, sustavi nadzornih kamera, usluge automatske identifikacije plovila, sustavi pomorske signalizacije ili sustavi za nadzor sigurnosti radnika. Mnogi se sustavi koriste za upravljanje fizičkom i industrijskom sigurnošću te zaštitom radnika, stoga neke luke kombiniraju upravljanje ovih dvaju komponenta unutar jednog zapovjednog centra.

Sustavi upravljanja okolišem predstavljaju skup aplikacija dizajniranih da osiguraju energetske učinkovitost i zaštitu morskog i obalnog okoliša od različitih prijetnji poput onečišćenja okoliša ili buke. Sustavi upravljanja okolišem uključuju alate dizajnirane za praćenje potrošnje energije i korištenje energije na pametniji i učinkovitiji način. Primjeri su sustavi za praćenje i predviđanje okoliša ili pametne mreže. Osim toga, drugi alati poput meteoroloških stanica, senzora kvalitete zraka, senzora zagađenja bukom, pametnih plutača ili sustava za otkrivanje zagađenja također se koriste za praćenje kvalitete zraka, kvalitete vode ili razine buke.

Druga svrha sustava upravljanja okolišem je uvođenje automatiziranog električnog modela koji smanjuje emisije ugljika korištenjem obnovljive energije (vjetra, električne energije itd.) i alternativnih goriva poput ukapljenog prirodnog plina ili vodika. Ova strategija pomiče luke prema modelima s niskim emisijama stakleničkih plinova.

## 4. IMPLEMENTACIJA SUSTAVA PLANIRANJA ZA PAMETNU LUKU

Kao što je spomenuto u prethodnom poglavlju, globalna trgovina i logističko okruženje se mijenjaju te se tehnologije četvrte industrijske revolucije sve brže razvijaju. Stoga je potrebno pravovremeno ih primijeniti u sklopu pomorskog prometa, transformirajući klasične luke u pametne luke s ciljem povećanja nacionalne i lučke učinkovitosti i konkurentnosti te kako bi se stvorile nove industrije i usluge.

Pri razvitku pametnih luka, potrebno obratiti pažnju na 3 ključna aspekta koja su prikazana u sljedećoj tablici.

Aspekti	Opis
Regulacija	<ul style="list-style-type: none"><li>• Definirati politiku na nacionalnoj razini</li><li>• Definirati nove zakone ili prilagoditi važeće zakone i propise vezane za pametne luke</li><li>• Stvoriti radnu skupinu s povezanim dionicima</li></ul>
Metodologija	<ul style="list-style-type: none"><li>• Slijediti postupni pristup u razvitku pametnih luka</li><li>• Dizajnirati budući model koji će uključivati adekvatne analize, inovacije procesa i digitalizaciju rada</li></ul>
Tehnologija	<ul style="list-style-type: none"><li>• Implementacija 4IR tehnologija</li><li>• Dizajnirati uslužnu platformu s jednostavnim sučeljem fleksibilne i održive strukture</li></ul>

Tablica 1. Aspekti u razvijanju pametne luke

Također, infrastruktura i uslužna platforma pametnih luka mora biti dizajnirana koristeći suvremene tehnologije kao što su tehnologije 4. industrijske revolucije. Potrebno je unaprijediti lučke objekte i opremu kako bi se reducirao logistički proces i troškovi te kako bi se osiguralo sigurno radno okruženje. Umjesto ljudskih radnika, potrebno je razvijati korištenje autonomnih vozila kojima se može upravljati bez posade kao i korištenje dronova i robota koji su spremni reagirati u opasnim okruženjima kako bi se osigurala sigurnija luka.

### 4.1. ZAHTJEVI ZA POČETAK RAZVOJA PAMETNE LUKE

Za razvoj pametne luke potrebno je uzeti u obzir sljedeće uvjete koji su opisani u sljedećoj tablici.

Dimenzija	Zahtjevi
Politička i ekološka perspektiva	<ul style="list-style-type: none"><li>• Usklađenost s nacionalnim politikama i strategijama</li><li>• Analiza ekoloških promjena u pomorskom prometu</li><li>• Analiza tehničkih zahtjeva prema promjenama u industrijskom okruženju</li></ul>

<p style="text-align: center;">Strateška perspektiva</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preispitati zakone, propise i regulacije vezane za pametnu luku</li> <li>• Razviti plan na nacionalnoj razini s ciljem unaprjeđenja luke</li> <li>• Osigurati proračun potreban za izgradnju pametne luke</li> <li>• Osnovati radnu skupinu koja uključuje javni i privatni sektor te akademske i druge srodne institucije</li> <li>• Osigurati potrebne resurse (sustavi, oprema, radna snaga)</li> <li>• Provjeriti srodne međunarodne standarde i propise</li> <li>• Omogućiti profesionalnu radnu snagu</li> </ul>
<p style="text-align: center;">Inovacija lučkih procesa</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimizacija lučkih operacija – ukloniti nepotrebne procese</li> <li>• Osigurati transparentnost lučkih poslovnih transakcija</li> </ul>
<p style="text-align: center;">Tehnička perspektiva</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Razviti tehnologije potrebne za ekološku prihvatljivost, unaprjeđenje učinkovitosti prijevoza i rad bez posade</li> <li>• Razviti tehnologiju za sigurnost luke</li> <li>• Osigurati interoperabilnost, održivost, pouzdanost itd.</li> <li>• Osigurati točnost i usklađenost podataka</li> <li>• Omogućiti jednostavnu metodu za migraciju zastarjelih verzija sustava</li> </ul>
<p style="text-align: center;">Metodologijska perspektiva</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definirati ciljeve, strategije implementacije i planove vezane za pametne luke</li> <li>• Zauzeti strateški pristup u davanju prioriteta radnim planovima</li> <li>• Dizajnirati hijerarhijski okvir arhitekture baziran na modulima</li> <li>• Dizajnirati okvir arhitekture s fleksibilnom strukturom koja može lako uklopiti dodatne zahtjeve</li> </ul>

*Tablica 2. Uvjeti za razvoj pametne luke*

Razvitkom pametnih luka potrebno je ispuniti potražnju korištenjem novih tehnologija i ujedno maksimalno iskoristiti informacijske resurse postojećeg sustava. S obzirom da se radi o promjenama kompletnog ekosustava luke, čvrsta vizija i konstantna podrška od strane upravitelja predstavlja iznimnu važnost. Uz ove preduvjete, sudjelovanje i suradnja svih dionika, kao i podrška članova lučke zajednice, uključujući privatne sektore, osnova su za daljnju transformaciju u pametne luke.

## 4.2. STUPNJEVITA STRATEGIJA ZA RAZVITAK PAMETNE LUKE

Broj zainteresiranih pomorskih zemalja za razvoj pametnih luka sve je veći kako sve više zemalja prepoznaje načine korištenja pametnih luka s ciljem povećanja konkurentnosti luke. Stoga je potrebno analizirati lučko okruženje kako bi se odredila odgovarajuća strategija transformacije i implementacije.

Preporuča se da zainteresirane zemlje provjere trenutnu razinu razvijenosti tehničkih i tehnoloških rješenja luke analizirajući lučko okruženje pomoću CMMI (eng. Capability Maturity Model Integration) definiranih metodologija. Stupnjevitim pristupom omogućuje se jasno razumijevanje trenutne razine tehničke i tehnološke razvijenosti luke te se definira buduća ciljna razina temeljena na rezultatima analize.

Stupnjeviti pristup u razvijanju pametne luke, ovisno o razini luke provodi se u četiri faze:

Prva faza – informacijska luka:

- Korištenje papirnatih dokumenata; ručna obrada procesa
- Manje sustave lučke procedure
- Spremnost na transformaciju u kompjutoriziranu luku

Druga faza – automatska luka:

- Transakcije e-dokumentima
- Upotreba informacijskog sustava, korištenje tehnologija poput EDI (eng. Electronic data interchange – elektronička razmjena podataka) i TOS (eng. Terminal operating system – operacijski sustav terminala) za upravljanje lučkim procesima
- Spremnost na prelazak iz polu-automatiziranih lučkih procesa u potpuno automatizirane

Treća faza – digitalna luka:

- Konstruiranje automatizirane luke koristeći RFID tehnologiju, senzore, kamere itd.
- Uporaba modela suradnje koji olakšava trgovinu
- Spremnost na povezivanje s drugim organizacijama ili zemljama radi dijeljenja informacija
- Planiranje logističkog prometnog sustava na nacionalnoj razini

Četvrta faza – pametna luka:

- Potpuno automatizirana luka koja koristi inovativne tehnologije i automatizaciju
- Digitalna transformacija koristeći tehnologije 4. industrijske revolucije
- Krajnji cilj je potpuno optimizirana i autonomna luka bez posade
- Usklađenost s međunarodnim regulacijama i standardima

U slučaju da se luka nalazi u prvoj razvojnoj fazi, potrebno je implementirati sustav e-dokumenata kako bi se smanjila ručna obrada i uporaba dokumenata u papirnatom obliku. Također, preporuča se primjena operacijskog sustava terminala s ciljem učinkovitije obrade lučkih operacija.

Ukoliko luka sadrži modernizirane lučke objekte te već koristi sustav e-dokumenata i neke od informacijskih sustava za obradu operacija, može se smatrati polu-automatiziranom lukom. U tom slučaju, preporuča se implementacija sustava automatskih vrata na kontejnerskim terminalima zajedno s RFID tehnologijom kako bi se smanjila zagušenja na ulazu u terminal.

U sklopu treće faze potrebno je osigurati različite metode pristupa za korisnike te omogućiti povezivanje i dijeljenje informacija sa srodnim organizacijama i državama. Osim toga, preporuča se implementacija koncepta „Single Window“ koji omogućuje jednostavniju međunarodnu trgovinu. Takav koncept dopušta trgovcu ili prijevozniku da odjednom priloži sve informacije vezane za uvoz, izvoz i tranzit samo jednom tijelu zaduženom za graničnu kontrolu.

### **4.3. KRATKOROČNI, SREDNJOROČNI I DUGOROČNI PLAN IMPLEMENTACIJE**

Plan transformacije luke u pametnu luku trebao bi obuhvatiti upravljanje, ulaganja i operacije potrebne za rješenja.

Model upravljanja pruža strukturu potrebnu za uspostavljanje standardnih procesa i procedura podržanih rješenjima uvedenim na pametnoj luci, kao i za određivanje usluga koje pametna luka treba ponuditi, definiranje politika za rad sustava, izgradnju odnosa i partnerstava, postavljanje strategija i dodjeljivanje obveza cijele lučke zajednice.

Poslovni model utvrđuje tko će doprinijeti ulaganjima potrebnima za različite inicijative u planu pametne luke, kao i primjenjivu politiku povrata ulaganja.

Operativni model odredit će opseg i strukturu potrebnih ljudskih i fizičkih resursa te kako će oni biti organizirani za pokretanje različitih sustava koji čine pametnu luku. Operativni model također će specificirati tehničku i poslovnu arhitekturu koja pruža usluge potrebne za provedbu inicijativa. Treba planirati fizičku lokaciju ureda i digitalne imovine (poslužitelja, mrežne infrastrukture, identifikacijskih sustava, automatizacije, senzora, aktuatora itd.).

#### **4.3.1. Model upravljanja**

Plan razvoja pametne luke trebao bi sadržavati brojne akcije i osigurati učinkovite alate i mehanizme za svaku akciju kako bi se postigli predloženi ciljevi. Budući da plan uključuje cijelu lučku zajednicu, koordinacija i međusobna suradnja ključni su za uspjeh svih predloženih inicijativa. Stoga, model upravljanja mora se temeljiti na sljedećim načelima:

- Menadžment: Bitno je imati prisutan upravljački tim koji gura plan naprijed i preuzima vodstvo u postizanju ciljeva.



- **Koordinacija:** Plan je međusektorski, odnosno uključuje cijelu lučku zajednicu. To znači da će planirane aktivnosti obuhvatiti sve tvrtke i institucije u pomorskom i prometnom sektoru te da će sve one morati sudjelovati kako bi se postigli ciljevi plana.
- **Naknadne radnje:** Nakon početka provođenja razvoja, plan će zahtijevati mnoge naknadne mjere kako bi dobio impuls i ostao na pravom putu.
- **Ažuriranje:** Plan treba pripremiti kao aktualiziran dokument koji se može brzo prilagoditi promjenama u lučkom prostoru. Predviđanje budućnosti razvoja pomorskog sektora vrlo je složen zadatak, stoga svi involvirani moraju biti u mogućnosti ažurirati ovaj dokument kako bi odražavao buduće promjene u tehnologiji ili propisima, ili rezultate novih studija koje bi mogle dovesti do potrebe za značajnom revizijom plana.

#### **4.3.2. Organizacijski model**

U organizacijskom modelu trebala bi postojati dva ključna tijela. Prvi, zadužen za upravljanje, je Upravni odbor. Drugi je Povjerenstvo za pametnu luku, koje je odgovorno osigurati poštivanje plana.

Članovi Upravnog odbora promiču i vode plan te osiguravaju postizanje njegovih ciljeva. Povjerenstvo Pametne luke sastoji se od ključnih članova radnih skupina, a zaduženo je za provedbu plana. Uloga ovog odbora je promicanje plana kroz različite aktivnosti, poput organiziranja debatnih foruma i sjednica, pokretanja projekata, analiziranja inicijativa u drugim sektorima itd.

#### **4.3.3. Definiranje ciljeva i pokazatelja za praćenje plana**

SMART metoda je predloženi način za definiranje ciljeva i pokazatelja za svaku akciju plana. Kao što je prikazano, kriteriji ove metode odražavaju se u njezinom nazivu:

- **S:** Specifično (eng. specific) – Je li cilj specifičan?
- **M:** Mjerljivo (eng. measurable) – Je li napredak prema tom cilju mjerljiv?
- **A:** Ostvarivo (eng. attainable) – Može li se cilj postići?
- **R:** Relevantno (eng. relevant) – Koliko je cilj bitan?
- **T:** Vremenski određeno (eng. time-related) – Koliko je vremena dopušteno za ostvarivanje cilja?

Ovi osnovni kriteriji daju jasniju ideju o kapacitetu plana i izbjegavaju stvaranje praznina između ciljeva i stvarnih sposobnosti subjekta odgovornog za njegovu provedbu.

## 5. PAMETNE LUKE U KONTEKSTU INTELIGENTNIH TRANSPORTNIH SUSTAVA

### 5.1. KONCEPT INTELIGENTNIH TRANSPORTNIH SUSTAVA

Tijekom posljednjih nekoliko desetljeća, inteligentni transportni sustavi (ITS) stekli su sve veći interes za stvaranje sigurnijih, ekološki prihvatljivijih i učinkovitijih transportnih sustava. Inteligentni transportni sustavi ne podrazumijevaju samo hardverske sustave, već i tehnologije i strategije koje međusobno implementiraju usluge. Inteligentni transportni sustavi primjenjuju kombinaciju različitih tehnologija kako bi pratili prometne uvjete i osigurali komunikaciju s vozilima, raznim centrima i prometnim objektima s ciljem efikasnog upravljanja prometom. Zahvaljujući takvim značajkama, ITS je moguće integrirati u sveukupan transportni ekosustav kao dio sustava unutar vozila, cestovne infrastrukture i operativnih strategija za upravljanje prometom.

S obzirom na samu prirodu ITS-a, postoji nekoliko različitih definicija ovisno o glavnim interesima stakeholdera. Sustavi pametnog transporta definirani su kao aglomeracija različitih tehnologija koje poboljšavaju održivost prometnih sustava na sigurniji, pametniji i ekološki prihvatljiviji način. Iz navedene definicije jasno je vidljivo kako pametni sustavi u transportu mogu izrazito doprinijeti u postizanju cilja održivog transporta.

Jedan od primarnih razloga zbog kojeg je ITS dobio pozornost je mogućnost implementacije bez uvođenja nove infrastrukture koja bi zahtijevala ogroman kapital te prouzročila negativan utjecaj na okoliš. S obzirom da ITS ima sposobnost koristiti već postojeće resurse i infrastrukture, takav pothvat direktno je povezan s ciljevima održivog razvoja 7, 9 i 11. Također, gledajući širi utjecaj ITS-a u smislu promicanja gospodarskog rasta i smanjenja nejednakosti, ciljevi održivog razvoja 5, 8 i 10 neizravno su povezani s pametnim transportnim sustavima.



Slika 5. Prikaz ciljeva održivog razvoja

Mnoge razvijene zemlje prepoznale su važnost suvremenih tehnologija s ciljem implementacije održivih transportnih rješenja unutar sektora intermodalnog transporta između pomorskog i cestovnog prometa. Prednosti koje omogućuje ITS podcijenjene su zbog pogrešnog mišljenja da je ITS isključivo namijenjen cestovnom prometu i da ga je moguće implementirati samo u razvijenim zemljama. Međutim, inteligentni transportni sustavi su puno šire prirode te predstavljaju alate koji su primjenjivi na cjelokupan prometni sustav. Veze između pomorskog i cestovnog prometa mogu stvoriti sinergijske učinke kojima će se riješiti razni transportni problemi te će na taj način doprinijeti ostvarivanju ciljeva održivog razvoja.

## **5.2. VAŽNOST ITS-A U INTERMODALNOM PROMETU ZA PAMETNE LUKE**

Pri razmatranju svih aspekata ITS-a, postavlja se pitanje u kojoj mjeri ITS može ponuditi prednosti u sklopu intermodalnog transporta i koje od tih prednosti su posebno pogodne za pametne luke. Gledajući iz šire perspektive, luka se može definirati kao točka u kojoj se povezuje cestovni i pomorski promet, odnosno ona predstavlja važno čvorište koje omogućuje lakše kretanje ljudi i robe prema i iz lokalnih i globalnih zajednica putem raznih transportnih sredstava. Pametna luka također se smatra jednim od ključnih dijelova intermodalnog transporta koji je definiran kao „pojam prijevoza putnika ili tereta putem dvaju ili više različitih načina transporta na takav način da su svi dijelovi transportnog procesa međusobno povezani i koordinirani“. Sukladno tome, od velike je važnosti uvrstiti pametnu luku u kontekst intermodalnog transporta kada je u pitanju ITS.

Važnost intermodalnog transporta došla je do isticanja posljednjih nekoliko desetljeća zato što može smanjiti troškove i minimizirati vrijeme, održati konstantan kapacitet te povećati kvalitetu, sigurnost i praktičnost usluge. Korištenjem ITS-a, navedene prednosti mogu se poboljšati kroz 4 aspekta:

### **Sigurnost**

Najveći prioritet u području sigurnosti prometa je reducirati broj nesreća i drugih incidentnih situacija u prometu, kao i uklanjanje potencijalnih opasnosti koje uključuju prijevoz opasnog ili lako zapaljivog tereta. Korištenjem pametnih transportnih sustava unutar intermodalnog transporta održava se visoka razina sigurnosti prometa s niskim potencijalom za moguće incidente.

### **Mobilnost**

U pojedinim područjima slabije razvijenih zemalja i zemalja u razvoju nedostaje prijevoz usluge što direktno dovodi do značajno niske razine pristupačnosti u smislu prijevoza ljudi i robe. Neke od razvijenih zemalja također imaju isti problem kao rezultat neučinkovitosti transportnih usluga. Pružanjem bolje dostupnosti i unaprjeđenjem povezanosti u sklopu intermodalnog transporta putem ITS-a korisno je u postizanju učinkovite mobilnosti.

### **Učinkovitost**

S ciljem rješavanja operativnih uskih grla, ITS nudi praktična rješenja za poboljšanje efikasnosti u transportnim operacijama i upravljanju. Minimiziranje čekanja na cesti i usklađivanje vremena potrebnog za ukrcaj i iskrcaj prednosti su koje mogu biti ostvarene

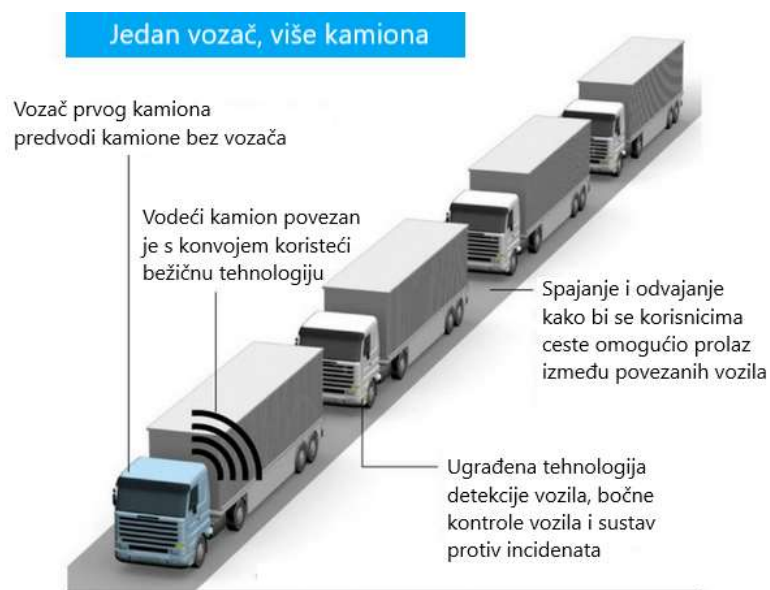
s implementacijom centara za upravljanje i nadzor prometa. Održavanje konstantnog kapaciteta između različitih načina prijevoza još je jedan od načina povećanja učinkovitosti korištenjem ITS-a u intermodalnom prijevozu.

### Okolina

Smanjenje zagađivača zraka, uključujući emisije stakleničkih plinova također je jedan od najbitnijih ciljeva u postizanju ekološke održivosti. ITS nastoji optimizirati upravljanje prometom, smanjiti „prazne“ rute boljim planiranjem ruta te na taj način povećati učinkovitost u prekreću, pridonoseći smanjenju emisije štetnih plinova. Prednosti ITS-a veoma su bitne u ekološkom smislu uz gore pomenutu mobilnost i sigurnost.

S obzirom na važnost novih tehnologija, autonomna i međusobno povezana vozila mogu pružiti jedinstvene prednosti intermodalnom transportu. Fokusirajući se na teretni prijevoz, kamioni su ključni korisnici tehnologije međusobno povezanih vozila. Takve tehnologije mogu unaprijediti ukupnu sigurnost i učinkovitost procesa prijevoza pružajući informacije o stanju na cestama i lukama u stvarnom vremenu, uključujući informacije vezane za optimizaciju rute i moguće incidente na ruti.

Postrojavanje kamiona (eng. Truck platooning) je još jedan dobar primjer inteligentnih transportnih sustava. „Truck platooning“ obuhvaća povezivanje više kamiona u konvoj koristeći tehnologiju međusobno povezanih vozila. Povezani kamioni održavati će unaprijed definiranu međusobnu udaljenost sve dok su kamioni povezani. Kamion sprijeda preuzima vodstvo u konvoju dok ostali povezani kamioni automatski reagiraju na promjene u kretanju vodećeg kamiona. Potrebna je minimalna ili nikakva intervencija vozača koji slijede vodeći kamion. Postrojavanje kamiona može smanjiti emisije ugljičnog dioksida jer kamioni koji slijede vodeći kamion troše manje goriva zbog smanjenog otpora zraka. Takav konvoj također može pridonijeti poboljšanju sigurnosti jer povezana vozila reagiraju u trenutku na svaku promjenu brzine vodećeg vozila.



Slika 6. Primjer načina rada sustava postrojavanja kamiona

Autonomna vozila trenutno se testiraju u nekoliko zemalja. Potpuna primjena autonomnih vozila u intermodalnom transportu može poboljšati sigurnost smanjenjem mogućih rizika koji se javljaju kao rezultat vozačeve pogreške, umora i prebrze vožnje. Učinkovitost teretnog prijevoza bi se mogla poboljšati jer bi autonomna vozila bila u mogućnosti raditi 24 sata dnevno te bi ih se moglo pratiti, nadzirati i preusmjeriti putem središnjeg zapovjednog centra. Također, autonomna vozila bi omogućila smanjenje operativnih troškova za operatere voznih parkova.

## 6. USPOREDBA POSTOJEĆIH I BUDUĆIH PAMETNIH LUKA

### 6.1. LUKA ROTTERDAM

Nizozemska je postala prva zemlja na svijetu koja je uspješno razvila potpuno automatizirani terminal bez posade i pristanište s dizalicom bez posade. Luka Rotterdam, jedna od najvećih luka na svijetu, predstavlja europsko pomorsko trgovačko središte te ima cilj postati središnja točka Industrije 4.0 u regiji.

S obzirom da glasi kao najpametnija luka na svijetu, postojeće tehnologije u luci Rotterdam samo su dio onoga što luka planira postići u budućnosti. Očekuje se da će luka do 2025. godine biti u mogućnosti primiti autonomna plovila. Neke od trenutno implementiranih tehnologija su:

- Digitalni blizanac
  - potpuno digitalizirana verzija luke pomoću koje se dobiva uvid u međudjelovanje opreme u luci te im također pomaže u praćenju svih operacija u stvarnom vremenu
- IoT senzori i umjetna inteligencija
  - senzori Internet stvari omogućuju mjerenje kretanja vode, zamućenost i pritisak kako bi se osiguralo da su sve lučke aktivnosti u skladu s ekološkim standardima za vodu
  - kombiniranjem senzora Internet stvari i umjetne inteligencije moguće je predvidjeti vremenske uvjete
- 3D ispis
  - korištenje robotske ruke za izradu brodskih komponenata
- Digitalni dupini
  - Pametni zidovi pristaništa i plutače opremljene sensorima koje podržavaju prijenos tereta s broda na brod i generiraju podatke s vremenskim oznakama o njihovom statusu i neposrednom okruženju
  - Pružaju uvid u stanje i korištenje terminala za pristajanje uključujući i okolne vode i vremenske uvjete, omogućujući lučkim operaterima da identificiraju optimalno vrijeme za pristajanje brodova, te gdje i kako to mogu učiniti

Luka Rotterdam predstavila je aplikaciju za optimizaciju pristajanja brodova u luku. Luka prikuplja podatke i koristi ih za izračun optimalne procjene vremena dolaska u luku i procijenjeno vrijeme dolaska na destinaciju. Kao rezultat toga, prema istraživanju provedenom 2018. godine, brodovi koji pristaju u luci Rotterdam smanjili su vrijeme čekanja u prosjeku od 20%.



*Slika 7. Luka Rotterdam*

Nizozemska je pokrenula projekt „SMART PORT“ s ciljem stvaranja potpune pametne luke u smislu logistike, energije i industrije, lučke infrastrukture i održivih strategija za lučke operacije. Orijentir u stvaranju pametne luke Rotterdam sadrži tri područja fokusa:

1. Pametna logistika:
  - i. Učiniti luku Rotterdam predvodnikom u području pametne logistike
  - ii. Osigurati održive, pouzdane i efikasne opskrbe lance
  - iii. Postavljanje fokusa na tržište kontejnera
2. Pametna energija i industrija:
  - i. Fokus na optimalno i održivo izvođenje petrokemijskog klastera
  - ii. Istraživanje o implementaciji održive energije
3. Lučka infrastruktura otporna na budućnost:
  - i. Optimiziranje lučkog područja kroz pomorsku infrastrukturu i vodene puteve
  - ii. Izgradnja i razvoj luka kako bi se smanjila šteta za prirodu i okoliš, ljude i poduzeća

Luka Rotterdam može dijeliti akumulirane informacije, kao što su one o lučkom sustavu i opremi, informacije o radu broda i informacije o teretu, sa svim dionicima u stvarnom vremenu. Također je u mogućnosti uspostaviti tehničke temelje ne samo za poboljšanje lučke usluge, već i za potpuno autonomno djelovanje luke. Kada izgradnja ovog sustava bude dovršena, može se očekivati da će luka Rotterdam postati prva svjetska luka umjetne inteligencije.

## **6.2. LUKA HAMBURG**

Luka Hamburg, smještena na rijeci Elbi 110 kilometara od izlaza na Sjeverno more, najveća je luka Njemačke i treća po veličini u Europi. Luka obrađuje 20% cjelokupnog europskog izvoza te je vodeća luka u trgovanju s Kinom.



Luka Hamburg započela je svoj projekt „smartPORT“ za promicanje održivog gospodarstva luke, maksimiziranje koristi za korisnike luke i lokalno stanovništvo i minimiziranje utjecaja na okoliš. Projekt se sastoji od dva elementa: smartPORT logistike i smartPORT energije.

SmartPORT logistika kombinira ekonomske i ekološke aspekte u tri podsektora – protok prometa, infrastruktura i protok roba. Inteligentno umrežavanje preduvjet je za učinkovit transport i protok robe korištenjem optimalnog prikupljanja podataka i brzu razmjenu informacija i omogućavanjem prijevoznicima da izaberu najefikasnija transportna sredstva za njihovu robu.

U sklopu drugog elementa projekta, luka Hamburg usmjerena je na pružanje ekološki prihvatljive mobilnosti i smanjenje potrošnje energije. Ovaj aspekt usredotočen je na tri ključna područja obnovljive energije, energetske učinkovitosti i mobilnosti. Na taj način, luka Hamburg može ograničiti svoju ovisnost o konvencionalno proizvedenoj energiji, kao i smanjiti emisije i uštedjeti novac.



*Slika 8. Luka Hamburg*

Luka Hamburg implementirala je komunikaciju u oblaku temeljenu na tehnologiji Internet stvari sa svrhom učinkovitog planiranja operacija, od naređivanja mjesta i vremena pristajanja do obavještanja teretnih automobila i dizalica. Podaci prikupljeni u luci kontinuirano se oblikuju i analiziraju. Senzori, sustavi kamera, pametna svjetla i slična tehnologija postavlja se na ceste za nadzor prometa kako bi se postiglo sigurno radno okruženje, lako kretanje teretnica pri zasićenom prometu itd. Osim toga, korisnicima se pruža usluga pametnog praćenja koja koristi senzore i softver.



Trenutna pametna rješenja implementirana unutar luke Hamburg:

- Praćenje zagađenja i vremenskih uvjeta pomoću tehnologije Internet stvari
- Fokusiranje na smanjenje vodene akustike
- Zamjena klasičnih plovila s plovilima niskim emisija
- Virtualno skladište
- Pametno održavanje pomoću tableta i pametnih uređaja
- Napajanje iz obnovljivih izvora energije
- Senzori za prijevremenu detekciju budućih popravaka

U travnju 2017. godine, luka Hamburg predstavila je CTAS Reefer System koji u potpunosti automatizira nadzor rashladnih kontejnera. Ovaj sustav automatski upravlja temperaturom i vlagom rashladnih kontejnera svakih 15 minuta te je automatski povezan s lučkim operativnim sustavom.

Pomoću projekta smartPORT, luka Hamburg postiže velike učinke kakvi do sad nisu bili viđeni. Sa sustavom u kojem su svi lučki resursi međusobno vezani u stvarnom vremenu, luka Hamburg je smanjila troškove lučkih operacija za 75% i zagušenost luke za 15%.

Luka Hamburg središte je gospodarstva Hamburga i sjeverne Njemačke. Kako bi luka bila uspješna u budućnosti, potrebno je odrediti smjer za naredna desetljeća. Sa svrhom uspješne pripreme za budućnost, Njemačko ministarstvo gospodarstva i inovacija surađuje s lučkom upravom na izradi novog plana razvoja luke.

### **6.3. LUKA ANTWERPEN**

Luka Antwerpen je druga najveća luka Europe su smislu volumena tereta. Smještena na desnoj obali rijeke Scheldt, oko 88 kilometara jugoistočno od Sjevernog mora, luka je glavni ulaz u Europu. Vlasnik luke je lučka uprava Antwerpena koja ujedno i upravlja lukom.

Kao jedna od vodećih luka u svijetu, luka Antwerpen nastoji biti „luka budućnosti“. Luka Antwerpen koristi inovacije kao polugu za pretvaranje glavnih izazova poput energetske tranzicije, digitalizacije i mobilnosti u prilike i rješenja. Implementacijom novih tehnologija i suradnjom dodatno se gradi održivi rast te luka postaje učinkovitija, sigurnija i otpornija.

Pametne tehnologije dokazuju svoju vrijednost unutar luke. Primjenom suvremenih inovacija, moguće je u svakom trenutku znati što se sve događa unutar luke. Suvremene tehnologije koje se koriste i razvijaju u luci Antwerpen obuhvaćaju:

- Digitalni blizanac
  - Digitalna kopija luke s informacijama u stvarnom vremenu
- Dronovi
  - Mreža autonomnih dronova
  - Služe za pregled infrastrukture, nadzor i praćenje, detekciju izlivanja nafte itd.

- 5G mreža
  - Važna karika u izradi digitalnog živčanog sustava – obrada podataka i slika u stvarnom vremenu
  - U suradnji s gradom Antwerpenom, policijom Antwerpena i vatrogasnom službom Antwerpena, radi se na izgradnji privatne 5G mreže sa svrhom povećanja brzine, pouzdanosti i sigurnosti digitalnih aplikacija
- Pametni senzori
  - Daljinsko upravljanje lukom
  - Praćenje kvalitete vode i produljenje životnog vijeka asfalta
  - 3D sonarni senzori omogućuju navigaciju bez posade
  - Sustav iNoses identificira štetne plinove u luci
- Pametne kamere
  - Više od 600 kamera
  - Mogućnost prepoznavanja objekata zahvaljujući računalnom vidu
  - Olakšavaju održavanje i mjere promet tereta u luci te povećavaju sigurnost

Inicijativa cirkularne ekonomije niske razine ugljika 2030 dio je njihove strategije u razvijanju pametnih luka. Svoj poslovni plan izgradili su oko ciljeva održivog razvoja Ujedinjenih naroda.

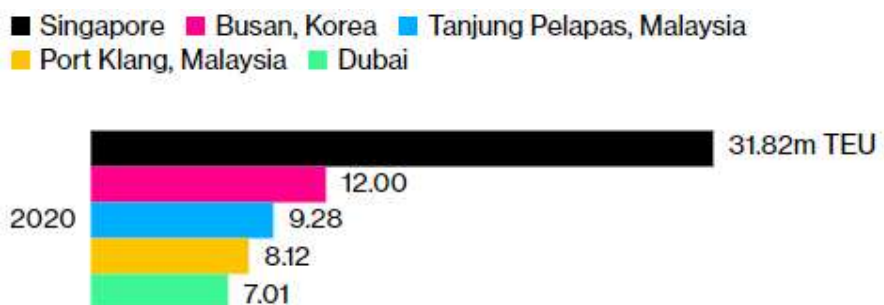
Svi sudionici u logističkom lancu međusobno razmjenjuju informacije. NxtPort je podružnica luke Antwerpen koja čini dijeljenje podataka lakšim i transparentnijim. Na taj način svi sudionici logističkog lanca dobivaju prave informacije u pravo vrijeme. Aplikacija Bulkchain osigurava da se administrativni procesi u sektoru rasutog tereta odvijaju brže i glade, dok aplikacija Certified Pick up nudi digitalno, sigurno i integrirano rješenje za otpuštanje kontejnera.

Luka je otvorena platforma za istraživanje i razvoj. Uz razne razvojne tvrtke, investicijske fondove, državne i znanstvene institucije, luka Antwerpen stvara snažan ekosustav koji podržava i ubrzava inovacije. Stoga luka Antwerpen otvara lučko područje kao poligon gdje se ideje i projekti mogu sigurno testirati u stvarnom industrijskom okruženju.

Luka Antwerpen ima stalno mjesto unutar organizacije The Beacon, žarišnoj točki gdje pružatelji tehnologije Internet stvari i umjetne inteligencije, vrhunski istraživači, razvojne i skalabilne tvrtke surađuju na inovativnim i održivim rješenjima.

## 6.4. LUKA SINGAPUR

Smješten u tjesnacu Malacca, Singapur je redovita postaja na kontejnerskim rutama koje povezuju azijske tvornice s potrošačima u Europi. Luka koja je 2020. primila najviše prekrcanog tereta na svijetu, prošla je kroz pandemiju u boljem stanju od većine svojih kolega.



Slika 9. Poredak 5 najvećih svjetskih čvorišta prema broju premještenih kontejnera od dvadeset stopa

Prostor predstavlja značajno ograničenje za luku koja rukuje desecima tisuća kontejnera dnevno, posebno kada su rasporedi prijevoza kamiona i otpreme poremećeni. Potreba za više prostora postala je jasna tijekom pandemije, kada su dokovi bili prepuni kontejnera.

Luka Singapur trenutno provodi projekt koji je usmjeren prema strategiji pametne luke. Taj projekt je mega-luka Tuas koja bi trebala biti završena do 2040. godine. Luka će na taj način udvostručiti svoj kapacitet na 65 milijuna dvadesetstopnih jedinica (eng. TEU – twenty-foot equivalent unit) do 2040. godine.

Luka je projektirana s ciljem da postane potpuno automatizirana te se trenutno razvija istodobno s realizacijom pametnih tehnologija poput zelene tehnologije za smanjenje štetnih utjecaja, bespilotnih letjelica i praćenja brodova, kao i robotske tehnologije za logističke sustave terminala. Luka Tuas biti će najveća svjetska automatizirana luka.

Implementirati će inteligentne sustave upravljanja i održivu tehnologiju, a bespilotna vozila i automatizirane dizalice pomoći će u sigurnosti i učinkovitosti luke i smanjiti promet. Lučkim vodama će se upravljati pomoću digitalnih sustava, kao što su softveri za mjerenje ključnih pokazatelja kvalitete vode. Sveukupna sigurnost bit će poboljšana zahvaljujući tehnologiji i međusobno povezanim sustavima.

To će pomoći u konsolidaciji operacija u logičniju strukturu, omogućujući brže rukovanje kontejnerima, koji su prošle godine dosegli rekordnih 37,5 milijuna. Novi aranžman smanjit će potrebu da kamioni prolaze kroz središnji gradski promet dok prevoze teret s jednog terminala na drugi.



*Slika 10. Mega-luka Tuas*

Singapur će upravljati automatiziranim vođenim vozilima za premještanje više kontejnera između terminala i sidrišta. Čovjek koji upravlja kamionom koristiti će senzore i bežičnu komunikaciju kako bi vodio konvoj vozila bez vozača u luku i iz nje. Dronovi će se upotrebljavati za dostavu od obale do broda i pomagati zaštitarima u provjerama.

Suvremena tehnologija uštedjet će radnu snagu u globalnoj krizi radne snage. Singapurska luka također želi napraviti daljnji korak integracijom informacijskih sustava, omogućujući joj praćenje tereta i obavještanje o porastu potražnje svim sudionicima u opskrbnom lancu.

Singapurska luka poboljšala je operacije na kopnu sa svojim pozadinskim terminalima i praznim kontejnerskim skladištima koristeći pametne tehnologije te je poboljšala logistiku pristiglih kamiona sa sustavima zakazivanja termina za kamione. Luka također koristi sustav globalnog pozicioniranja (eng. GPS . Global Positioning System) za praćenje prometa na prilaznim cestama. Ovaj sustav prati kretanje kamiona, obavještava terminale kada se vozila približavaju ključnim objektima i daje upute kako nastaviti. Vozači kamiona koriste sustav pametnog telefona u kabini koji ih obavještava kada je njihov teret spreman za preuzimanje i daje im upute do mjesta preuzimanja. Sustav pametnih telefona također omogućuje vlasnicima tereta da prate svoje kontejnere, dajući im mogućnost praćenja lokacija svojih kontejnera bilo gdje u regiji.

Sustav Sense-making Analytics for Maritime Event Recognition (SAFER) razvija pomorska i lučka uprava Singapura te predstavlja sustav temeljen na umjetnoj inteligenciji čija je svrha poboljšanje otpreme i lučkih operacija. SAFER uključuje novu tehnologiju temeljenu na analizi u svrhu upravljanja sve većim volumenom plovila. Projekt SAFER pruža nove mogućnosti za automatizaciju i povećanje točnosti glavnih zadataka koji su se prije oslanjali na ljudsko promatranje, izvješćivanje, VHF komunikaciju i unos podataka. SAFER se planira primijeniti i koristiti u luci Tuas.

Singapur je jedan od vodećih primjera morskih luka koje smanjuju papirologiju. Jedna je od sedam institucija na globalnoj razini koja prihvaća elektroničke teretnice, ključni dokument opskrbnog lanca koji se mora podnijeti ili preuzeti od kapetana broda prije nego što se teret može iskrcati s plovila. U budućnosti, optimalna lučka usluga omogućiti će smanjenje kašnjenja i vremena čekanja plovila korištenjem sustava pravovremenog dolaska.

S ciljem poticanja malih i srednjih pomorskih poduzeća da iskoriste nove prilike koje nudi digitalizacija, digitalni plan industrije pomorskog prometa zajednička je inicijativa koju vodi pomorska i lučka uprava Singapura i koja se proteže kroz nekoliko vladinih agencija. Plan uključuje putokaz koji prikazuje digitalna rješenja koja mala i srednja poduzeća u sektorima lučkih plovila, brodskih agencija i bunkera mogu usvojiti u svakoj fazi svog rasta.

## **6.5. LUKA SHANGHAI**

Luka Shanghai jedna je od kineskih luka vezanih uz projekt pametnih luka. Projekt uključuje rad pametnih luka, poboljšanje upravljanja sigurnošću, integraciju logistike i inovacije poslovnog modela. Razvija se potpuna automatizacija luka s ciljem da se luke učini najboljima na svijetu u sektoru rada inteligentnih luka.

Ministarstvo prometa ima za cilj poboljšati sigurnost, ostvariti ekološku prihvatljivost i poboljšati učinkovitost uspostavom pametne luke i poticanjem planova za uvođenje naprednih tehnologija. Kako bi se uspostavila stabilna i učinkovita pametna luka, ministarstvo planira promovirati pametne luke poticanjem razvoja tehnologije, poticanjem državnog/privatnog sudjelovanja i usklađivanjem s lučkom industrijom.

Luka Shanghai uvela je potpuno automatizirani sustav 2016. i 2017. godine čime se znatno poboljšala učinkovitost te se trenutno procjenjuje da posjeduje jednu od najboljih lučkih tehnologija na svijetu.

Luka se sastoji od riječne i dubokomorske luke. Operater javnog terminala, Shanghai International Port Group, 2018. godine je otvorio automatizirano dubokovodno teretno pristanište veličine 312 nogometnih terena. Terminal pokriva 2350m obale te sadrži 21 dizalicu brod-obala, 108 dizalica montiranih na tračnici i 125 automatiziranih vođenih vozila.

Povećane su performanse računalne i pohranjivačke infrastrukture za 200 % kako bi se uspješno pokrenuo novi softver za automatizaciju luke, s dodatnim kapacitetom za umjetnu inteligenciju (AI). Učinkovitost rukovanja naknadno je povećana za 30 %, čime je uštedeno 10 sati pri iskrcaju tereta najvećeg kontejnerskog broda na svijetu. Zabilježili su 10-postotno smanjenje emisije ugljičnog dioksida i ojačali položaj luke kao najprometnije i najnaprednije automatizirane kontejnerske luke na svijetu.

Kapacitet šangajske luke povećan je za oko 6 milijuna TEU te je u potpunosti automatiziran. Proširenjem na sedam dodatnih dubokovodnih vezova, luka je povećala svoj prostor za pristajanje na 30 vezova, a kapacitet prekrcaja na 13 milijuna TEU. Ukupni kapacitet luke Shanghai već je premašio 40 milijuna kontejnera. Cilj luke je smanjiti potrošnju energije za 70%, a emisije na nulu.

Shanghai International Port Group (SIPG) pokrenula je projekt pametnog zapovjednog i kontrolnog centra u 2021. godini. Taj projekt je prvi projekt u svijetu koji primjenjuje tehnologiju optičkog umrežavanja za centralizirano daljinsko upravljanje u lukama, što označava veliki napredak u radu pametnih luka. Tehnologija optičkog umrežavanja nudi poboljšanu propusnost, nižu latenciju, veću pouzdanost i više veza, sposobnih ispuniti industrijske zahtjeve Internet stvari pametnih luka.



*Slika 11. Luka Shanghai*

Pametni zapovjedni i kontrolni centar za centralizirano daljinsko upravljanje u urbanim područjima pomoću naprednih optičkih mreža postavljen je u 4. fazi luke Yangshan, najvećeg i najautomatiziranijeg kontejnerskog terminala na svijetu. Uz tehnologiju optičkog umrežavanja koja se odlikuje niskom latencijom i visokom pouzdanošću, zapovijedanje i kontrola nad priobalnim dizalicama i obalnim dizalicama više se ne odvija u luci. To donosi mnoge prednosti kao što je skraćeno vrijeme putovanja osoblja, bolja predvidljivost dostupnosti osoblja i atraktivnost radnog mjesta. Ovim projektom omogućile su se hitne reakcije terminala i mogućnosti neprekinutog pružanja usluga u iznimnim okolnostima, kao što su ekstremni vremenski uvjeti.

Uz nasljeđe složenih, raspršenih lučkih usluga, SIPG je zahtijevao centralizirano rješenje za upravljanje uslugama. Rješenje je bila ERP (eng. Enterprise Resource Planning) platforma temeljena na Huawei privatnom oblaku. Skupovi virtualnih resursa tvore platformu za upravljanje na oblaku koja raspodjeljuje resurse na objedinjen i fleksibilan način. Aplikacijski sustavi se izgrađuju, postavljaju i konfiguriraju centralno. Softver i hardver integrirali su se kao jedinstveni softver za održavanje i izvođenje operacija. Ova integracija omogućila je SIPG-u da smanji troškove i ugljični otisak uz poboljšanje korištenja resursa.

Šangajska luka nastavit će s inovacijama kako bi poboljšala luku i pomorsku industriju u cjelini. Planiraju dodati više dizalica i automatiziranih vođenih vozila kako

bi dodatno povećali kapacitet rukovanja. Cilj šangajske luke je postati svjetsko brodsko središte.



## 7. ZAKLJUČAK

Luke predstavljaju središnja čvorišta u raznim opskrbnim lancima. Luke su ključni i dominantni igrači u globalnom prometnom sustavu, što znači da inovativne promjene u lukama utječu na cjelokupno gospodarsko okruženje. Stoga, njihov neuspjeh ili uspjeh ima golem i višeslojan utjecaj na različite sektore ekonomije, kao i na sve povezane industrije.

Pametne luke mogu pružiti brojne prednosti za jačanje konkurentnosti pomorske logistike te pridonijeti poboljšanju učinkovitosti upravljanja opskrbnim lancem. Za razliku od tradicionalnih luka, pametne luke raspolažu s automatizacijom, inteligencijom i visokim stupnjem efikasnosti što im omogućuje rješavanje problema tradicionalnih luka. Koncept pametne luke uvelike se oslanja na korištenje pametnih i zelenih tehnologija kako bi se povećala učinkovitost luke, poboljšala izvedba, inovacija, fleksibilnost i ekološka sigurnost. Takva luka predstavlja značajan napredak u štednji energije i smanjenja štetnih emisija.

Zemlje trebaju razviti strateški plan razvoja pametne luke i unaprijed osigurati potreban proračun i resurse. Ključni element je točna procjena razine razvoja luke na početku procesa kako bi se definirao najprikladniji plan za pametnu luku. Potreban je plan na nacionalnoj razini unutar kojeg će se izvršiti analiza industrijskog ekosustava, a zatim se definira detaljna strategija te se utvrđuju tehnologije koje su potrebne luci. Digitalna transformacija u lukama zahtijeva sveobuhvatno uključivanje klijenata i dionika. Integracija digitalne tehnologije potpuno će promijeniti način upravljanja i pružanja usluga.

U usporedbi s tradicionalnom lukom, luke današnjice su se uvelike modernizirale. Napredne tehnologije poput GPS sustava i senzora za nadzor prometa i infrastrukture unaprjeđuju lučke procese. Slijedi se vizija logističkih lanaca unutar i među lukama koje karakterizira neometana komunikacija. Implementacijom pametnih tehnologija u lukama moguće je poboljšati infrastrukturu i cjelokupan intermodalni promet, omogućuje se efikasnije rukovanje teretom, jednostavnije upravljanje dokumentacijom i carinom, osigurava se adekvatna razina zaštite i sigurnosti i smanjuje se potrošnja energije i otpada. Međutim, jedna od najvećih mogućnosti pametnih luka fokusira se na podatke. Operateri pametnih luka igraju značajnu ulogu i utjecaj koji imaju u globalnom opskrbnom lancu omogućiti će pristup velikim količinama vrijednih podataka, koji će nakon odgovarajuće analize pružiti osnovu za značajne optimizacije sustava pametne luke.

Nema sumnje da koncept pametne luke nije zadnji pravac u razvoju morskih luka. Konstantna implementacija koncepta inteligentnih luka nepovratan je trend koji određuje smjer razvoja modernih morskih luka. Međutim, da bi luke dostigle zrelost i postale pametne, potrebno je vrijeme. Stoga je bitno je razviti nove indikatore, integrirati ih u dinamički sustav mjerenja performansi i povezati različite logističke komponente kako bi se mogao pratiti razvoj luke te kako bi se držao pravi smjer za ostvarenje budućih planova i ciljeva pametne luke.



## LITERATURA

- [1.] Karaš A.: Smart Port as a Key to the Future Development of Modern Ports, TransNav, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 2020.
- [2.] Douaioui K., Mabrouki C., Fri M., Semma E.: Smart port: Design and perspectives, 2018.
- [3.] Heilig L., Voss S.: Information system sin seaports: a categorization and overview, Springer, 2017.
- [4.] Sahbia B., Ahmed F., Zouari A., Abdellatif B.: Smart Ports Design Features Analysis: A Systematic Literature Review, 2020.
- [5.] Simha A., Becha H., Lind M., Bottin F.: Smart Ports to Become Global Logistics Information Exchange Hubs, The Maritime Exclusive, 2020.
- [6.] Accenture, Connected Ports Driving Future Trade, Accenture and SIPG, 2016.
- [7.] IDB: Smart Port Manual, 2020.
- [8.] ESCAP: Smart Ports Development Policies in Asia and the Pacific, 2021.
- [9.] Ross N., Szot K.: Smart Ports: How They Play a Key Role in the Great Power Competition, 2021.
- [10.] Asian Development Bank: Smart Ports in the Pacific, 2020.
- [11.] Deloitte Port Services: Smart Ports: Point of View, 2017.
- [12.] Geerlings H., Kuipers B., Zuidwijk R.: Ports and Networks: Strategies, Operations and Perspectives, Routledge, 2018.
- [13.] Erasmus Centre for Business Innovation: Port of Rotterdam catches up in innovation, 2019.
- [14.] Yao H., Wang D., Su M., Xue T., Qi Y.: Development Direction of Automated Terminal and Systematic Planning of Smart Port, 2021.
- [15.] Xisong D., Gang X., Yuantao L., Xiujiang G., Yisheng L.: Intelligent ports based on Internet of Things, 2013.
- [16.] CISCO: The World's Busies Shipping Port Just Got Smarter
- [17.] <https://www.ibm.com/blogs/think/2018/01/smart-port-rotterdam/>
- [18.] <https://www.hamburg-port-authority.de/de/hpa-360/smartport>
- [19.] <https://www.portofantwerpbruges.com/en/our-port/port-future/smart-port>
- [20.] <https://new.abb.com/news/detail/78949/smart-port-smart-nation-singapore-builds-on-spectrum-of-strengths>
- [21.] <https://sinay.ai/en/top-10-smart-ports-around-the-world/>
- [22.] <https://www.porttechnology.org/news/huawei-shanghai-international-port-group-launch-centralised-remote-control-smart-port-project/>
- [23.] <https://e.huawei.com/topic/leading-new-ict-ua/yangshan-port-case.html>

## **KAZALO KRATICA**

IoT – Internet of Things

RFID – Radio Frequency Identification

WNS – Wireless Sensor Networks

WLAN – Wireless Local Area Network

CPS - Cyber-physical Systems

IDC - International Data Corporation

TETRA -Terrestrial Trunked Radio

LTE - Long Term Evolution

WAN - Wide Area Network

DLT - Distributed Ledger Technology

AI - Artificial Intelligence

ML - Machine Learning

HRMS - Human Resource Management

CMS - Content Management System

PMIS - Port Management Information Systems

AIS - Automatic Identification Systems

VTS - Vessel Traffic Services

AGS - Automated Gate Systems

PDS - Position Detection Systems

PCS - Port Community Systems

CMMS -Capability Maturity Model Integration

EDI - Electronic Data Interchange

TOS - Terminal Operating System

ITS -Intelligent Transport Systems

GPS - Global Positioning System

SIPG – Shanghai International Port Group

ERP -Enterprise Resource Planning

TEU – Twenty-foot Equivalent Unit

## POPIS SLIKA

Slika 1. Shematski prikaz sistematike pametne luke.....	5
Slika 2. Faze razvoja luke.....	9
Slika 3. Dijagram sustava IoT .....	14
Slika 4. Prikaz modela digitalnog blizanca .....	15
Slika 5. Prikaz ciljeva održivog razvoja.....	27
Slika 6. Primjer načina rada sustava postrojavanja kamiona .....	29
Slika 7. Luka Rotterdam.....	32
Slika 8. Luka Hamburg .....	33
Slika 9. Poredak 5 najvećih svjetskih čvorišta prema broju premještenih kontejnera od dvadeset stopa .....	36
Slika 10. Mega-luka Tuas.....	37
Slika 11. Luka Shanghai.....	39

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Aspekti u razvijanju pametne luke .....	22
Tablica 2. Uvjeti za razvoj pametne luke .....	23

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je DIPLOMSKI RAD  
(vrsta rada)

isključivo rezultat mojega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten 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.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom KONCEPT PAMETNIH LUKA, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, 7.9.2022.

Antonio Prelec, Antonio Prelec  
(ime i prezime, potpis)